

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

**QUALIDADE DO SOMBREAMENTO NATURAL DE TRÊS ESPÉCIES
ARBÓREAS VISANDO AO CONFORTO TÉRMICO ANIMAL**

ESTELITA MARIA GURGEL

Dissertação apresentada à Faculdade de
Ciências Agronômicas da UNESP – Campus
de Botucatu, para obtenção do título de Mestre
em Agronomia (Energia na Agricultura)

**BOTUCATU - SP
Agosto - 2010**

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

**QUALIDADE DO SOMBREAMENTO NATURAL DE TRÊS ESPÉCIES
ARBÓREAS VISANDO AO CONFORTO TÉRMICO ANIMAL**

ESTELITA MARIA GURGEL

Orientador: Prof. Dr. Odivaldo José Seraphim

Co-orientador: Prof. Dr. Iran José Oliveira da Silva

Dissertação apresentada à Faculdade de
Ciências Agronômicas da UNESP – Campus
de Botucatu, para obtenção do título de Mestre
em Agronomia (Energia na Agricultura)

**BOTUCATU - SP
Agosto – 2010**

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO - SERVIÇO TÉCNICO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - UNESP - FCA - LAGEADO - BOTUCATU (SP)

G979q Gurgel, Estelita Maria, 1958-
Qualidade do sombreamento natural de três espécies arbóreas visando ao conforto térmico animal / Estelita Maria Gurgel. - Botucatu : [s.n.], 2010

xi, 77 f. : il. color., tabs., gráfs., fots. color.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônomicas, Botucatu, 2010

Orientador: Odivaldo José Seraphim

Co-orientador: Iran José Oliveira da Silva

Inclui bibliografia.

1. Sombreamento natural. 2. Conforto térmico. 3. Índices de conforto térmico animal. 4. Ambiência. I. Seraphim, Odivaldo José. II. Silva, Iran José Oliveira da. III. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Campus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agrônomicas. IV. Título.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

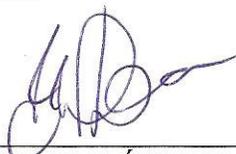
**TÍTULO: "QUALIDADE DO SOMBREAMENTO NATURAL DE TRÊS ESPÉCIES
ARBÓREAS VISANDO O CONFORTO TÉRMICO ANIMAL"**

ALUNA: ESTELITA MARIA GURGEL

ORIENTADOR: PROF. DR. ODIVALDO JOSÉ SERAPHIM

CO-ORIENTADOR: PROF. DR. IRAN JOSÉ OLIVEIRA DA SILVA

Aprovado pela Comissão Examinadora



PROF. DR. IRAN JOSÉ OLIVEIRA DA SILVA



PROFA. DRA. LUCILA CHEBEL LABAKI



PROFA. DRA. ANA MARIA LINER PEREIRA LIMA

Data da Realização: 26 de agosto de 2010.

À minha mãe Marystella e à minha querida filha Laura,
por todo apoio, paciência e compreensão.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

À UNESP, especialmente ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Energia na Agricultura, pela oportunidade.

Aos meus orientadores Prof. Dr. Odivaldo José Seraphim e Prof. Dr. Iran José Oliveira da Silva, por toda colaboração, incentivo e confiança.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa de estudos concedida, que embora tenha sido por um curto período, foi de grande valia.

Aos queridos professores Dr. Flávio Baccari Jr., pelos valiosos ensinamentos, pelo carinho, confiança e amizade sincera e Dr. Lin Chau Ming, que muitas vezes me emocionou com seu desprendimento, gentileza e ajuda desinteressada.

Aos professores Dr. Hilton Thadeu Zarate do Couto, do Departamento de Ciências Florestais da ESALQ e a Dr^a. Martha Maria Mischán, do Departamento de Bioestatística da UNESP, pelas análises estatísticas, pela disponibilidade, paciência e atenção.

À Prof^a. Dr^a. Ana Maria Liner Pereira Lima, do Departamento de Produção Vegetal da ESALQ, pelo interesse e sugestões que ajudaram a enriquecer este trabalho.

A todos que colaboraram, na busca da área apropriada para a implantação do experimento, com empréstimo de equipamentos, no controle das formigas que ameaçaram o desenvolvimento desta pesquisa, o meu muito obrigada!

A toda equipe do NUPEA da ESALQ com a qual eu sempre pude contar, especialmente ao Elenilson, companheiro de campo, na fase inicial desta pesquisa.

Ao Juarez, do Laboratório de Instrumentação, do Departamento de Engenharia Rural da ESALQ, pelos indispensáveis testes dos equipamentos de medição.

Ao Antonio Ribeiro da Cunha, engenheiro agrônomo do Departamento de Ciências Ambientais da FCA, pela ajuda constante, não apenas em meteorologia, mas nas correções criteriosas e boas conversas, sempre tão produtivas.

Às gentis bibliotecárias, Janaina, do Lageado, e Meirinha, de Rubião Jr., pela grande contribuição na correção das referências bibliográficas.

Aos funcionários da FCA, sempre atenciosos e prestativos, especialmente ao Dicão, ao Silva, da Patrulha, ao Ailton e ao Eduardo Biral, que me acompanhou muitas vezes, inclusive no trabalho de campo.

Aos alunos da Engenharia Florestal, Eduardo, o “Figura” e o “Pandinha”, que gentilmente me socorreram no trabalho de campo num momento difícil.

Aos meus queridos colegas e amigos, Alaine, Alessandra e Rone, Ana Emília, Karol e Beto, que nunca mediram esforços para me ajudar.

À Toninha e sua mãe Cecília, grandes amigas e incentivadoras!

Aos meus primos Marisa e Guilherme, que sempre me receberam de braços abertos em sua casa, em Piracicaba, durante o longo período de trabalho naquela cidade, à minha prima Ana Maria e minha irmã Miriam, pela tradução do texto.

Enfim, a todos que de alguma maneira contribuíram para a realização deste trabalho.

E acima de tudo a Deus, que me concedeu disposição, coragem e determinação, imprescindíveis para poder chegar até aqui!

*“Você nunca sabe que resultados virão da sua ação. Mas se você não fizer nada,
não existirão resultados.”*

Mahatma Gandhi

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	IX
LISTA DE FIGURAS	X
RESUMO	1
SUMMARY	2
1. INTRODUÇÃO	3
2. OBJETIVOS.....	5
3. REVISÃO DA LITERATURA.....	6
3.1. Vegetação e conforto térmico.....	6
3.2. Arborização e o uso racional de energia.....	10
3.3. Efeitos da arborização no ambiente.....	13
3.4. Espécies arbóreas tropicais na retenção de calor.....	17
3.5. Formas de avaliação da qualidade da sombra	21
4. MATERIAL E MÉTODOS	25
4.1. Caracterização da área experimental	25
4.2. Seleção das espécies e dos indivíduos arbóreos	26
4.2.1. Caracterização individual das espécies.....	27
4.2.2. Caracterização física das árvores selecionadas	29
4.2.3. Equipamentos de medição e registro dos dados	30
4.3. Etapas de implantação do experimento	31
4.3.1. Demarcação dos pontos de coleta de dados.....	31
4.3.2. Registro de dados	32
4.3.3. Avaliação térmica da qualidade do sombreamento natural	35
4.4. Delineamento Estatístico	37
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	38
5.1. Análise geral dos dados	38
5.1.1. Efeito do sombreamento das diferentes espécies na temperatura do ar (Ta).....	39
5.1.2. Efeito do sombreamento das diferentes espécies na umidade relativa do ar (UR).....	42
5.1.3. Efeito do sombreamento das diferentes espécies na temperatura de globo negro (TG)...	45
5.1.4. Efeito do sombreamento das diferentes espécies na entalpia (H).....	48

5.1.5. Efeito do sombreamento das diferentes espécies no índice de temperatura e umidade (ITU) 50	
5.1.6. Efeito do sombreamento das diferentes espécies no índice de globo e umidade (ITGU) 53	
5.1.7. Efeito do sombreamento das diferentes espécies na carga térmica radiante (CTR)..... 56	
5.2. Análise dos dados baseados no dia crítico	60
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	69
7. CONCLUSÕES.....	70
8. REFERÊNCIAS	71

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Espécies arbóreas estudadas para promoção de conforto térmico.....	21
Tabela 2. Características das árvores selecionadas para o estudo (medidas aproximadas).....	29
Tabela 3. Fator de transformação dos dados pelo método Box-Cox.....	39
Tabela 4. Análise da variância para a temperatura do ar (T_a), sendo consideradas as espécies e os exemplares de cada espécie (árvore).....	40
Tabela 5. Médias da temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}$) pelo teste de Tukey a 5%.....	40
Tabela 6. Análise da variância para a umidade relativa do ar (UR).....	43
Tabela 7. Médias da umidade relativa do ar (%) pelo teste de Tukey a 5%.....	43
Tabela 8. Análise da variância para a temperatura de globo negro (T_g).....	46
Tabela 9. Médias da temperatura de globo negro ($^{\circ}\text{C}$) pelo teste de Tukey a 5%.....	46
Tabela 10. Análise da variância para a entalpia (H).....	49
Tabela 11. Médias da entalpia (kcal/kg de ar seco) pelo teste de Tukey a 5%.	49
Tabela 12. Análise da variância para o índice de temperatura e umidade (ITU).	51
Tabela 13. Médias do ITU pelo teste de Tukey a 5 %.....	51
Tabela 14. Análise da variância para o índice de globo e umidade (ITGU).	54
Tabela 15. Médias do ITGU pelo teste de Tukey a 5 %.....	54
Tabela 16. Análise da variância para a carga térmica radiante (CTR).....	57
Tabela 17. Médias da CTR pelo teste de Tukey a 5 %.....	57

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Diferença de temperatura entre áreas mais e menos arborizadas em Goiânia, GO. Fonte: Nascimento e Barros (2009).....	8
Figura 2. Sombreamento feito por meio de simulação gráfica (ALVES, 2004).	16
Figura 3. Esquema da projeção da sombra de uma árvore de copa cônica invertida proposta por Silva (2006).	17
Figura 4. Exemplares (1a, 1b, 1c) da pau-terra-da-areia (<i>Qualea dichotoma</i> (Warm.) Staf.). .	27
Figura 5. Exemplares (2a, 2b, 2c) da chico-pires (<i>Pithecolobium incuriale</i> (Vell.) Benth.).....	28
Figura 6. Exemplares (3a, 3b, 3c) da copaíba (<i>Copaifera langsdorffii</i> Desf.).	28
Figura 7. Vista geral do mini-datalogger HOBO® (a) e do globo negro conectado a um de seus canais de entrada (b).	30
Figura 8. Vista geral do suporte com os equipamentos e detalhes do abrigo do mini-datalogger.	31
Figura 9. Esquema do deslocamento da projeção da sombra ao longo do dia e detalhe de estaca utilizada para demarcação dos horários de registro de dados.....	32
Figura 10. Vista do suporte com equipamentos instalados a céu aberto e à sombra de uma das árvores.	34
Figura 11. Foto aérea digitalizada da região de Botucatu (2005) com localização do experimento e estação meteorológica da FCA – UNESP.....	34
Figura 12. Valores médios da temperatura do ar (°C) à sombra de cada espécie e a céu aberto nos horários do período estudado.	42
Figura 13. Valores médios da umidade relativa do ar (%) à sombra de cada espécie e a céu aberto nos horários do período estudado.	45
Figura 14. Valores médios da temperatura de globo negro (°C) à sombra de cada espécie e a céu aberto nos horários do período estudado.....	48
Figura 15. Valores médios da entalpia (kcal/kg de ar seco) à sombra de cada espécie e a céu aberto nos horários do período estudado.	50
Figura 16. Valores médios do ITU à sombra de cada espécie e a céu aberto nos horários do período estudado.....	53

Figura 17. Valores médios do ITGU à sombra de cada espécie e a céu aberto nos horários do período estudado.....	56
Figura 18. Valores médios da CTR ($W.m^{-2}$) à sombra de cada espécie e a céu aberto nos horários do período estudado.....	59
Figura 19. Seleção dos dias críticos, baseando-se nos valores médios da entalpia durante os dias do período de estudo.	61
Figura 20. Variação da temperatura do ar (T_a) à sombra das espécies pau-terra-da-areia, chico-pires, copaíba e a céu aberto, no dia 04/01/2010, considerado dia crítico do período.	62
Figura 21. Variação da umidade relativa do ar (UR) à sombra das espécies pau-terra-da-areia, chico-pires, copaíba e a céu aberto, no dia 04/01/2010, considerado dia crítico do período. ...	63
Figura 22. Variação da temperatura de globo (T_g) à sombra das espécies pau-terra-da-areia, chico-pires, copaíba e a céu aberto, no dia 04/01/2010, considerado dia crítico do período. ..	64
Figura 23. Variação da entalpia (H) à sombra das espécies pau-terra-da-areia, chico-pires, copaíba e a céu aberto, no dia 04/01/2010, considerado dia crítico do período.....	65
Figura 24. Variação do índice de temperatura e umidade (ITU) à sombra das espécies pau-terra-da-areia, chico-pires, copaíba e a céu aberto, no dia 04/01/2010, considerado dia crítico do período.	66
Figura 25. Variação do índice de globo e umidade (ITGU) à sombra das espécies pau-terra-da-areia, chico-pires, copaíba e a céu aberto, no dia 04/01/2010, considerado dia crítico do período.....	67
Figura 26. Variação da carga térmica radiante (CTR) à sombra das espécies pau-terra-da-areia, chico-pires, copaíba e a céu aberto, no dia 04/01/2010, considerado dia crítico do período. ..	67

QUALIDADE DO SOMBREAMENTO NATURAL DE TRÊS ESPÉCIES ARBÓREAS VISANDO AO CONFORTO TÉRMICO ANIMAL

RESUMO

O sombreamento promovido por árvores constitui um dos melhores dispositivos externos para controle e redução dos efeitos da radiação solar. Natural e de baixo custo, este recurso é de extrema utilidade para o conforto térmico dos seres vivos, especialmente em países de clima quente, onde a incidência de radiação solar é alta. Este trabalho teve como objetivo avaliar a eficiência térmica do sombreamento natural proporcionado por diferentes espécies arbóreas, por meio de medições de variáveis climáticas e de índices de conforto térmico. A pesquisa foi desenvolvida no município de Botucatu, SP e foram avaliadas as sombras de nove indivíduos arbóreos, sendo três exemplares da espécie pau-terra-da-areia (*Qualea dichotoma* (Warm.) Staf.), três da espécie chico-pires (*Pithecolobium incuriale* (Vell.) Benth.) e três da espécie copaíba (*Copaifera langsdorffii* Desf.). Foram registrados à sombra e a céu aberto os dados de temperatura do ar e umidade relativa, temperatura de ponto de orvalho e temperatura de globo negro e velocidade do vento, durante o verão, ao longo do dia, com leituras horárias entre 8h e 17h. Adotou-se o delineamento estatístico inteiramente casualizado (DIC). Os resultados foram avaliados por meio dos índices de conforto térmico ITU, ITGU, CTR, e por meio da avaliação para o dia crítico do período analisado. Concluiu-se que houve diferença estatística entre as espécies estudadas e de maneira geral a espécie copaíba foi a que apresentou um maior índice de redução da carga térmica de radiação, sendo a pau-terra-da-areia a que apresentou uma menor redução.

PALAVRAS-CHAVE: sombreamento natural; conforto térmico; ambiência; índices de conforto térmico animal.

THE QUALITY OF NATURAL SHADING OF THREE ARBOROUS SPECIES AIMING THE ANIMAL THERMAL COMFORT. Botucatu, 2010. 77 p. Dissertação (Mestrado em agronomia/Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.

Author: Estelita Maria Gurgel

Adviser: Odivaldo José Seraphim

Co-Adviser: Iran José Oliveira da Silva

SUMMARY

The shading promoted by trees constitutes one of the best external devices to control and to reduce the effects of solar radiation. Natural and economical, such resource is extremely useful to the thermal comfort of living creatures, especially in counties with hot weather, where the incidence of solar radiation is high. This work aimed at evaluating the thermal efficiency of the natural shading given by different species of trees through measurements of climatic variables and indexes of thermal comfort. The research was developed in Botucatu County (São Paulo) and the shade of nine trees were evaluated; three of the species pau-terra-da-areia (*Qualea dichotoma* (Warm.) Stafl.), three of the species chico-pires (*Phithecolobium incuriale* (Vell.) Benth.) and three of the species copaiba (*Copaifera langsdorffii* Desf.). The air temperature and the relative humidity, the dew point temperature, the globe temperature of Vernon, and the wind speed data were taken in the shade during summer, throughout the day with readings between 8 am and 5 pm in the shade and exposed sun. The completely random statistical design was adopted (DIC). The results were evaluated using thermal comfort indexes THI, BGHI, CTR and using evaluation on the critical day for the period analyzed. It was concluded that there was a statistical difference among the species used and, as a whole, the copaiba species was the one which presented the highest index of radiant thermal load reduction and the pau-terra-da-areia, the one which presented the lowest index.

KEY WORDS: natural shading, thermal comfort, ambience, animal thermal comfort index.

1. INTRODUÇÃO

O aquecimento global é uma das mais graves ameaças que a humanidade enfrenta nos dias de hoje. Em países de clima quente, particularmente nos mais pobres, encontrar soluções de baixo custo para minimizar os problemas causados pelas altas temperaturas, que vêm sendo registradas ao longo dos últimos anos, é cada vez mais urgente e necessário. Essa situação ainda se agrava nos períodos de primavera-verão, quando a necessidade de se obter ambientes confortáveis torna-se fundamental, impactando conseqüentemente no aumento do consumo de energia. O uso do sombreamento em países quentes e com alta incidência de radiação solar é uma das técnicas mais utilizadas e eficientes para os seres vivos e as árvores constituem os melhores dispositivos externos para controle e redução dos efeitos da radiação.

Ainda que a hipótese do aquecimento global, natural ou antropogênico, de longo ou curto prazo, não tenha sido unanimemente aceita como fato científico consumado, seus efeitos nocivos podem ser sentidos diretamente, pois se manifestam claramente nas condições de saúde da população. A questão do aquecimento global vem se constituindo num

dos mais conflituosos pontos de discussão política, social, econômica e ambiental do planeta e buscar soluções efetivas e viáveis, a passos largos, é uma atitude das mais sensatas em todos os setores. O uso do sombreamento, seja ele natural ou artificial, é uma alternativa que deve ser explorada como recurso para mitigar esses efeitos negativos, especialmente quando a intenção é promover conforto térmico e economia de energia.

Sabe-se que as árvores, isoladas ou em grupos, interferem direta e indiretamente no microclima do seu entorno, além de oferecerem inúmeros outros benefícios capazes de contribuir para melhorar o bem-estar físico e mental de milhões de pessoas e animais. O Projeto do Milênio das Nações Unidas (PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO, 2005), que tem como principal objetivo combater a pobreza no mundo reconhece essas importantes características das árvores, elegendo-a com seu plantio em nível comunitário, como uma de suas ações de impacto rápido.

No meio urbano, o conforto térmico é influenciado pelas condições ambientais, resultado das transformações promovidas pelo homem, pela impermeabilização do solo e, mais especificamente, pela ausência de vegetação. A grande concentração de prédios aliada à falta de planejamento faz aumentar o desconforto térmico nos ambientes construídos, transformando-os em verdadeiras estufas, insuportáveis e totalmente dependentes de equipamentos de refrigeração. Esses equipamentos são os maiores responsáveis pelo alto consumo de energia no meio urbano e, para minimizá-lo, o sombreamento natural pode trazer contribuição significativa.

No meio rural, a sombra das árvores é impactante no sucesso da produção animal. Quando utilizada no controle da radiação solar incidente nos abrigos de animais confinados ameniza as condições do ambiente interno, diminui a necessidade de refrigeração artificial e conseqüentemente do consumo de energia. Em pastagens, a sombra natural obtida com o plantio ou a preservação dos componentes arbóreos, entre outros benefícios, também é grande aliada para garantir o conforto do gado no pasto. Este recurso simples e de baixo custo, pode aliviá-lo do estresse pelo calor, refletindo positivamente no seu desempenho produtivo e reprodutivo, com aumento significativo na produção de leite e carne.

Assim, a relevância desse recurso natural e sua potencialidade para amenizar os efeitos nocivos da radiação solar, promover conforto térmico e contribuir para o uso racional de energia motivou o desenvolvimento deste trabalho.

2. OBJETIVOS

Os objetivos deste trabalho foram:

- Avaliar e caracterizar a qualidade térmica do sombreamento natural proporcionado por três diferentes espécies arbóreas;
- Estabelecer um critério de classificação das espécies estudadas, por meio dos índices de conforto térmico animal, para utilização das mesmas em áreas rurais.

3. REVISÃO DA LITERATURA

3.1. Vegetação e conforto térmico

A maior parte do território brasileiro situa-se na faixa intertropical, considerada a mais quente do planeta. As regiões nela localizadas são as que apresentam maior intensidade de radiação solar e, conseqüentemente, maior necessidade de proteção para seus habitantes. Sabe-se que a vegetação tem um papel preponderante na atenuação da radiação solar incidente e na promoção de um microclima com melhores condições de conforto térmico.

As condições de conforto experimentadas por um indivíduo dependem fortemente de condições meteorológicas locais, bem como de fatores pessoais como a vestimenta, a atividade física e até mesmo o seu biotipo. A proximidade da vegetação, o efeito de sombreamento e mudanças na intensidade do vento por obstáculos interferem nas condições de conforto sentidas (GOUVEA, 2007). Bueno-Bartholomei (2003) comprova por

meio de dados obtidos em campo o que o ser humano sente, quase que instintivamente, a respeito das árvores e da vegetação em geral: o “verde” traz conforto.

Em um estudo de caso, Malavasi e Malavasi (2001) entrevistaram 1590 munícipes da cidade de Mal. Cândido Rondon, PR, aplicando questionários aos residentes de 53 pontos da área urbana dessa cidade, com o objetivo de avaliar a percepção da arborização urbana local. Dos entrevistados, 92% perceberam alguma vantagem proporcionada pela presença da arborização, sendo que os benefícios relacionados ao conforto térmico foram os mais lembrados. Para Gomes e Soares (2003) torna-se imprescindível que a população conheça e valorize os aspectos climáticos e biológicos que a vegetação desempenha e, não somente perceba a árvore como elemento decorativo na cidade.

A influência de fatores como o adensamento de construção e a presença de vegetação sobre as condições de conforto ficou evidenciada na pesquisa de Gouvea (2007), que avaliou uma série de 11 anos de dados medidos em superfície, por meio da rede operacional da CETESB, em locais com características distintas de ocupação urbana. Através do cálculo de índice de temperatura efetiva, o autor verificou que algumas regiões na cidade de São Paulo, consideradas altamente urbanizadas, foram as que apresentaram o maior número de casos de desconforto por calor moderado, enquanto em regiões menos urbanizadas, e em parque com grande quantidade de vegetação (Ibirapuera), mostraram-se mais confortáveis.

Segundo Lombardo (2007), em alguns bairros mais arborizados, como o Morumbi na cidade de São Paulo, pode-se ter em média uma temperatura até 3 °C mais baixas que nas áreas mais centrais. A diferença de temperatura entre áreas mais arborizadas e menos arborizadas também foi observada nos trabalhos de Nascimento e Barros (2009), como pode ser visto na Figura 1; Velasco (2007); Sant’Anna Neto e Amorim (2009), entre outros.

As árvores resfriam o ambiente de forma direta através do sombreamento e de forma indireta através da evapotranspiração (MASCARÓ e MASCARÓ, 2005). Os resultados obtidos no trabalho de Abreu (2008) mostraram que as espécies arbóreas que apresentaram maior atenuação da radiação solar e maiores taxas de evapotranspiração são as que têm maior capacidade de redução da temperatura no microclima urbano. Segundo a autora esta característica da vegetação deve ser levada em conta pelos profissionais do ambiente construído para melhoria do conforto térmico em ambientes externos.

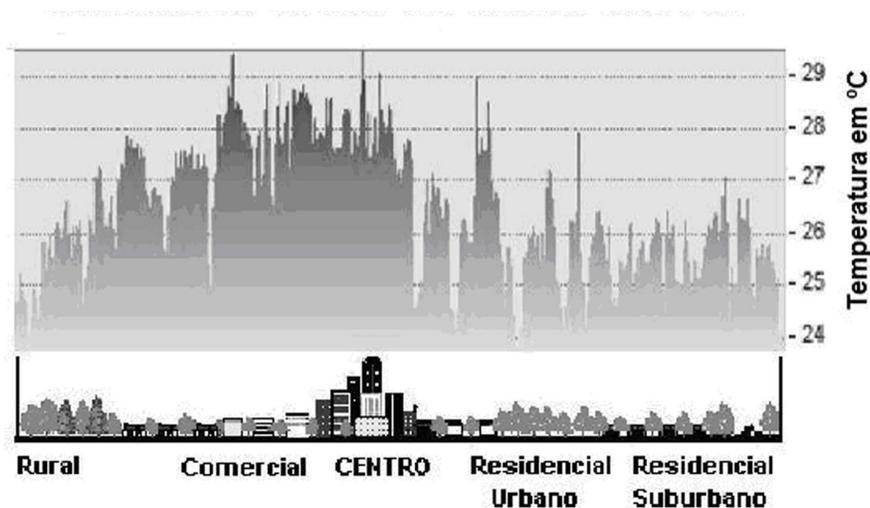


Figura 1. Diferença de temperatura entre áreas mais e menos arborizadas em Goiânia, GO. Fonte: Nascimento e Barros (2009).

Segundo Mascaró (1996), o sombreamento da vegetação desempenha papel importante na caracterização de microclimas urbanos, melhorando condições adversas e o conforto humano, pois a vegetação ajuda a atenuar condições extremas de frio ou calor intenso nos espaços urbanos e nas edificações adjacentes. A autora acrescenta que, quando esses espaços são arborizados com espécies de grande porte, principalmente em regiões tropicais, sofrem menos os efeitos indesejados do clima do que os que utilizam espécies de pequeno porte.

Para Abreu (2008), a identificação do raio de influência por diferentes espécies arbóreas no microclima é um dado importante na elaboração e implantação de projetos urbanos que visam à melhoria do conforto térmico. Resultados obtidos no trabalho dessa autora mostram que os agrupamentos arbóreos exercem influência numa escala maior do que uma única árvore. Ou seja, dentro de um determinado raio, a disposição de elementos arbóreos pode aumentar a capacidade de redução da temperatura do ar, a atenuação da radiação incidente, bem como intensificar as sensações de conforto térmico do usuário.

De acordo com Loureiro (2003), o aproveitamento da natureza como estratégia bioclimática para favorecer o conforto do ambiente construído requer planejamento e não se resume em apenas utilizar uma grande quantidade de plantas rodeando a edificação. O autor acrescenta que a disposição da vegetação de forma ineficiente pode piorar certas

condições. A localização inadequada de árvores e arbustos pode desviar o vento ao invés de forçá-lo a entrar, não oferecendo ao ambiente o nível de conforto desejado.

Paula (2004) utilizou mudas de espécies arbóreas, em vasos, com o intuito de avaliar a influência da vegetação no conforto térmico do ambiente construído. Os resultados de sua pesquisa indicaram que a arborização pode contribuir de forma significativa para a melhoria do conforto térmico dos ambientes internos e que mesmo com indivíduos arbóreos jovens houve uma atenuação do calor.

De acordo com Conceição (2008), a utilização de sombra é a forma mais econômica para proporcionar conforto e bem-estar térmico para animais em pastagem nas regiões tropicais. Ablas et al. (2007) ressaltam que o provimento de simples sombreamento natural nas pastagens poderiam ter conseqüências positivas para a produtividade na bubalinocultura, porém, advertem que o conforto térmico, ponto básico de manejo destes animais, tem sido subestimado. Para Martins (2001), o sombreamento natural é um dos principais elementos do conforto térmico dos animais na pastagem.

Leme et al. (2005), estudaram o comportamento de vacas mestiças Holandês-Zebu em sistema silvipastoril e concluíram que a procura por ambientes sombreados durante o verão, proporcionados especialmente por espécies arbóreas com copas globosas e densas, mostra que esses animais necessitam da provisão de sombra, para que possam viver em ambiente que ofereça conforto térmico. Para Oliveira et al. (2008), as pastagens arborizadas apresentam vantagens potenciais em relação aos sistemas convencionais, quando implantadas e manejadas de forma correta. Entre os principais benefícios, os autores citam a sombra das árvores, que proporciona conforto térmico aos animais, além de melhorar seu desempenho produtivo e reprodutivo.

Navarini et al. (2009) avaliaram o efeito do estresse térmico por meio de índices de conforto térmico na produção bovina, sob diferentes condições de sombreamento natural e sob o sol, na região oeste do Estado do Paraná. Nesse estudo, o ambiente que proveu melhores condições térmicas para os animais foi constituído por pequenos bosques de árvores de guajuvira (*Patagonula americana* L.).

Para Baccari (2001), os agrupamentos de árvores ou bosques são preferíveis às árvores isoladas. Segundo esse autor, nos pastos que dispõe de árvores, as vacas abrigam-se sob sua fronde, principalmente nas horas mais quentes do dia (das 10 às 16 horas)

e, não havendo árvores, elas aproveitam o mínimo de sombra disponível, como a promovida por mourões das cercas ou outros objetos, para proteger principalmente a cabeça.

3.2. Arborização e o uso racional de energia

As árvores contribuem significativamente para refrigerar nossas cidades, podem fornecer proteção solar às casas e às pessoas, enquanto a evapotranspiração associada ao bloqueio da radiação solar pode reduzir as temperaturas urbanas. Segundo Mascaró e Mascaró (2005), a arborização urbana possui aspectos energéticos pouco conhecidos pela população, mas importantes para a preservação do meio ambiente. Ela substitui com vantagens qualquer sistema de sombreamento, inclusive em climas úmidos, embora aumente a necessidade de se ventilar o ambiente. De acordo com esses autores, as cidades tropicais úmidas, precisam do sombreamento das árvores para diminuir a carga térmica recebida pelos edifícios, veículos e pedestres, e assim reduzir o consumo de energia e a emissão de gases nocivos para a atmosfera.

Velasco (2007) vê o uso da vegetação como uma das linhas de ação para promover o uso eficiente de energia elétrica nas cidades, pois reduz a necessidade de consumo. Nesse sentido, investigou e fez uma comparação entre três áreas residenciais bem distintas, em termos de densidade de vegetação, na cidade de São Paulo. Concluiu que, sob o aspecto de redução das temperaturas máximas diárias, a área mais arborizada foi a que apresentou menor necessidade de refrigeração artificial.

De acordo com Akbari et al. (2001), uma análise das tendências de temperatura dos últimos 100 anos, em diversas grandes cidades dos EUA, indicou que desde 1940 as temperaturas nas zonas urbanas aumentaram de 0,5 a 3 °C. A partir desse dado e, considerando que normalmente a demanda por eletricidade nas cidades aumenta de 2 a 4% para cada 1 °C aumentado na temperatura, os autores estimaram que cerca de 5 a 10% da demanda de eletricidade urbana é gasta para arrefecer os edifícios, apenas para compensar esse aumento ocorrido. Segundo os mesmos autores, árvores urbanas e superfícies de alto albedo podem compensar ou até reverter esse efeito de ilha de calor, reduzir em até 20% a utilização

de energia gasta no país com ar condicionado, economizar mais de US\$ 10 bilhões por ano e ainda melhorar a qualidade do ar urbano.

A utilização de sombra de árvores como um recurso para reduzir o consumo de energia no meio urbano, gasta principalmente para refrigerar ambientes nesse meio, tem sido referida em diversos trabalhos, entre eles, Akbari e Taha (1992), no Canadá; Akbari et al. (1997), Akbari (2002; 2005); McPherson e Simpson (2002; 2003); McPherson et al (2003; 2005); Donovan e Butry (2009), nos EUA; Gómez-Muñoz et al (2010), no México e Tsiros (2010), na Grécia.

O desmatamento de áreas de floresta para ocupação urbana e o excessivo adensamento da cidade de Manaus, vêm não só acentuando os parâmetros de desconforto ambiental, como também comprometendo as soluções tecnicamente mais apropriadas e economicamente mais viáveis, que são a arborização e a ventilação natural. A contribuição que a vegetação pode dar, não só ameniza o clima urbano da cidade, mas, sobretudo melhora de maneira decisiva o desempenho dos equipamentos mecânicos para o resfriamento do ar (LOUREIRO et al., 2002).

É sabido que a presença de sombras no campo é importante para o conforto dos animais, especialmente em regiões quentes e com alta incidência de radiação solar, nas quais os bovinos da maioria das raças tendem a sofrer estresse térmico, reduzindo o seu desempenho econômico (SILVA, 2006). As condições climáticas podem afetar a quantidade de alimento e água a serem ingeridos, o sistema de produção de calor do animal e a energia líquida disponível para a produção. O crescimento pré-natal é afetado devido ao estresse sofrido pela mãe e os efeitos vão refletir-se no peso ao nascer do bezerro (BACCARI, 2001).

O sombreamento e o tipo de sombra na pastagem alteram o comportamento de pastejo, ruminação e ócio do gado, possivelmente para melhor. A sombra natural parece ser mais eficiente que a sombra artificial (TITTO, 2006). Segundo Baccari (2001), em relação à resposta comportamental, verifica-se que bovinos de origem européia, não bem adaptados geneticamente ao calor, procuram sombra principalmente nas horas mais quentes do dia, durante o verão, buscando amenizar os efeitos do stress térmico causado pela radiação solar direta.

Em pastagens arborizadas, as temperaturas extremas podem ser atenuadas e os impactos de chuvas e ventos reduzidos, resultando em conforto e abrigo para os animais e melhor desempenho produtivo e reprodutivo. Quando arborizadas com espécies forrageiras, ao benefício da sombra sobre a reprodução animal soma-se o efeito da melhor qualidade da forragem consumida (CARVALHO, 1998). A utilização de leguminosas arbóreas dispersas em pastagens influencia positivamente o rendimento e a qualidade da matéria seca da *Brachiaria brizantha* cv. Marandu favorecendo a fauna edáfica, tanto em relação à densidade como a riqueza de grupos. Além disso, melhora o microclima proporcionando maior conforto térmico para os animais mestiços Holandês x Zebu (SILVA, 2008).

A função da sombra é proteger os animais da exposição aos pontos de maior temperatura radiante do ambiente e ao mesmo tempo favorecer a exposição desses animais aos pontos que apresentam temperatura mais baixa que a da sua superfície corporal. Dessa forma, eles tendem a perder e não a ganhar energia térmica por radiação. Em vista disso, é altamente recomendado que os animais abrigados à sombra de uma árvore estejam expostos à grande área de céu aberto, cuja temperatura é quase sempre muito baixa, mesmo em um dia de verão ensolarado e muito quente, inclusive, é inferior à registrada à sombra de uma árvore de copa baixa, embora ampla e densa (SILVA, 2006). De acordo com Silva (1988), citado por Baccari (2001), as árvores têm maior eficiência resfriadora que os abrigos artificiais, pois sob árvores, os animais acham-se expostos a uma maior área de céu aberto, que representa uma superfície “fria” em relação às demais fontes de radiação térmica, além de ser uma alternativa de menor custo, se comparado à construção de abrigos.

Glaser (2008), concluiu que os bovinos optam por utilizar o sombreamento como primeiro recurso de defesa contra as temperaturas elevadas e a radiação solar direta. A provisão de sombra, natural ou artificial, está entre as principais estratégias para melhorar a produção de leite e a eficiência reprodutiva de vacas em ambientes quentes. A melhor sombra é a provida por árvores, isoladas ou em grupos, e estas devem ser parte obrigatória dos pastos e piquetes para que as vacas leiteiras possam ser aliviadas da carga térmica radiante proveniente da radiação solar direta, principalmente durante o verão. (BACCARI, 2001).

A radiação solar direta, principalmente no verão, impõe uma carga de calor radiante sobre os animais, constituindo num dos elementos climáticos estressores

responsáveis pela depressão na produção de leite (BACCARI, 2001). O mesmo autor observa que vários experimentos realizados em regiões de clima quente têm demonstrado que vacas que dispõem de acesso à sombra no verão podem produzir, em geral, até 25% a mais de leite que as mantidas ao sol, durante as horas mais quentes do dia. No caso do gado de corte o problema é provavelmente mais sério, uma vez que esses animais são quase sempre mantidos exclusivamente no pasto, enquanto as vacas leiteiras têm, muitas vezes, acesso a instalações cobertas, ao menos durante parte do tempo (SILVA, 2006).

3.3. Efeitos da arborização no ambiente

A árvore oferece sombra, que talvez seja o efeito mais buscado nos climas tropicais, pois além de proteger os edifícios da insolação indesejada, matiza suas superfícies planas, criando um efeito de filtragem dinâmico (MASCARÓ, 1996; MASCARÓ e MASCARÓ, 2005). As áreas verdes urbanas são de extrema importância para a qualidade da vida urbana, pois, segundo Loboda e De Angelis (2005), entre tantos outros benefícios, elas agem simultaneamente sobre o lado físico e mental do homem, no físico absorvendo ruídos, atenuando o calor do sol, filtrando as partículas sólidas em suspensão no ar e, no plano psicológico, atenua o sentimento de opressão do homem com relação às grandes edificações. As árvores têm a capacidade de suavizar as duras linhas do ambiente urbano, formando um conjunto estético e belo, com efeitos no bem-estar psíquico da população (SCHUCH, 2006).

Cálculos sugerem que as árvores urbanas desempenham um papel importante no seqüestro de CO₂ e, conseqüentemente, retardam o aquecimento global (AKBARI, 2002). Segundo McPheterson et al. (2003), as florestas urbanas podem reduzir CO₂ da atmosfera de duas maneiras: 1) diretamente, as árvores seqüestram o CO₂ como biomassa lenhosa e foliar, enquanto elas crescem, e 2) árvores próximas de edifícios podem reduzir a demanda por aquecimento e ar condicionado, havendo assim redução das emissões associadas à produção de energia elétrica.

A radiação solar causa muitos efeitos nos centros urbanos e a vegetação é um dos elementos que pode ser utilizado para bloquear sua incidência e contribuir para o equilíbrio do balanço da energia nas cidades (PAULA, 2004). Essa autora observa que

o uso da vegetação como dispositivo de sombreamento e gerador de umidade pode vir a ser bastante eficiente e, para tanto, deve haver uma seleção adequada dessa vegetação em relação à orientação da fachada que se deseja sombrear, dos ventos dominantes, da qualidade do solo, do espaço disponível no terreno e principalmente da altura e do azimute do sol nos períodos de maior radiação solar, que correspondem aos dias mais quentes do ano. No trabalho de Donovan e Butry (2009), na Califórnia, EUA, os resultados demonstraram que a localização das árvores, em relação às casas, é um fator importante quando se pretende usar sombra de árvores para reduzir a utilização de eletricidade.

Em Campinas, Bueno-Bartholomei (2003) constatou que o uso da vegetação, com o intuito de atenuar a incidência direta da radiação solar nas fachadas de uma edificação, faz diminuir o ganho de calor no ambiente interno e reduz, em 98,1% dos casos, os valores de *Voto Médio Estimado* (VME). Segundo Ruas (1999), o *Predicted Mean Vote* (PMV) ou *Voto Médio Estimado* (VME), é o método para avaliação de conforto térmico (humano) mais conhecido e amplamente aceito, desenvolvido pelo dinamarquês Ole Fanger e publicado em Fanger (1970).

De acordo com Bochaca (2005), uma das qualidades ambientais características da cidade de Mendoza, Argentina, é resultado da associação da arborização urbana a um sistema de irrigação elementar. Em um contexto climático extremamente árido, a presença das árvores nas ruas foi decisiva na apropriação do espaço público, que repercutiu no comportamento social de seus habitantes. A vegetação é um termorregulador da temperatura do ar, aumenta o teor de umidade do ar (uma árvore adulta, em pleno verão, pode fornecer à atmosfera de 300 a 500 L/dia), acelera as brisas de convecção, filtrando ou absorvendo as poeiras em suspensão na atmosfera, dá sombra no verão e permite usufruir do sol no inverno, no caso das árvores caducifólias (MAGALHÃES, 2001).

Tinôco (2001) sugere o sombreamento natural ou artificial como o primeiro artifício em que se deve pensar, em climas quentes, para atenuar o efeito da alta insolação e promover o conforto térmico em galpões avícolas. Segundo a autora, especialmente em galpões abertos, comumente encontrados no Brasil, a alta insolação é a principal causa do desconforto térmico no verão, que durante o dia contribui com a parcela mais substancial de calor que penetra na construção. Na avicultura, a possibilidade de existência de árvores na face leste ou oeste de construções abertas é desejável para evitar a

incidência da irradiância solar direta dentro das áreas das coberturas. A vegetação em geral pode reverter completamente uma situação de desconforto térmico, sombreando naturalmente coberturas ou criando regiões com um microclima ameno (TINÔCO, 2001).

Segundo Kelly et al. (1950), citado por Tinôco (2001), a sombra produzida por árvores é o tipo de sombra ideal (embora seus valores comparativos sejam de difícil mensuração), pois a vegetação transforma, pela fotossíntese, parte da energia solar em energia química latente, reduzindo os efeitos da insolação durante o dia. O emprego de árvores altas pode proporcionar um microclima ameno nas instalações de aves, devendo-se evitar árvores que possam diminuir a ventilação no seu interior (quebra ventos).

Alves (2004) estudou a contribuição do sombreamento arbóreo para amenizar a radiação solar em instalações de aves. Analisou por meio de simulação gráfica, galpões com dimensões utilizadas em produção avícola, com a cumeeira orientada na direção leste-oeste, bem como na norte-sul e o sombreamento proporcionado por árvores de forma globosa. O exemplo da Figura 2 mostra o sombreamento proposto para instalações situadas a 20° S, com orientação leste-oeste (a) e norte-sul (b), às 10h, em condição de verão. As árvores com copa de 4 m de diâmetro estão dispostas a 2,5 m de distância das laterais do galpão com espaçamento de 5 m entre elas. Observa-se que o sombreamento propiciado pelas árvores é mais efetivo quando a instalação está com a orientação norte-sul, sendo nulo na área interna para a orientação leste-oeste.

Segundo Baccari (2001), a sombra pode reduzir em 30% ou mais a carga de calor radiante sobre os animais. No estudo de Silva (2008), a sombra da copa das árvores mostrou que pode reduzir em 26% a carga de calor sobre o animal, comparada com o tratamento a pleno sol. Dados os elevados níveis de radiação solar nas zonas intertropicais, essa proteção é essencial e inúmeras pesquisas comprovam que a simples existência de sombras de árvores nos pastos pode alterar favorável e significativamente o desenvolvimento dos animais (SILVA, 2000).

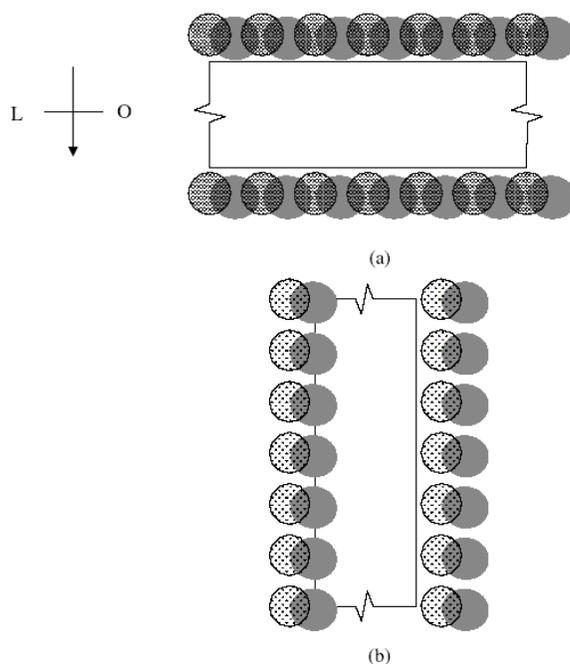


Figura 2. Sombreamento feito por meio de simulação gráfica (ALVES, 2004).

Silva (2006) propõe equações para determinar a orientação, comprimento e área da sombra projetada por árvores destinadas ao plantio em pastagens para bovinos, considerando o local, a época do ano e a hora do dia. As equações abrangem árvores com formatos de copa: esférica, lentiforme (formato de um grão de lentilha), cilíndrica, elipsóide, cônica e cônica invertida. Segundo o autor, o seu emprego no planejamento da arborização de uma pastagem resulta no plantio do número exatamente necessário de árvores para dar área de sombra suficiente para abrigar todos os animais, evitar carência de sombras e o excesso de árvores, que pode ser prejudicial às plantas forrageiras. Conforme orienta esse autor, para se determinar a forma e a posição de uma sombra são necessárias as dimensões da árvore e o formato geométrico aproximado da sua copa. E considera também que as árvores mais adequadas são aquelas de copas amplas, elevadas e com o formato de um cone invertido, como a que do exemplo apresentado na Figura 3.

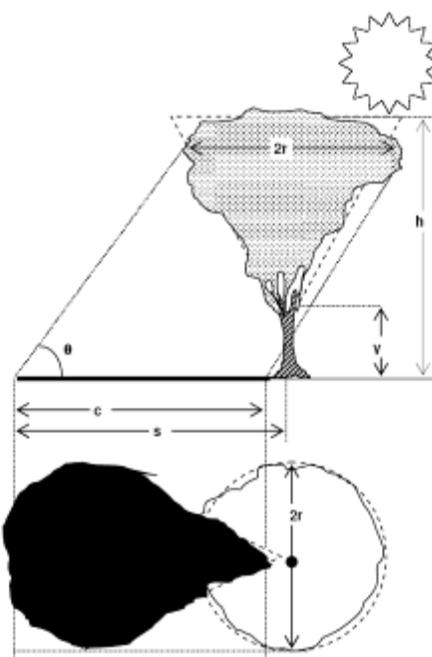


Figura 3. Esquema da projeção da sombra de uma árvore de copa cônica invertida proposta por Silva (2006).

3.4. Espécies arbóreas tropicais na retenção de calor

Diversas pesquisas utilizaram espécies arbóreas tropicais no estudo da retenção de calor. Para a zona urbana, diversas foram realizadas na região de Campinas, SP, entre elas as de Bueno (1998), Bueno-Bartholomei (2003) e Abreu (2008).

Bueno (1998) analisou cinco espécies arbóreas: jatobá (*Hymenaea courbaril*), chuva-de-ouro (*Cássia fistula*), magnólia (*Michelia champacca*), ipê-roxo (*Tabebuia impetiginosa*) e sibipiruna (*Caesalpinia peltophoroides* Benth), quanto à melhoria do microclima proporcionado pela sombra das mesmas. Quanto à atenuação da radiação solar, os resultados mostraram que as espécies que apresentaram os melhores desempenhos foram a sibipiruna, que atenuou 88,5% da radiação, o jatobá, 87,2% e a chuva-de-ouro, 87,3%, seguidos da magnólia que atenuou 82,4% e do ipê-roxo, 75,6%.

Bueno-Bartholomei (2003), estudou as espécies: cássia (*Senna spectabilis*), aroeira-salsa (*Schinus molle*), pata-de-vaca (*Bauhinia variegata*), jambolão (*Syzygium cumini* L.), sombreiro (*Clitoria fairchildiana*), cedro-rosa (*Cedrela fissilis*) e ficus

(*Ficus benjamina*), quanto à atenuação da radiação solar e melhoria do conforto térmico externo e de ambientes internos. Os resultados dessa pesquisa mostraram que a *Bauhinia variegata* teve um dos melhores desempenhos quanto à atenuação da radiação solar e melhoria do conforto térmico. Também a fim de estudar e avaliar a atenuação do ganho de calor solar, por espécies arbóreas, no ambiente construído, Paula (2004) utilizou mudas de ipê-roxo e acácia e obteve resultados positivos.

Abreu (2008) analisou cinco espécies arbóreas: ipê-amarelo (*Tabebuia chrysotricha* (Mart. ex DC.) Standl), jacarandá (*Jacaranda mimosaeifolia* D. Don.), jambolão (*Syzygium cumini* L.), mangueira (*Mangifera indica* L.) e chuva-de-ouro (*Senna siamea* L.) para identificar o raio de influência no conforto térmico alcançado por espécies arbóreas encontradas na região de Campinas, SP. Constatou que até uma distância de aproximadamente 15 m do tronco, o conjunto de variáveis ambientais ainda proporcionou conforto térmico, mesmo ao sol.

Para a zona rural, segundo Silva et al. (1998), seu grupo de pesquisa têm trabalhado com a avaliação da qualidade de sombra para retenção de calor desde 1995. As espécies: sibipiruna (*Caesalpinia peltophoroides* Benth), sapucaia (*Lecythis pisonis* Camb.) e tipuana (*Tipuana speciosa* Benth) foram estudadas por Silva et al (1995) em Piracicaba, SP e na região de Lavras, MG, Silva et al (1996) avaliaram as espécies: sassafrás (*Ocotea odorífera*), pau-de-canoa (*Ochroma pyramidale*) e mirindiba (*Lafoensia glyptocarpa*).

Dentre as espécies estudadas por Guiselini et al. (1999) no município de Nova Odessa, SP: santa-bárbara (*Melia azedarach*), leucena (*Leucaena leucocephala*), chapéu-de-sol (*Terminalia catappa*) e bambu (*Bambusa vulgaris*), este último apresentou melhores características térmicas enquanto a leucena apresentou qualidade de sombra inferior às demais. A análise dos resultados dessa pesquisa mostrou que as diferenças estatísticas entre as espécies arbóreas foram evidenciadas nos horários mais quentes do dia, ou seja, no intervalo das 12 às 16 horas.

Segundo Baccari (2001), bosques de eucalipto cumprem bem a função de sombreamento para vacas leiteiras, desde que tenham espaçamento adequado. Para o pasto, o autor indica as árvores frondosas, de folhas perenes, com altura mínima de 3 metros para propiciar uma sombra de pelo menos 20 m² e boa ventilação, de modo que o solo sombreado

seque rapidamente, evitando o acúmulo de umidade e barro, reduzindo assim a ocorrência de afecções nos cascos dos animais e a incidência de bernes.

Martins (2001) estudou a qualidade térmica das sombras fornecidas pelas espécies sapateiro (*Pera glabrata* Baill.), copaíba (*Copaifera langsdorffii* Desf.), pau-pereira (*Platycyamus regnellii* Benth), angico (*Anadenanthera macrocarpa* Brenan) e orelha-de-preto (*Enterolobium contortisiliquum* Morong), em condições de pastagem, no município de Pirassununga, SP. Segundo o autor, as espécies que proporcionaram melhor qualidade térmica de sombreamento ao longo do ano foram: a angico, seguida pela pau-pereira, a copaíba, a orelha-de-preto e, com uma resposta menos satisfatória, a sapateiro. Acrescentou ainda, que as características fenológicas das espécies estudadas tiveram fundamental relevância na qualidade térmica do sombreamento.

Alves e Rodrigues (2004) estudaram a eficiência do sombreamento propiciado por árvores, através de simulação gráfica. Para esse estudo, levaram em conta instalações situadas a 0, 10, 20 e 30° de latitude sul, que segundo os autores, limitam as regiões de produção avícola de norte a sul do País. Para a simulação consideraram a arquitetura arbórea da monguba (*Pachira aquatica* Aubl.), espécie com potencial para atingir entre seis e oito anos de idade, 2,5 m de fuste e copa globosa com 4 m de diâmetro, valores utilizados para a obtenção dos dados.

No município de Dourados, MT, Ayres (2004), estudou as características das sombras produzidas por duas espécies arbóreas, sibipiruna (*Caesalpinia peltophoroides*) e o flamboyán (*Delonix regia*), sob a incidência da radiação solar e sua interferência no conforto térmico de edificações sem fechamentos laterais. Os resultados mostraram que os sombreamentos produzidos pelas duas espécies analisadas proporcionaram atenuação das temperaturas, em relação aos dados obtidos ao sol, alterando favoravelmente o microclima local. O autor observou que os valores de atenuação das temperaturas foram maiores entre 11h15 e 15h15, período do dia em que a incidência da radiação solar na Terra é maior.

Na pesquisa de Leme et al. (2005), no município de Coronel Pacheco, MG, sobre comportamento de vacas mestiças Holandês x Zebu, em sistemas silvipastoris com várias espécies arbóreas, as espécies preferidas pelos animais, como provedoras de sombra, independente da época do ano, foram a *Acacia mangium*, seguida pela *Acacia auriculiformis* e

Acacia angustissima. Esse sistema silvipastoril continha as seguintes espécies arbóreas: *Acacia angustissima*, *Acacia auriculiformis*, *Acacia mangium*, *Albizia guachapelle*, *Albizia lebbek*, *Anadenanthera sp* (angico-vermelho), *Dalbergia nigra* (jacarandá-da-bahia), *Erythrina sp*, *Gliricidia sepium*, *Enterolobium contortisiliquum* (orelha-de-macaco), *Caesalpinia ferrea* (pau-ferro), *Piptadenia sp* (angico-branco) e a pastagem de *Brachiaria decumbens*. Notou-se uma tendência dos animais de selecionarem sombra com maior densidade. A sombra da *Acacia angustissima* foi usada mais no inverno que no verão, e menos usada que a da *Acacia mangium* e *Acacia auriculiformis*, talvez pelo seu porte menor, apesar da copa ampla. No verão, os animais demonstraram preferência por árvores de porte mais alto e com copa maior e globosa.

No Brasil, vários são os pesquisadores que atuam no estudo do sombreamento natural com árvores, em função da retenção de calor. Nota-se na tabela abaixo, que os estudos variam para espécies de grande, médio e pequeno porte, de acordo com as características regionais onde foram realizadas as pesquisas, tratando-se em sua grande maioria de espécies tropicais. Essas pesquisas foram realizadas nas cidades de Lavras (MG), Campinas (SP), Jaboticabal (SP), Nova Odessa (SP), Piracicaba (SP), Pirassunga (SP), Seropédica (RJ) e Dourados, MS, concentradas quase que exclusivamente na região sudeste do país.

Considerando-se esse levantamento percebe-se a necessidade de estudos do comportamento térmico do sombreamento de outras espécies arbóreas, para outras regiões, especialmente aquelas onde o efeito do clima local é mais severo com a população.

A Tabela 1 apresenta algumas das espécies arbóreas estudadas em função do conforto térmico, na zona urbana ou rural, nas localidades acima citadas, com suas respectivas referências (autores e ano de publicação).

Tabela 1. Espécies arbóreas estudadas para promoção de conforto térmico.

Nome científico	Nome popular	Referência
<i>Mangifera indica</i> L.	mangueira	Waldige (1994), citado por Silva (2000) Abreu (2008)
<i>Casuarina</i> sp(*)		Waldige (1994), citado por Silva (2000)
<i>Aleurite moluccana</i> (L.) Willd. (*)		Waldige (1994), citado por Silva (2000)
<i>Caesalpinia peltophoroides</i> Benth	sibipiruna	Waldige (1994), citado por Silva (2000) Silva et al. (1996), citado por Silva et al (1998) Bueno (1998) Ayres (2004)
<i>Pinus</i> sp(*)		Waldige (1994), citado por Silva (2000)
<i>Ocotea odorífera</i> (Vell.) Rohwer	sassafrás	Silva et al. (1995), citado por Silva et al (1998)
<i>Ochroma pyramidale</i> (Cav. ex Lam.) Urb.	pau-de-canoa	Silva et al. (1995), citado por Silva et al (1998)
<i>Lafoensia glyptocarpa</i> Koehne	mirindiba	Silva et al. (1995), citado por Silva et al (1998)
<i>Lecythis pisonis</i> Camb.	sapucaia	Silva et al. (1996), citado por Silva et al (1998)
<i>Tipuana speciosa</i> Benth	tipuana	Silva et al. (1996), citado por Silva et al (1998)
<i>Hymenaea courbaril</i> L.	jatobá	Bueno (1998)
<i>Cassia fistula</i> L.	chuva-de-ouro	Bueno (1998)
<i>Michelia champaca</i> L.	magnólia	Bueno (1998)
<i>Tabebuia impetiginosa</i> (Mart.) Standl.	ipê-roxo	Bueno (1998) Paula (2004)
<i>Melia azedarach</i>	santa-bárbara	Guiselini et al (1999)
<i>Leucaena leucocephala</i> (Lam.) R. de Wit	leucena	Guiselini et al (1999)
<i>Terminalia catappa</i> L.	chapéu-de-sol	Guiselini et al (1999)
<i>Bambusa vulgaris</i>	bambu	Guiselini et al (1999)
<i>Pera glabrata</i> (Schott) Baill.	sapateiro	Martins (2001)
<i>Copaifera langsdorffii</i> Desf.	copaíba	Martins (2001)
<i>Platycyamus regnellii</i> Benth.	pau-pereira	Martins (2001)
<i>Anadenanthera macrocarpa</i> (Benth.) Brenan	angico	Martins (2001)
<i>Enterolobium contortisiliquum</i> (Vell.) Morong	orelha-de-preto	Martins (2001)
<i>Schinus molle</i> L.	aroeira-salsa	Bueno-Bartholomei (2003)
<i>Senna spectabilis</i>	cássia	Bueno-Bartholomei (2003)
<i>Syzygium cumini</i> L.	jambolão	Bueno-Bartholomei (2003) Abreu (2008)
<i>Clitoria fairchildiana</i> R. A. Howard	sombreiro	Bueno-Bartholomei (2003)
<i>Cedrela fissilis</i> Vell.	cedro-rosa	Bueno-Bartholomei (2003)
<i>Bauhinia variegata</i> L.	pata-de-vaca	Bueno-Bartholomei (2003)
<i>Ficus benjamina</i> L.	ficus	Bueno-Bartholomei (2003)
<i>Delonix regia</i> (Bojer ex Hook.) Raf.	flamboyan	Ayres (2004)
	acácia	Paula (2004)
<i>Tabebuia chrysotricha</i> (Mart. ex DC.) Standl.	ipê-amarelo	Abreu (2008)
<i>Jacaranda mimosifolia</i> D. Don	jacarandá	Abreu (2008)
<i>Senna siamea</i> Lam.	chuva-de-ouro	Abreu (2008)
<i>Acacia holosericea</i> (*)	olosericea	Silva (2008)

(*) espécies não tropicais.

3.5. Formas de avaliação da qualidade da sombra

Bueno (1998) propôs uma metodologia para o estudo da atenuação da radiação solar e a melhoria do microclima proporcionado pela sombra de diferentes espécies arbóreas a partir de medições de temperatura de globo, temperatura ambiente, umidade

relativa e radiação solar incidente, por radiômetros e solarímetros lineares (que medem a irradiância média (kW.m^{-2}) em situações onde a distribuição da energia radiante não é uniforme). As medidas foram feitas simultaneamente ao sol e à sombra das árvores analisadas, em terreno não pavimentado, com os quais foram calculadas as porcentagens de atenuação da radiação solar para cada árvore e as variações relativas das temperaturas de globo e ambiente.

O trabalho de Bueno-Bartholomei (2003) deu continuidade à sua pesquisa anteriormente desenvolvida, em Bueno (1998), e utilizou a mesma metodologia para analisar outras espécies arbóreas, além de avaliar a influência de uma das espécies na melhoria do conforto térmico, no interior de uma edificação (uma escola) em Campinas, SP. Para tanto, utilizou vasos com exemplares de uma das espécies arbóreas (previamente estudadas) dispostos do lado de fora do ambiente, visando proteger da radiação solar incidente uma das paredes externas da construção. Realizou medições de temperatura ambiente e de globo, umidade relativa e velocidade do ar, dentro e fora do ambiente, em duas condições diferentes: com e sem a interferência dessas árvores (nos vasos). Por meio da comparação dos valores da atenuação da radiação solar pode avaliar a qualidade de sombreamento das espécies, além de utilizar o critério de conforto térmico de Fanger, o método do *Voto Médio Estimado* (VME) na avaliação do ambiente interno, nas duas condições estudadas, com e sem os exemplares das árvores em seu entorno.

Abreu (2008) deu continuidade aos estudos sobre atenuação da radiação solar por diferentes espécies arbóreas desenvolvido por Bueno-Bartholomei (2003). Depois de identificar as espécies a serem analisadas fez medições das variáveis climáticas: temperatura do ar, umidade relativa e velocidade do vento, em pontos situados à sombra da copa e ao sol, este em diferentes distâncias do tronco a fim de identificar o raio de influência das árvores no conforto térmico local. A radiação solar incidente foi medida com solarímetros de tubo, em dois pontos, à sombra e ao sol. As medições foram realizadas no período diurno, do amanhecer ao anoitecer, durante três dias, espaçados ao longo do ano, em diferentes estações. A análise dos dados compreendeu o cálculo da atenuação da radiação solar incidente, da evapotranspiração e avaliação de conforto térmico nas diferentes distâncias, de acordo com uma zona de conforto tridimensional para a região de Campinas. Os resultados da pesquisa mostraram que a maior contribuição para o conforto foi proporcionado por um agrupamento arbóreo. Para árvores isoladas, observou uma influência importante do *índice de área foliar*

(IAF) e da dimensão das folhas. Ainda em relação ao conforto térmico, constatou que até uma distância em torno de 15 m do tronco, o conjunto de variáveis ambientais proporciona conforto térmico mesmo ao sol.

Waldige (1994), citado por Silva (2000), avaliou a qualidade da sombra de árvores segundo algumas características morfológicas, em Jaboticabal, SP, ao longo de um ano. Para isso, utilizando globos de Vernor a uma altura de 0,8 m do solo, determinou a carga térmica radiante (CTR) ao sol e à sombra de seis árvores, com características diferentes: mangueira (*Mangifera indica* L.) de copa baixa e ampla e sombra densa; mangueira de porte pequeno e sombra densa; *Casuarina* sp, *Aleurites mollucana* e *Caesalpinia peltophoroides* Benth, de copa alta e esparsa e sombra rala e *Pinus* sp, de copa alta e estreita, sombra comprida e pouco densa. Sempre em terreno completamente coberto por grama até uma grande distância das mesmas. O melhor resultado observado foi à sombra da mangueira (*Mangifera indica* L.) de copa baixa e ampla e sombra densa.

Silva et al (1998) reuniram uma coletânea de dados e informações de pesquisas anteriormente realizadas por sua equipe e descreveram a metodologia utilizada para avaliar a qualidade da sombra de diferentes espécies arbóreas quanto à interceptação da radiação solar. Em terreno não pavimentado, com equipamentos instalados à sombra das espécies arbóreas (isoladas) selecionadas, que eram deslocados conforme a sua movimentação em consequência da inclinação do sol e outro a céu aberto registraram durante alguns horários ao longo do dia, os valores da velocidade do vento, temperaturas de bulbo seco e úmido e temperatura de globo negro. Por meio de equações psicrométricas calcularam os valores de temperatura de ponto de orvalho. Para interpretação dos dados utilizaram os índices de conforto térmico: carga térmica radiante (CTR), índice de temperatura e umidade (THI), índice de globo negro e umidade (BGHI) e temperatura de globo negro (Tg). Os autores salientaram que os índices de conforto que consideram os valores da velocidade dos ventos são mais eficientes nessa análise. Segundo Ayres et al. (2005), 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.

Guiselini et al. (1999) adotaram a metodologia proposta por Silva et al. (1998). Com uma mini-estação meteorológica instalada à sombra de cada espécie selecionada, a 1,60 m do solo, deslocada de acordo com a sua movimentação e outra a céu aberto

registraram de hora em hora, ao longo do dia, temperaturas de bulbo seco e úmido, umidade relativa, temperatura de globo negro e velocidade do vento e, por meio de equações psicrométricas, os valores das demais propriedades do ar. Para o estudo comparativo e qualitativo das sombras proporcionadas por quatro espécies arbóreas utilizaram os índices de conforto térmico: carga térmica radiante (CTR), índice de globo úmido (WBGT) e índice de temperatura e umidade (THI).

Martins (2001) avaliou a qualidade térmica de espécies arbóreas em condição de pastagem, através de dados climáticos e índices de conforto térmico animal. Para a análise foram considerados os dados de umidade relativa, temperatura de bulbo seco, velocidade do vento, temperatura de globo negro e intensidade luminosa, coletados conforme metodologia proposta por Silva et al. (1998), ao longo das quatro estações do ano. Os índices utilizados foram: índice de temperatura e umidade (THI), índice de temperatura de globo negro e umidade (BGHI), índice de carga térmica radiante (CTR) e redução da carga térmica radiante.

Alves e Rodrigues (2004) analisou a eficiência do sombreamento arbóreo para amenizar a radiação solar em instalações avícolas por meio de simulação gráfica e de um *índice de sombreamento* (Isg). Esse índice considera o efeito sombreador da árvore (com características previamente determinadas), no ambiente interno e externo, em função da localização temporal e espacial da instalação.

Ayres (2004) estudou, em Dourados, MS, a influência do sombreamento de duas espécies arbóreas na temperatura de edificações abertas. Os dados de temperatura do ar, umidade relativa e temperatura de globo negro foram coletados por instrumentos fixados a 1,30 m do solo em dois módulos de edificação pré-moldados, construídos em estrutura de madeira, totalmente abertos e cobertos com telhas de fibrocimento, localizados ao sol e à sombra das espécies arbóreas analisadas. Dados da velocidade do vento foram obtidos em estação meteorológica próxima. Com os dados obtidos foram calculadas as porcentagens de atenuação da temperatura para cada módulo e as variações relativas das temperaturas do ar e de globo negro e pode-se quantificar a atenuação de temperatura proporcionada pelas duas espécies estudadas em relação ao sol. Cabe informar que os dados das duas espécies foram analisados separadamente, uma vez que foram coletados em anos, meses e dias diferentes.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Caracterização da área experimental

O local escolhido para a pesquisa foi uma área não pavimentada, coberta por vegetação rasteira (gramínea), contendo diversas espécies arbóreas isoladas, livres da interferência de edificações ou outros elementos externos. Os critérios utilizados para a escolha do local foram, a facilidade de acesso à área, a distribuição das árvores na região e a distância entre elas, visando à exeqüibilidade da aquisição e registro dos dados.

A pesquisa foi conduzida durante o verão, nos meses de janeiro, fevereiro e março de 2010, em uma propriedade particular denominada Fazenda Santana, no município de Botucatu, SP. As coordenadas geográficas da área são, latitude entre 22° 50'48" e 22° 51'05" S e, longitude entre 48° 26' 11" e 48° 26'26" W, com altitude média de 820 m. O clima da região, segundo a classificação climática de Köppen, caracteriza-se como Cfa, clima temperado (mesotérmico) úmido com temperatura média do mês mais quente superior a 22 °C. Pela classificação de Thornthwaite caracteriza-se como B_{2r}B'_{3a}', clima úmido com

pequena deficiência hídrica nos meses de abril, julho e agosto (mesotérmico). A normal climatológica da precipitação pluviométrica (de 1971 a 2006) é de 1.428 mm (CUNHA e MARTINS, 2009).

A topografia do terreno onde as árvores estão localizadas apresenta-se suave ondulada, com superfície praticamente homogênea, coberta por pastagem composta por *Brachiaria* sp e *Paspalum* sp.

4.2. Seleção das espécies e dos indivíduos arbóreos

Para realizar a seleção das árvores foi necessário fazer um levantamento prévio das espécies arbóreas existentes no local, conforme Martins (2001).

As árvores foram selecionadas de acordo com a sua disponibilidade, isoladas no campo, considerando-se, segundo Silva et al. (1998), Guiselini et al. (1999) e Martins (2001): provimento de sombra; altura da base da copa que permitisse a aproximação de animais (gado bovino em pasto); projeção de sua sombra (livre da interferência de outras árvores ou construções); idade adulta; tempo de crescimento; tamanho de seus frutos (pequenos para não oferecerem nenhum tipo de risco aos animais, se ingeridos); folhas, frutos ou cascas não tóxicos e que não apresentassem raízes expostas.

Além dessas características, outro critério importante considerado neste trabalho foi a definição de um número mínimo de espécies e de exemplares para cada espécie arbórea selecionada. Assim, a escolha das espécies ficou limitada àquelas que apresentassem pelo menos três exemplares.

Dentre as árvores existentes no local apenas três espécies atenderam aos critérios acima citados:

1. Pau-terra-da-areia (*Qualea dichotoma* (Warm.) Stapf.)
2. Chico-pires (*Pithecolobium incuriale* (Vell.) Benth.)
3. Copaíba (*Copaifera langsdorffii* Desf.)

Nas Figuras 4, 5, 6 encontram-se os exemplares das referidas espécies e suas características morfológicas, ocorrência, informações ecológicas, fenologia e desenvolvimento, segundo Lorenzi (2000), encontram-se abaixo relacionadas.

4.2.1. Caracterização individual das espécies

1) Pau-terra-da-areia (*Qualea dichotoma* (Warm.) Stafl.)

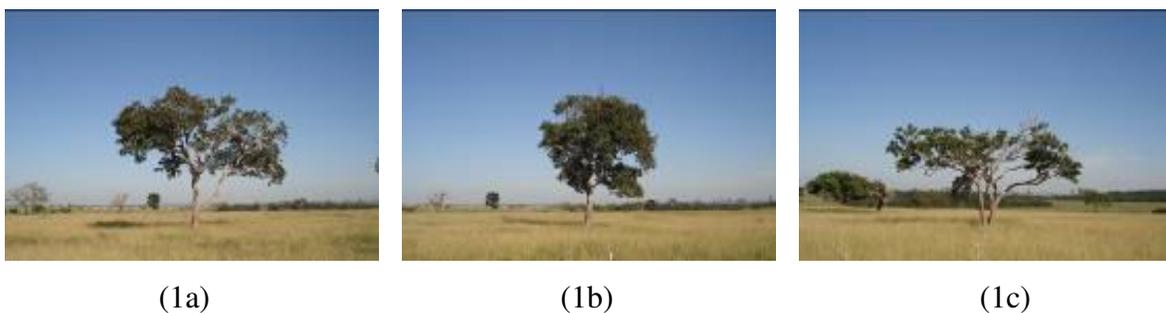


Figura 4. Exemplares (1a, 1b, 1c) da pau-terra-da-areia (*Qualea dichotoma* (Warm.) Stafl.).

Características morfológicas - altura de 10 a 18 m, com tronco de 40 a 50 cm de diâmetro. Folhas simples, coriáceas, glabras na face superior e tomentosas na inferior, de 6 a 11 cm de comprimento por 4 a 5 cm de largura.

Ocorrência - Minas Gerais, Goiás, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul e São Paulo, no cerrado e nas florestas semidecíduas de altitude e da bacia do Paraná.

Informações ecológicas - planta decídua, heliófita, pioneira, seletiva xerófito, característica do cerrado e de sua transição para as florestas semidecíduas (de altitude e da bacia do Paraná). Apresenta dispersão ampla, porém irregular e descontínua, ocorrendo em baixa frequência e principalmente em formações secundárias. Apresenta nítida preferência por terrenos arenosos e altos onde a drenagem é rápida.

Fenologia - floresce durante os meses de outubro a novembro. Os frutos amadurecem nos meses de agosto a setembro.

Desenvolvimento - o desenvolvimento das plantas no campo é muito lento.

2) Chico-pires (*Pithecolobium incuriale* (Vell.) Benth.)

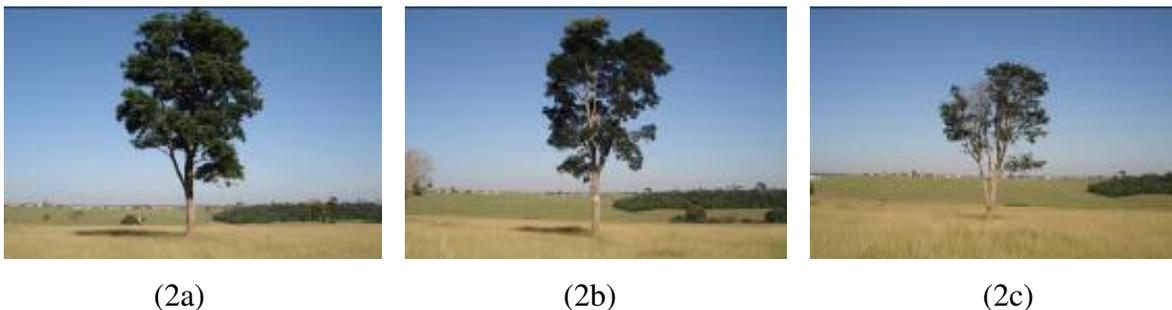


Figura 5. Exemplos (2a, 2b, 2c) da chico-pires (*Pithecolobium incuriale* (Vell.) Benth.).

Características morfológicas - altura de 15 a 25 m, com tronco bastante suberoso de 50 a 70 cm de diâmetro. Folhas compostas bipinadas, com 7 a 10 jugas; pinas com 20 a 40 pares de folíolos.

Ocorrência - Minas Gerais, São Paulo e Paraná, na floresta semidecídua de altitude.

Informações ecológicas - planta perenifólia, heliófita, seletiva xerófila, pioneira, característica de formações abertas de regiões de altitude. Ocorre preferencialmente em terrenos altos e bem drenados. Apresenta dispersão ampla, porém bastante descontínua e em baixíssima densidade populacional.

Fenologia - floresce nos meses de setembro a novembro. Os frutos amadurecem durante o período de agosto a outubro.

Desenvolvimento - o desenvolvimento das plantas no campo é rápido, alcançando facilmente 3 m aos 2 anos.

3) Copaíba (*Copaifera langsdorffii* Desf.)

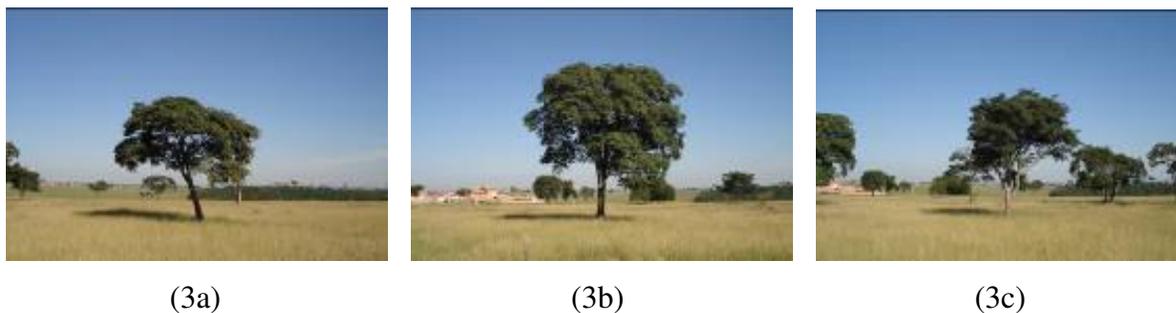


Figura 6. Exemplos (3a, 3b, 3c) da copaíba (*Copaifera langsdorffii* Desf.).

Características morfológicas - altura de 10 a 15 m, com tronco entre 50 e 80cm de diâmetro. Copa globosa densa; folhas compostas pinatífidas, com 3 a 5 jugos; folíolos alternos ou opostos, glabros de 4 a 5 cm de comprimento por 2 a 3 cm de largura.

Ocorrência - Minas Gerais, Goiás, Mato Grosso do Sul, São Paulo e Paraná, principalmente na floresta latifoliada da bacia do Paraná. Existem várias espécies de copaíba dependendo da região de ocorrência, todas muito parecidas.

Informações ecológicas - planta decídua ou semidecídua, heliófita, seletiva xerófita, característica das formações de transição do cerrado para a floresta latifoliada semidecídua. Ocorre tanto na mata primária como nas formações secundárias.

Fenologia - floresce durante os meses de dezembro-março. Os frutos amadurecem em agosto-setembro com a planta quase totalmente despida de folhagem.

Desenvolvimento - o desenvolvimento das plantas no campo é bastante lento, dificilmente ultrapassando os 2 m aos 2 anos.

4.2.2. Caracterização física das árvores selecionadas

As árvores selecionadas são adultas e suas características: altura, altura de fuste, diâmetro da copa e diâmetro à altura do peito (DAP) estão dispostos na Tabela 2. Durante o experimento, todas elas apresentavam-se providas de folhas, sem flores ou frutos.

Tabela 2. Características das árvores selecionadas para o estudo (medidas aproximadas).

Espécie	Figura	altura (m)			diâmetro (m)	diâmetro (cm)
		árvore	fuste	copa	DAP	
pau-terra-da-areia (<i>Qualea dichotoma</i> (Warm.) Stafl.)	6 (1a)	9,5	3,5	10	39	
	6 (1b)	8,5	2,5	7	33	
	6 (1c)	7	2,5	10	22 + 19 + 23	
chico-pires (<i>Pithecolobium incuriale</i> (Vell.) Benth.)	7 (2a)	13	4	8	43	
	7 (2b)	11,5	4	7	40	
	7 (2c)	9	3	5,5	19 + 27	
copaíba (<i>Copaifera langsdorffii</i> Desf.)	8 (3a)	7,5	3	7	30	
	8 (3b)	10	3	8,5	34 + 32	
	8 (3c)	7,5	2,5	6	25 + 17	

4.2.3. Equipamentos de medição e registro dos dados

Para a aquisição dos dados climáticos e térmicos da sombra fornecida pelas árvores foram utilizados os seguintes equipamentos:

1. Registradores de dados de temperatura e umidade relativa: 6 mini-dataloggers HOBO[®] providos de canais de entrada para os sensores de temperatura, umidade relativa do ar, temperatura de ponto de orvalho e duas entradas para equipamentos externos, neste caso, um globo negro, conectado por meio de um cabo, como pode ser visto na Figura 7.

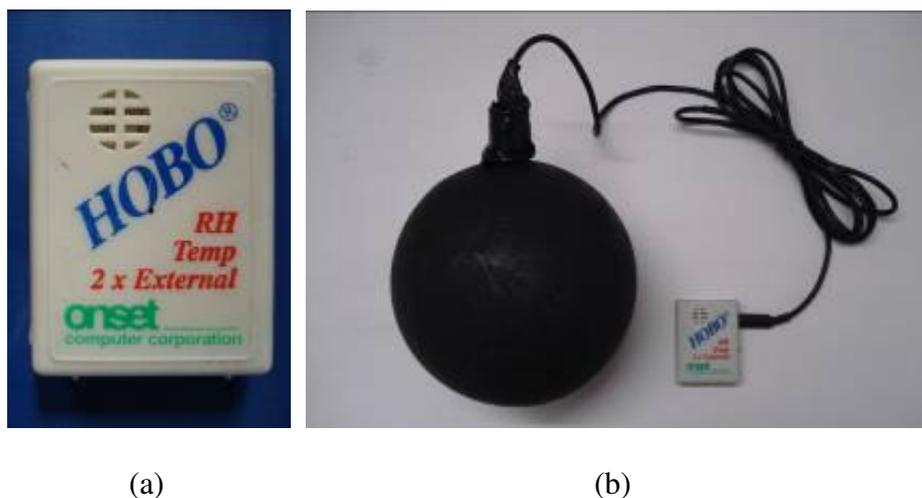


Figura 7. Vista geral do mini-datalogger HOBO[®] (a) e do globo negro conectado a um de seus canais de entrada (b).

2. Abrigos e suportes para os equipamentos: cada mini-datalogger descrito acima foi instalado num abrigo a fim de protegê-lo da radiação solar direta e evitar o comprometimento dos resultados obtidos. Os abrigos foram confeccionados especialmente para este trabalho, assim como os suportes, estes, com o objetivo de possibilitar a fixação do conjunto de equipamentos a uma altura determinada (1,60 m do solo), além de facilitar o deslocamento dos mesmos, que deveriam acompanhar a movimentação da sombra das árvores ao longo do dia (Figura 8).

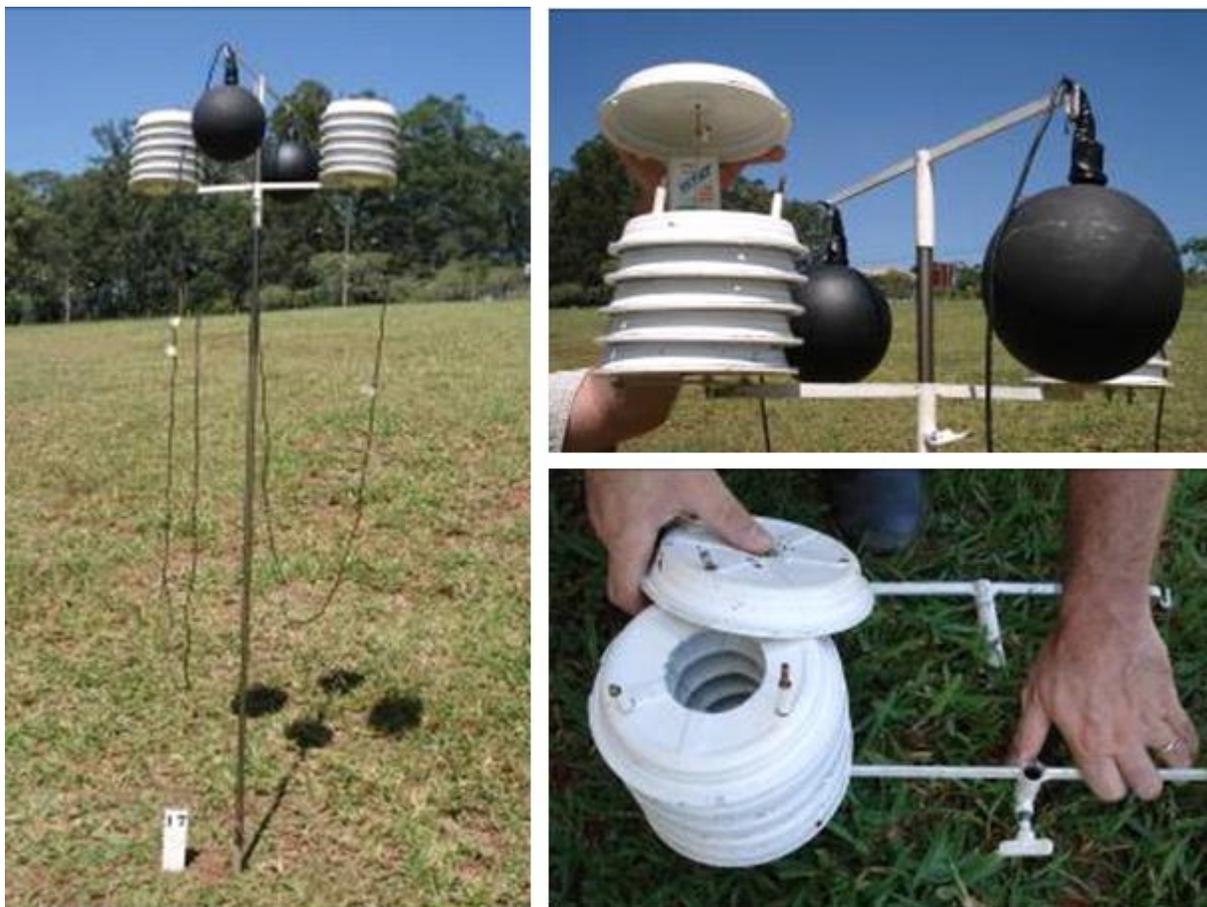


Figura 8. Vista geral do suporte com os equipamentos e detalhes do abrigo do mini-datalogger.

4.3. Etapas de implantação do experimento

4.3.1. Demarcação dos pontos de coleta de dados

Após a seleção das árvores, foi observado ao longo do dia o deslocamento de suas sombras, conforme a movimentação do sol. Com o auxílio de estacas numeradas, foram demarcados os centros geométricos (horários) das sombras projetadas no solo, no intervalo entre as 9 e 18 horas. Essa demarcação foi realizada em cada árvore de estudo. Em função da movimentação da sombra, em cada uma dessas árvores foram demarcados 10 pontos de coleta de dados, utilizando-se as estacas numeradas segundo sua hora correspondente (Figura 9). No horário em que o centro geométrico da projeção da sombra

coincidiu com o tronco da árvore estudada (entre as 12 e 13 horas), a estaca foi colocada a uma distância de aproximadamente 50 cm de seu tronco.

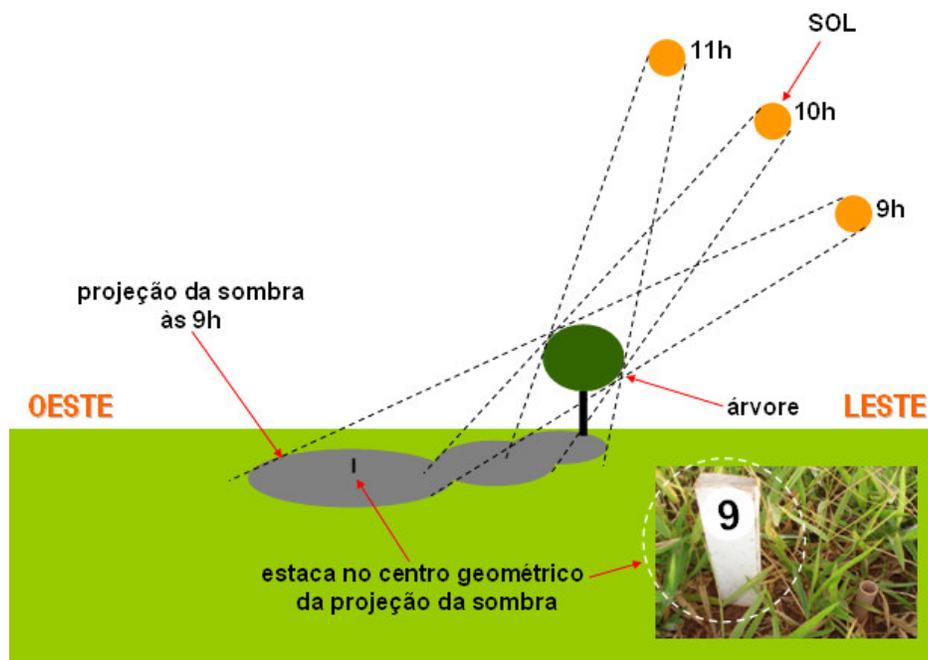


Figura 9. Esquema do deslocamento da projeção da sombra ao longo do dia e detalhe de estaca utilizada para demarcação dos horários de registro de dados.

4.3.2. Registro de dados

Para a aquisição dos dados micro-meteorológicos eram utilizados simultaneamente quatro conjuntos de equipamentos, três à sombra das espécies e um a céu aberto. De acordo com Silva et al. (1996) e Martins (2001), os equipamentos foram instalados a uma altura média de 1,60 m do solo, simulando a altura do dorso dos bovinos.

O registro dos dados foi programado para os horários: 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16 e 17 horas, visando o mapeamento do efeito da radiação solar incidente ao longo do dia, de acordo com a metodologia proposta por Silva et al. (1998), também utilizada por Guiselini et al. (1999) e Martins (2001). Vale lembrar, que parte dos registros ocorreu durante o período em que vigorava o horário de verão, porém, para a análise dos dados foram padronizados.

Para facilitar o registro simultâneo dos dados, considerando-se o grande número de árvores selecionadas (9 elementos arbóreos), a distância entre elas e o número reduzido de equipamentos, o delineamento experimental foi de fundamental importância. Assim, para a coleta de dados, as árvores foram organizadas em 3 grupos, **A**, **B** e **C**, e cada grupo foi avaliado separadamente durante 5 dias, somando no final do período, 15 dias de coleta.

Cada grupo foi organizado da seguinte forma: **Grupo A**: 1a, 2a e 3a; **Grupo B**: 1b, 2b e 3b; e **Grupo C**: 1c, 2c e 3c. Onde, **1**, **2** e **3** são as espécies: **1** (pau-terra-da-areia), **2** (chico-pires) e **3** (copaíba) e **a**, **b** e **c** são os exemplares das respectivas espécies, o que significa dizer que cada grupo foi composto por 3 árvores, sendo um exemplar de cada espécie.

As medidas registradas a céu aberto, ou seja, sob total exposição à radiação solar foram registradas durante os mesmos 15 dias, com os equipamentos instalados em um ponto fixo do campo, próximo às árvores selecionadas.

Os registros à sombra foram realizados com a instalação dos equipamentos no centro geométrico da sombra de cada árvore estudada. Os equipamentos eram deslocados de hora em hora, de acordo com o movimento do sol e da mudança da projeção da sombra e, conseqüentemente do centro geométrico da mesma (Figura 10). Esse procedimento se repetiu nos 3 grupos. Cada árvore foi acompanhada por 2 conjuntos de equipamentos procurando-se, dessa forma, evitar possíveis distorções nos registros dos dados.

Os dados foram registrados durante o verão, nos meses de janeiro, fevereiro e março, em dias límpidos e parcialmente nublados, num período total de 15 dias não consecutivos, em função da pluviosidade local. As variáveis físicas registradas nos dataloggers foram: a temperatura do ar (°C), a temperatura do ponto de orvalho (°C), a umidade relativa do ar (%) e a temperatura de globo negro (°C). As medidas de velocidade do vento (m/s) e radiação solar global ($W.m^{-2}$) foram registradas pela estação meteorológica localizada no Departamento de Recursos Naturais - Ciências Ambientais da FCA - UNESP, bem próximo a área do experimento, com coordenadas: 22° 51' S latitude, 48° 26' W longitude e 786 m altitude.

Pela Figura 11 verificam-se as distâncias entre a área experimental e o local do registro dos dados de velocidade do vento e radiação solar.



Figura 10. Vista do suporte com equipamentos instalados a céu aberto e à sombra de uma das árvores.



Figura 11. Foto aérea digitalizada da região de Botucatu (2005) com localização do experimento e estação meteorológica da FCA – UNESP.

4.3.3. Avaliação térmica da qualidade do sombreamento natural

Para determinar e caracterizar a qualidade térmica das sombras das diferentes espécies arbóreas estudadas foram estimadas as características psicrométricas do ar, conforme Silva et al. (1996), Guiselini (1999) e Martins (2001). As principais propriedades psicrométricas registradas em cada área sombreada nas diferentes árvores estudadas foram: temperatura do ar (T_a), umidade relativa (UR), temperatura de ponto de orvalho (T_{po}) e entalpia (H).

Segundo Barbosa Filho et al. (2007),

$$H = 6,7 + 0,243 \cdot T_{bs} + \left\{ \frac{UR}{100} \cdot 10^{\frac{7,5 \cdot T_{bs}}{237,3 + T_{bs}}} \right\} \quad (1)$$

onde:

H = entalpia (kcal/kg ar seco)

T_{bs} (ou T_a) = temperatura de bulbo seco ($^{\circ}\text{C}$)

UR = umidade relativa do ar (%).

De acordo com as metodologias propostas na literatura, para o estudo comparativo e das qualidades térmicas das sombras, foram utilizados os índices de conforto térmico:

I. *Índice de temperatura e umidade* (ITU) ou (THI) desenvolvido por Thom (1958);

$$THI = T_a + 0,36 \cdot T_{po} + 41,5 \quad (2)$$

onde:

THI = índice de temperatura e umidade (adimensional)

T_a = temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}$)

T_{po} = temperatura de ponto de orvalho ($^{\circ}\text{C}$)

II. *Índice de globo e umidade* (ITGU) ou, originalmente (BGHI);

Buffington et al. (1981) propuseram uma modificação do THI e denominaram de *índice de globo e umidade* (BGHI - Black Globe-Humidity Index):

$$\text{BGHI} = T_g + 0,36.T_{po} + 41,5 \quad (3)$$

onde:

BGHI = índice de globo e umidade (adimensional)

T_g = temperatura de globo negro ($^{\circ}\text{C}$)

T_{po} = temperatura de ponto de orvalho ($^{\circ}\text{C}$)

III. *Índice de carga térmica radiante* (CTR), proposta por Esmay (1979);

Segundo Esmay, citado por Teixeira (2005), este índice pode ser determinado pela equação de Stefan-Boltzman:

$$\text{CTR} = \sigma.(TMR)^4 \quad (4)$$

$$\text{TMR} = 100.\left\{ \left[2,51.(VV^{0,5})(T_g - T_a) + \left(\frac{T_g}{100} \right)^4 \right]^{0,25} \right\} \quad (5)$$

onde:

CTR = carga térmica radiante (W.m^{-2})

σ = constante de Stefan-Boltzman ($5,67.10^{-8} \text{ W.m}^{-2} \text{ }^{\circ}\text{K}^2$)

TMR = temperatura radiante média ($^{\circ}\text{K}$)

VV = velocidade do vento (m/s)

T_a = temperatura ambiente ($^{\circ}\text{K}$)

T_g = temperatura de globo negro ($^{\circ}\text{K}$)

Dessa forma, a definição das melhores situações microclimáticas promovidas pelas espécies arbóreas se deu por meio do estudo comparativo entre as médias dos índices de conforto térmico e da determinação da taxa de redução na CTR, proporcionada pela sombra de cada uma das espécies estudadas. Para se determinar essa redução considerou-se a carga térmica radiante recebida pela condição a céu aberto como 100%, conforme Martins (2001).

4.4. Delineamento Estatístico

O delineamento experimental foi constituído de 4 tratamentos (3 espécies, mais uma testemunha a céu aberto), com 3 repetições (3 exemplares de cada espécie). Cada conjunto de tratamentos foi avaliado durante 5 dias, totalizando 15 dias amostrais. Inicialmente foi verificada a normalidade dos dados pelo teste de Shapiro-Wilk ($P < 0,05$) e a homogeneidade de variância, pelo método de Box-Cox. Os dados que apresentaram homocedasticidade foram analisados através da média de variância, pelo teste F e foram transformados seguindo as recomendações do teste de Box-Cox. Como não apresentaram distribuição normal na homogeneidade de variância fez-se o teste não paramétrico Kruskal-Wallis. O programa estatístico utilizado para a análise dos dados foi o SAS.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados desse trabalho foram discutidos de duas formas:

1. Análise geral dos dados focando os efeitos do sombreamento nas variáveis respostas;
2. Seleção do dia crítico do período (de janeiro a março) e análise individualizada dos resultados, focando o dia de maior desconforto térmico.

5.1. Análise geral dos dados

De acordo com o delineamento experimental adotado, verificou-se a homogeneidade da variância e que não houve normalidade dos dados. Sendo assim, optou-se pelo método Box-Cox para a transformação dos dados.

As variáveis respostas analisadas foram: a temperatura do ar (T_a), a temperatura do ponto de orvalho (T_{po}), a umidade relativa do ar (UR), a temperatura de globo negro (T_g), a velocidade do vento (VV), a entalpia (H), o índice de temperatura e umidade (ITU), o índice de globo e umidade (ITGU) e a carga térmica radiante (CTR).

Após o estudo da variabilidade dos dados, verificou-se a necessidade de se aplicar a transformação para todas as variáveis, exceto a carga térmica radiante (CTR) e a velocidade do vento (VV), conforme é mostrado na Tabela 3.

Tabela 3. Fator de transformação dos dados pelo método Box-Cox.

Variável	Fator de transformação	Exponencial
Temperatura do ar (Ta)	3	Ta ³
Umidade relativa (UR)	0,5	UR ^{0,5}
Temperatura do ponto de orvalho (Tpo)	1,75	Tpo ^{1,75}
Temperatura de globo negro (Tg)	1,25	Tg ^{1,25}
Entalpia (H)	1,5	H ^{1,5}
Índice de globo e umidade (ITGU)	1,25	ITGU ^{1,25}
Índice de temperatura e umidade (ITU)	3	ITU ³

Para o entendimento das tendências ocorridas, a discussão dos resultados foi apresentada de acordo com o efeito do sombreamento proporcionado pelas diferentes espécies arbóreas em cada variável resposta.

5.1.1. Efeito do sombreamento das diferentes espécies na temperatura do ar (Ta)

Por meio da análise da variância, verificou-se que houve diferença estatística para a variável temperatura do ar (Ta) entre as árvores estudadas dentro da mesma espécie, entre as espécies, e ao longo do dia, como pode ser visto na Tabela 4.

A comparação entre as médias foi realizada pelo teste de Tukey a 5%. Pode-se verificar pelos resultados apresentados na Tabela 5 que, com relação à temperatura do ambiente à sombra, as espécies chico-pires (*Pithecolobium incuriale* (Vell.) Benth.) e copaíba (*Copaifera langsdorffii* Desf.) não diferiram entre si, e apresentaram Ta menores do que a céu aberto, que por sua vez, não diferiu da temperatura à sombra da espécie pau-terra-da-areia (*Qualea dichotoma* (Warm.) Stapf.).

Tabela 4. Análise da variância para a temperatura do ar (Ta), sendo consideradas as espécies e os exemplares de cada espécie (árvore).

CV	GL	SQ	QM	F	PR > F
Espécie	3	129,07	43,02	14,74	< 0,0001
Árvore	8	682,75	85,34	29,24	< 0,0001
Equipamento	1	11,84	11,84	4,06	0,0440
Hora	36	9590,16	266,39	91,27	< 0,0001
Resíduo	3329				
Total	3377				

CV=18,60%

Tabela 5. Médias da temperatura do ar (°C) pelo teste de Tukey a 5%.

Espécie	Média
céu aberto	27,00 a
pau-terra-da-areia	26,93 a
chico-pires	26,49 b
copaíba	26,65 b

As médias seguidas de letras iguais não apresentaram diferenças estatísticas pelo teste de Tukey.

Na pesquisa de Martins (2001), com cinco espécies arbóreas, a média de temperatura ambiente (Ta) à sombra da espécie Sapateiro (*Pera glabrata* Baill.), durante os horários mais quentes do dia (entre 12 e 16 horas), foi maior do que a céu aberto. Esse resultado foi obtido no verão, mesma estação em que foram observados os dados do presente trabalho. Ainda no mesmo trabalho, na mesma estação, essa espécie diferiu das demais espécies estudadas, pau-pereira (*Platycamus regnellii* Benth.), angico (*Anadenanthera macrocarpa* Brenan), copaíba (*Copaifera langsdorffii* Desf.) e orelha-de-preto (*Enterolobium contortisiliquum* Morong), que apresentaram valores de Ta menores do que a céu aberto e que, assim como na presente pesquisa, não diferiram estatisticamente entre si.

Bueno (1998) comparou a atenuação da T_a promovida pela sombra das espécies jatobá (*Hymenaea courbaril*), ipê-roxo (*Tabebuia impetiginosa*), chuva-de-ouro (*Cassia fistula*), magnólia (*Michelia champaca*) e sibipiruna (*Caesalpinia peltophoroides* Benth.) e o pior desempenho foi o da espécie magnólia.

Nos três trabalhos, os maiores valores de temperatura ambiente foram observados à sombra das espécies com folhas grandes, em comparação às demais espécies estudadas. Porém, nos trabalhos de Martins (2001) e Bueno (1998) as referidas espécies sapateiro (*Pera glabrata*) e magnólia (*Michelia champaca*), respectivamente, não eram as únicas espécies, entre as analisadas, que possuíam folhas grandes, mas eram as de copa mais densas. Na presente pesquisa, a espécie de pior desempenho, a pau-terra-da-areia é a única com folhas grandes, porém a de copa mais rala.

Martins (2001) cita observações feitas por Waldige (1994), sobre formato e o tamanho das folhas interferirem na evapotranspiração das árvores dificultando o processo de troca gasosa da copa com o meio ambiente. Segundo cita o autor, em comparação com copas formadas por folhas bipinadas compostas e miúdas, folhas grandes e únicas têm um pior desempenho nessas trocas. Waldige (1994), Ghelfi Filho et al. (1996) e Silva et al. (1996) sugerem, a partir dos resultados obtidos em seus trabalhos, que árvores de copa densa e baixa e com folhas largas não são recomendadas, quando a intenção é promover conforto térmico. Essas características das árvores dificultam a ventilação, a ascensão e a dissipação do ar quente.

Neste trabalho, a espécie que apresentou a maior média de T_a , pau-terra-da-areia, possui folhas únicas (simples) e relativamente grandes, quando comparadas com as das demais, chico-pires e copaíba, porém, sua copa não é baixa e é a mais rala dentre elas, não corroborando as observações feitas por Waldige (1994), Ghelfi Filho et al. (1996) e Silva et al. (1996).

Quanto às demais espécies, chico-pires e copaíba, uma possível explicação baseada nas características morfológicas das duas espécies não parece plausível para justificar o resultado observado e sugere um aprofundamento nos estudos. Embora não se observe semelhanças entre as duas espécies, estatisticamente não diferiram entre si e apresentaram médias de valores muito próximas. A espécie chico-pires tem copa alta e pouco densa, com formato semelhante a um cone invertido como muitas das leguminosas (Silva,

2006), com folhas bipinadas e folíolos bem pequenos, enquanto que a copaíba possui copa mais baixa, pouco arredondada, mais densa em relação à chico-pires, com folhas compostas, pinadas e folíolos médios. O desempenho da espécie chico-pires está de acordo com suas características, conforme observaram Waldige (1994), Ghelfi Filho et al. (1996) e Silva et al. (1996), porém não difere estatisticamente da copaíba.

Observa-se na Figura 12 que a pequena diferença de Ta registrada entre as espécies manteve-se praticamente a mesma durante todo o período estudado.

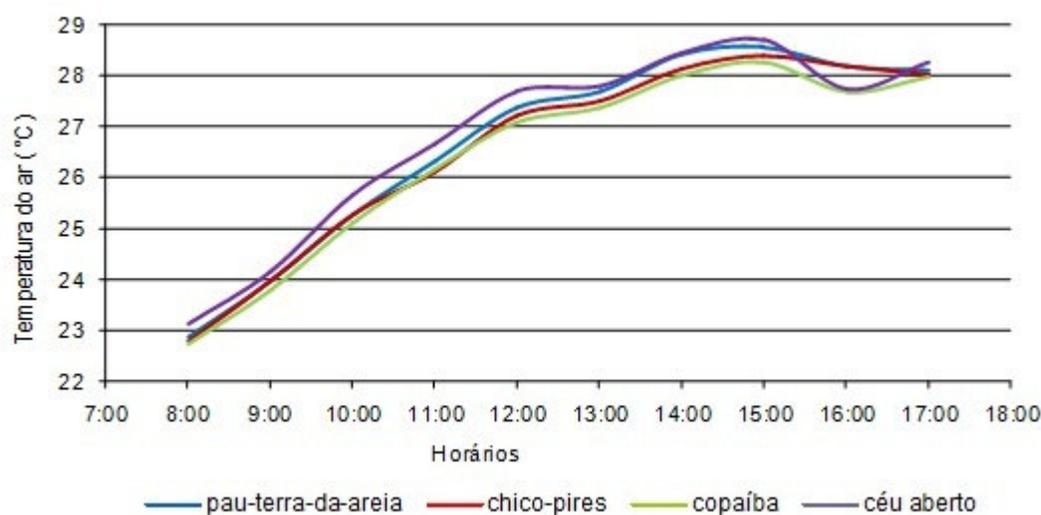


Figura 12. Valores médios da temperatura do ar (°C) à sombra de cada espécie e a céu aberto nos horários do período estudado.

5.1.2. Efeito do sombreamento das diferentes espécies na umidade relativa do ar (UR)

A análise de variância referente aos dados de umidade relativa (UR) pode ser observada na Tabela 6. Nota-se que houve diferença estatística entre as árvores estudadas dentro da mesma espécie, entre as espécies e ao longo do dia, semelhante ao que ocorreu com a temperatura ambiente.

A comparação entre as médias, realizadas pelo teste de Tukey a 5%, pode ser observada na Tabela 7 abaixo. Pode-se verificar que o efeito na umidade foi diferente

dos resultados encontrados para a temperatura ambiente. Nesse caso, não houve diferença entre as espécies pau-terra-da-areia e copaíba que apresentaram valores intermediários de UR, sendo que a espécie chico-pires apresentou os maiores valores médios de UR à sombra.

Tabela 6. Análise da variância para a umidade relativa do ar (UR).

CV	GL	SQ	QM	F	Pr > F
Espécie	3	35209,67	11736,55	114,54	< 0,0001
Árvore	8	62199,32	7774,91	75,88	< 0,0001
Equipamento	1	537,45	537,45	5,25	0,0221
Hora	36	151545,85	4209,60	41,08	< 0,0001
Resíduo	3329				
Total	3377				

CV=10,11%

Tabela 7. Médias da umidade relativa do ar (%) pelo teste de Tukey a 5%.

Espécie	Média
céu aberto	44,57 c
pau-terra-da-areia	52,92 b
chico-pires	54,97 a
copaíba	52,42 b

As médias seguidas de letras iguais não apresentaram diferenças estatísticas pelo teste de Tukey.

De acordo com Martins (2001), espécies mais altas, com folhas compostas e miúdas, facilitam a movimentação do ar por entre a copa auxiliando nas trocas gasosas com o meio ambiente, reduzindo assim a umidade relativa do ar. Todas as características morfológicas citadas por esse autor coincidem com as observadas na espécie chico-pires, espécie que na presente pesquisa, apresentou o maior valor de UR. Desta forma, os resultados aqui encontrados não podem ser explicados em decorrência dessas características e não

corroboram os resultados obtidos por Martins (2001). Em sua pesquisa, esse autor obteve os maiores valores de UR à sombra da espécie pau-pereira (*Platycyamus regnelli* Benth.), espécie com folhas grandes, registrados no verão, nos horários mais quentes do dia.

É interessante observar também que na pesquisa de Martins (2001), a espécie copaíba apresentou os menores valores médios de UR, nos horários mais quentes do dia, entre 1,31% a 3,71% mais baixos do que os valores observados a céu aberto, enquanto que na presente, essa espécie (copaíba) apresentou um valor médio 17,61% maior do que o valor registrado a céu aberto, ambos no verão. Ainda na pesquisa de Martins (2001) nota-se que nas demais estações do ano os resultados não foram os mesmos.

No presente trabalho, as espécies pau-terra-da-areia e copaíba que apresentaram valores de UR intermediários muito próximos e que estatisticamente não diferiram entre si possuem características morfológicas bem distintas, a primeira com copa rala e folhas grandes e únicas e, a segunda, com copa densa, folhas compostas e pequenas. Além das características morfológicas já citadas como o tamanho e o formato da copa e das folhas das espécies, é possível que outras combinações de características, como a profundidade das raízes e seus processos fisiológicos, ou a área foliar da copa, podem estar relacionadas ao resultado observado, porém essa investigação não era objetivo deste trabalho.

Nota-se também nesta pesquisa que em todas as espécies estudadas a UR foi superior a da testemunha a céu aberto, o que era esperado, uma vez que, sob as copas das árvores, as trocas gasosas são maiores e existe o efeito da evapotranspiração. Abreu (2008) observou em sua pesquisa que a umidade relativa do ar foi maior a uma distância de 10m do tronco das espécies analisadas do que à sombra das mesmas.

Observa-se na Figura 13, que a diferença de UR registrada entre as espécies, assim como entre as espécies e a testemunha a céu aberto manteve-se praticamente constante e, inversamente proporcional a T_a durante todo o período estudado. Essa tendência também pode ser observada no trabalho de Martins (2001), durante o verão.

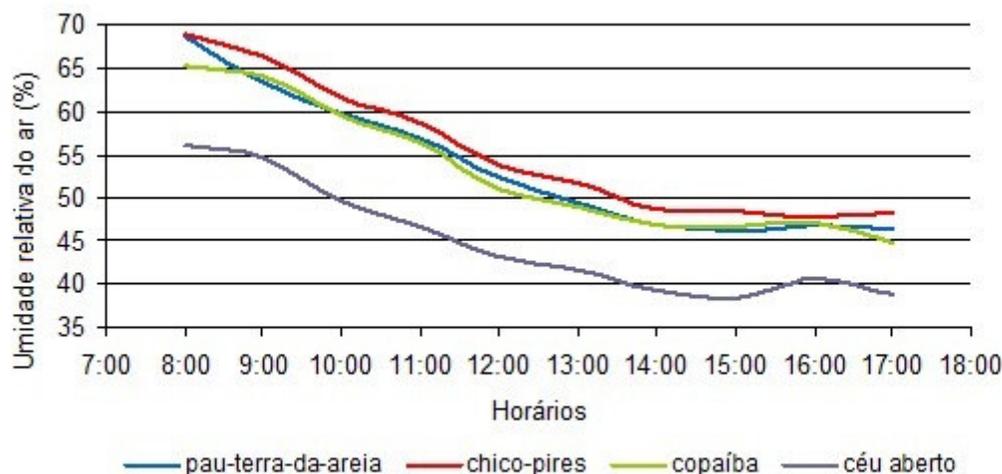


Figura 13. Valores médios da umidade relativa do ar (%) à sombra de cada espécie e a céu aberto nos horários do período estudado.

5.1.3. Efeito do sombreamento das diferentes espécies na temperatura de globo negro (TG)

Segundo Silva (2000), o globo negro é um dos melhores instrumentos para a avaliação da carga térmica radiante, a CTR, foi proposto originalmente por Vernon (1932) e desde então é extensamente usado e divulgado. De acordo com o autor, quando exposto num dado local, o globo troca energia térmica com o ambiente através dos mecanismos de radiação e convecção, até alcançar um estado de equilíbrio onde, calor ganho e calor dissipado se igualam. Silva (2000) explica que o globo negro é colocado no lugar que um animal ocuparia no espaço e, a temperatura por ele indicada, provê uma estimativa dos efeitos combinados da energia térmica radiante em todas as direções possíveis, além da temperatura do ar e da velocidade do vento. Por isso vários autores (Zoa-Mboe et al., 1989; Mota, 2001), utilizam a Tg como indicativo de conforto animal, estabelecendo-se as faixas ideais de Tg para diferentes criações e faixa etária dos animais.

Para a variável temperatura de globo negro (Tg), por meio da análise da variância, verifica-se que houve diferença estatística entre as árvores estudadas dentro da mesma espécie, entre as espécies e ao longo do dia, como pode ser visto na Tabela 8.

Tabela 8. Análise da variância para a temperatura de globo negro (Tg).

CV	GL	SQ	QM	F	Pr > F
Espécie	3	25536,13	8512,04	948,53	< 0,0001
Árvore	8	2512,31	314,03	34,99	< 0,0001
Equipamento	1	344,54	344,54	38,39	< 0,0001
Hora	36	8811,16	244,75	27,27	< 0,0001
Resíduo	2973				
Total	3021				

CV=11,64%

Os resultados da comparação entre as médias, feitas pelo teste de Tukey a 5%, podem ser observados na Tabela 9. Verifica-se que, com relação à temperatura de globo negro, a espécie copaíba destaca-se das demais espécies, pois apresentou a menor média. As espécies pau-terra-da-areia e chico-pires, não diferiram estatisticamente entre si, apresentando valores intermediários entre a espécie copaíba e a testemunha a céu aberto que, por sua vez apresentou os valores de Tg mais altos.

Tabela 9. Médias da temperatura de globo negro (°C) pelo teste de Tukey a 5%.

Espécie	Média
céu aberto	36,79 a
pau-terra-da-areia	31,45 b
chico-pires	31,48 b
copaíba	28,67 c

As médias seguidas de letras iguais não apresentaram diferenças estatísticas pelo teste de Tukey.

Considerando-se que a temperatura indicada pelo globo negro resulta de uma combinação da temperatura do ar, temperatura radiante e da velocidade do vento (BACCARI, 2001; SILVA, 2000), o resultado relacionado à testemunha a céu aberto, que apresentou os piores resultados (Tg mais alta) em comparação às espécies arbóreas estudadas é coerente com o que se esperava.

Embora a espécie pau-terra-da-areia tenha apresentado o maior valor de T_a , em relação às demais espécies, não diferindo estatisticamente da T_a a céu aberto, a T_g observada à sua sombra não segue a mesma tendência e, neste caso, a interferência das características morfológicas das espécies estudadas parece ter influenciado. Nesta pesquisa, assim como na pesquisa de Martins (2001), as árvores com copas mais ralas ou menos densas apresentaram valores de T_g nitidamente mais altos do que as demais, independente do formato de suas folhas.

A espécie copaíba, apesar de ser proporcionalmente menor que as espécies chico-pires e pau-terra-da-areia possui copa mais densa e com menos falhas entre os ramos. Essa condição garantiu que o globo negro instalado sob sua copa, ou fora dela (no começo da manhã e no final da tarde), permanecesse sempre à sombra, aparentemente de mesma intensidade.

A diferença entre as médias da T_g registradas a céu aberto e à sombra das espécies que apresentaram o melhor e o pior desempenho, ou seja, copaíba e chico-pires, foi de $8,12\text{ }^{\circ}\text{C}$ (22,07%) e $5,31\text{ }^{\circ}\text{C}$ (14,43%) respectivamente. Na pesquisa de Martins (2001), essa atenuação foi menor, $5,23\text{ }^{\circ}\text{C}$ (14,09%) pela espécie pau-pereira e $3,76\text{ }^{\circ}\text{C}$ (10,13%) pela orelha-de-preto, que apresentaram respectivamente o melhor e o pior desempenho. As médias de T_g apresentadas na pesquisa desse autor foram $37,13\text{ }^{\circ}\text{C}$ a céu aberto, $31,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ à sombra da espécie pau-pereira (melhor desempenho) e $33,37\text{ }^{\circ}\text{C}$ à sombra da espécie orelha-de-preto (pior desempenho). Esses valores foram obtidos a partir de médias de T_g observadas no verão, nas horas mais quentes do dia, período em que se observaram as maiores diferenças de T_g entre o sol e a sombra de todas as espécies. Ainda nesse trabalho pode-se observar que, para cada estação, os valores de T_g apresentaram-se bem distintos.

Na pesquisa de Silva (2008), no município de Seropédica, RJ, em sistema silvipastoril, as médias de T_g encontradas a pleno sol e nas entrelinhas entre as árvores não diferenciaram entre si ($34,8\text{ }^{\circ}\text{C}$, média dos dois locais), mas foram superiores à registrada sob a copa da *Acacia holosericea* ($31,1\text{ }^{\circ}\text{C}$). Vale lembrar que, nessa pesquisa, não se tratou de árvores isoladas. Ainda nesse mesmo trabalho, a T_g no verão ($35,0\text{ }^{\circ}\text{C}$) foi significativamente maior que a registrada no inverno ($31,4\text{ }^{\circ}\text{C}$). Segundo Mota (2001), citado por Silva (2008), a faixa de T_g , entre 7 a $26\text{ }^{\circ}\text{C}$, para vacas em lactação é considerada ótima, entre 27 e $34\text{ }^{\circ}\text{C}$ é regular e acima de $35\text{ }^{\circ}\text{C}$ é crítica. Considerando a citação acima, todos os valores de T_g

apresentados no presente estudo encontram-se numa faixa de conforto regular, porém, vale observar que a faixa de conforto para Tg pode variar de um autor para outro, em função do clima e da raça dos animais pesquisados.

Na Figura 14 nota-se com nitidez que a Tg a céu aberto apresentou-se bem mais elevada que à sombra das três espécies estudadas e que a melhor sombra avaliada termicamente por essa variável foi a da copaíba.

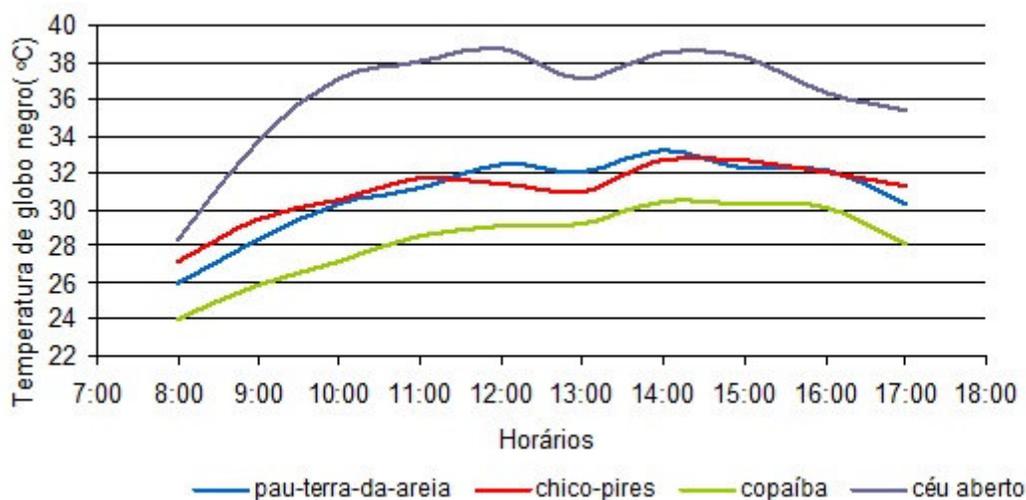


Figura 14. Valores médios da temperatura de globo negro (°C) à sombra de cada espécie e a céu aberto nos horários do período estudado.

5.1.4. Efeito do sombreamento das diferentes espécies na entalpia (H)

A entalpia está relacionada à quantidade de calor existente no ar, dessa forma acredita-se que à sombra a quantidade de calor seja maior que a céu aberto, uma vez que existe um microclima gerado com valores diferenciados de temperatura e umidade relativa. Deve-se considerar ainda que dependendo do tipo de copa, altura da árvore e folhagem, o fluxo de vento à sombra também se diferencia da condição a céu aberto. O efeito convectivo do ar em condições de sombreamento pode ser alterado em relação a uma condição a céu aberto.

Para a entalpia (H), por meio da análise da variância, verifica-se que houve diferença estatística entre as árvores estudadas dentro da mesma espécie, entre as espécies, e ao longo do dia, como pode ser visto na Tabela 10.

Tabela 10. Análise da variância para a entalpia (H).

CV	GL	SQ	QM	F	Pr > F
Espécie	3	8290,26	2763,42	134,55	< 0,0001
Árvore	8	19235,22	3205,87	59,37	< 0,0001
Equipamento	1	3576,84	3576,84	24,02	< 0,0001
Hora	36	7554,11	209,83	7,85	< 0,0001
Resíduo	3329				
Total	3377				

CV=11,12%

Na comparação entre as médias, feitas pelo teste de Tukey a 5%, apresentada na Tabela 11, pode-se observar que, para a entalpia, todas as espécies apresentaram valores mais altos do que o da testemunha a céu aberto, como já se esperava. Se comparadas as três espécies verifica-se que a copaíba apresentou a menor quantidade de calor à sombra em relação às demais e, esses resultados confirmam as características termodinâmicas das variáveis estudadas anteriormente, como Ta, Tg, UR. Os valores mais altos foram apresentados pelas espécies pau-terra-da-areia e chico-pires, que não diferem estatisticamente entre si.

Tabela 11. Médias da entalpia (kcal/kg de ar seco) pelo teste de Tukey a 5%.

Espécie	Média
céu aberto	51,75 c
pau-terra-da-areia	56,22 a
chico-pires	56,21 a
copaíba	55,21 b

As médias seguidas de letras iguais não apresentaram diferenças estatísticas pelo teste de Tukey.

Na Figura 15, pode-se observar que à sombra da copaíba a quantidade de calor apresentou-se menor do que à sombra das demais espécies.

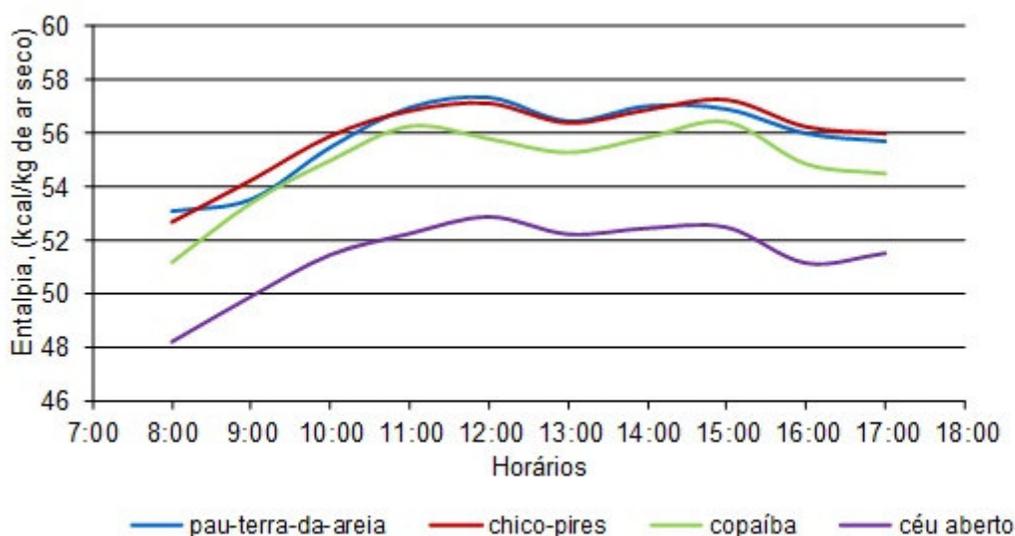


Figura 15. Valores médios da entalpia (kcal/kg de ar seco) à sombra de cada espécie e a céu aberto nos horários do período estudado.

5.1.5. Efeito do sombreamento das diferentes espécies no índice de temperatura e umidade (ITU)

O índice de temperatura e umidade (ITU ou THI) desenvolvido por Thom (1958) como índice de conforto humano, segundo Silva (2000), tem sido utilizado para descrever o conforto de animais desde que Johnson et al (1962, 1963) e Cargill e Stewart (1966) associaram significativas quedas na produção de leite de vacas a aumentos no valor de ITU. De acordo com Pires et al. (2003), vários índices têm sido desenvolvidos e usados para avaliar o conforto do animal com relação a um determinado ambiente, em geral considerando a temperatura e a umidade relativa do ar, e um dos mais difundidos tem sido o ITU. Apesar disso, Silva (2000) faz uma crítica a esse índice de conforto que só leva em conta a Ta e a UR, como acima mencionado, pois, segundo esse autor, a radiação térmica é um dos mais importantes fatores de conforto para animais em campo aberto, em conjunção com os outros dois.

Neste trabalho, para o índice de temperatura e umidade (ITU), por meio da análise da variância, verifica-se que houve diferença estatística entre as árvores estudadas dentro da mesma espécie, entre as espécies e ao longo do dia, como pode ser visto na Tabela 12.

Tabela 12. Análise da variância para o índice de temperatura e umidade (ITU).

CV	GL	SQ	QM	F	Pr > F
Espécie	3	164,83	54,94	19,68	< 0,0001
Árvore	8	386,88	48,36	17,33	< 0,0001
Equipamento	1	55,57	55,57	19,91	< 0,0001
Hora	36	7840,63	217,79	78,03	< 0,0001
Resíduo	3329				
Total	3377				

CV=6,66%

Os resultados da comparação entre as médias, feitas pelo teste de Tukey a 5%, encontram-se na Tabela 13. Os valores intermediários foram apresentados pelas espécies copaíba e chico-pires, que não diferiram estatisticamente entre si e, os mais altos, pela espécie pau-terra-da-areia. Observa-se que, também neste caso, a menor média apresentada foi a da testemunha a céu aberto.

Tabela 13. Médias do ITU pelo teste de Tukey a 5 %.

Espécie	Média
céu aberto	73,33 c
pau-terra-da-areia	74,19 a
chico-pires	73,83 b
copaíba	73,77 b

As médias seguidas de letras iguais não apresentaram diferenças estatísticas pelo teste de Tukey.

Segundo Silva (2000), se o ITU for utilizado para avaliar ambientes de um animal, mantidos em interiores, à sombra, ou sob o sol direto, não demonstrará nenhuma diferença. Essa afirmativa pode justificar a aparente incoerência no resultado de ITU verificado na presente pesquisa. Na composição da equação desse índice são considerados apenas os valores das variáveis, temperatura do ar (T_a) e temperatura de ponto de orvalho (T_{po}), desconsiderando a radiação solar, intensas na região intertropical.

Na pesquisa de Silva (2008) observa-se que, numa análise geral, o ITU foi menor sob a copa das árvores (75,9) do que ao sol (77,6), porém verificou-se uma nítida diferença entre os valores registrados na estação das águas ou verão (78,9) e na estação seca ou inverno (74,6). Nesse trabalho não foram apresentados resultados para as condições de sol e de sombra em cada estação observada. Nos horários mais quentes do dia, no verão, Martins (2001) obteve a maior média de ITU à sombra da espécie sapateiro, valores intermediários na condição céu aberto, que não diferiram da espécie pau-pereira e as menores médias, à sombra das demais espécies. Nessa mesma pesquisa os maiores valores de ITU também foram registrados no verão, corroborando Silva (2008), variando de 82,72 (maior valor, à sombra da espécie sapateiro, às 14 h) a 77,40 (menor valor, à sombra da espécie copaíba, às 12 h).

Segundo Pires et al. (2003) a Embrapa Gado de Leite, em parceria com o Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa desenvolveu e adaptou metodologia para realização do zoneamento bioclimático para a Região Sudeste do Brasil utilizando o índice de temperatura e umidade (ITU). Para isso, esse índice foi classificado segundo Du Preez et al. (1990), de acordo com as diferentes classes de ITU: menor ou igual a 70 = normal; de 70 a 72 = alerta; 72 a 78 = alerta e acima do índice crítico para a produção de leite (perda na produção); 78 a 82 = perigo; acima de 82 = emergência. Valtorta e Gallardo (1996), citados por Pires et al. (2003) comentam que o valor do ITU considerado limite, entre situações de conforto e estresse, varia segundo os autores, mas existe unanimidade em considerar que um ambiente com ITU acima de 72 é estressante para vacas de alta produção.

Nesta pesquisa, os valores médios de ITU obtidos a partir de 9h30 são superiores aos valores recomendados pela literatura. Dessa forma, pode-se verificar na Figura 16 que, para o ITU, nenhuma das espécies estudadas conseguiu reduzir o efeito do estresse térmico ou as condições de conforto para vacas leiteiras, por exemplo.

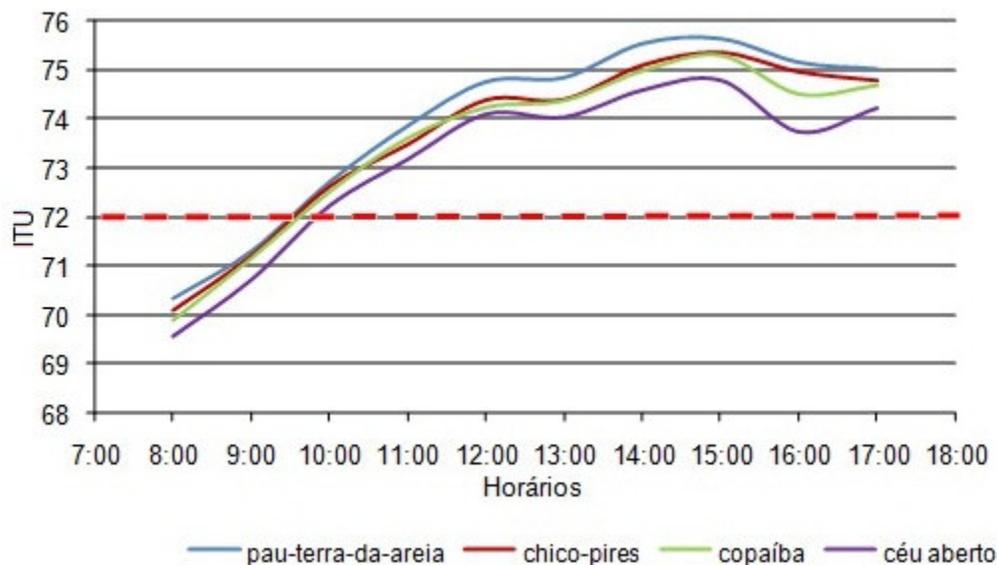


Figura 16. Valores médios do ITU à sombra de cada espécie e a céu aberto nos horários do período estudado.

5.1.6. Efeito do sombreamento das diferentes espécies no índice de globo e umidade (ITGU)

Para o índice de globo e umidade (ITGU), por meio da análise da variância, verifica-se que houve diferença estatística entre as árvores estudadas dentro da mesma espécie, entre as espécies e ao longo do dia, como pode ser visto na Tabela 14.

Na comparação entre as médias, feitas pelo teste de Tukey a 5% para o ITGU (Tabela 15), os resultados apresentaram-se semelhantes aos observados na comparação das médias da Tg. O melhor resultado foi o da espécie copaíba, com o menor valor apresentado. As espécies pau-terra-da-areia e chico-pires, apresentaram resultados intermediários e estatisticamente iguais e, os piores resultados, com os valores mais altos foram apresentados pela testemunha a céu aberto.

Tabela 14. Análise da variância para o índice de globo e umidade (ITGU).

CV	GL	SQ	QM	F	Pr > F
Espécie	3	20974,46	6991,48	716,43	< 0,0001
Árvore	8	2300,19	287,52	29,46	< 0,0001
Equipamento	1	655,26	655,26	67,15	< 0,0001
Hora	36	7905,41	219,59	22,50	< 0,0001
Resíduo	2973				
Total	3021				

CV=4,94%

Tabela 15. Médias do ITGU pelo teste de Tukey a 5 %.

Espécie	Média
céu aberto	83,11 a
pau-terra-da-areia	78,72 b
chico-pires	79,12 b
copaíba	75,79 c

As médias seguidas de letras iguais não apresentaram diferenças estatísticas pelo teste de Tukey.

Essa semelhança observada pode ser o resultado da utilização das medidas de Tg na equação do ITGU (ou BGHI), índice desenvolvido por Buffington et al. (1981). Por considerarem a radiação térmica um importante fator ambiental para animais em campo aberto, esses autores propuseram uma modificação do ITU, substituindo em uma de suas equações (a que foi usada neste trabalho) a temperatura do ar (Ta) pela temperatura de globo negro (Tg). De acordo com os autores, esse índice é um indicador mais acurado do que o ITU do conforto de vacas expostas à ambientes tropicais, com temperaturas elevadas e radiação intensa. Isso pode ser verificado observando-se que as maiores diferenças entre ITGU a céu aberto e à sombra ocorrem a partir das 10 horas, quando a radiação solar torna-se mais

intensa. Na pesquisa de Martins (2001), essa diferença pode ser observada com mais nitidez no final da tarde, a partir das 16 horas, quando a diferença começa a diminuir, também em função da diminuição da intensidade da radiação solar. Nesse caso, é provável que a situação geográfica e os dias dos meses tenham contribuído para essa peculiaridade.

Silva (2008), assim como Martins (2001), registrou os maiores valores de ITGU no verão. As mais altas médias de valores registrados por Silva (2008) foram 85,8 na estação das águas (verão), sendo 85,9 às 12 horas contra 81,9 às 9 horas. Nesse mesmo trabalho, a diferença entre valores registrados ao sol e sob a copa das árvores foi bastante significativa (4,7), sendo esses valores 85,0 e 80,3 respectivamente.

Na presente pesquisa, a diferença de ITGU entre a testemunha a céu aberto e a espécie que obteve o pior desempenho, pau-terra-da-areia (que não diferiu estatisticamente da espécie chico-pires) foi de 4,39, enquanto que entre a testemunha e a espécie de melhor desempenho, a copaíba, a diferença foi de 7,32. Essa diferença promovida pela copaíba é maior do que a das espécies estudadas por Martins (2001), quando usou o mesmo índice de conforto térmico. Na pesquisa desse autor a maior diferença observada entre as médias foi de 6,5, entre a espécie angico (que não diferiu estatisticamente das espécies copaíba e pau-pereira) e a condição céu aberto.

Para o índice de globo e umidade (ITGU), o comportamento das espécies estudadas em comparação à condição céu aberto apresenta-se de forma evidenciada na Figura 17. Também sobre essa variável verifica-se a superioridade da espécie copaíba sobre as demais espécies para promover o conforto do ambiente estudado.

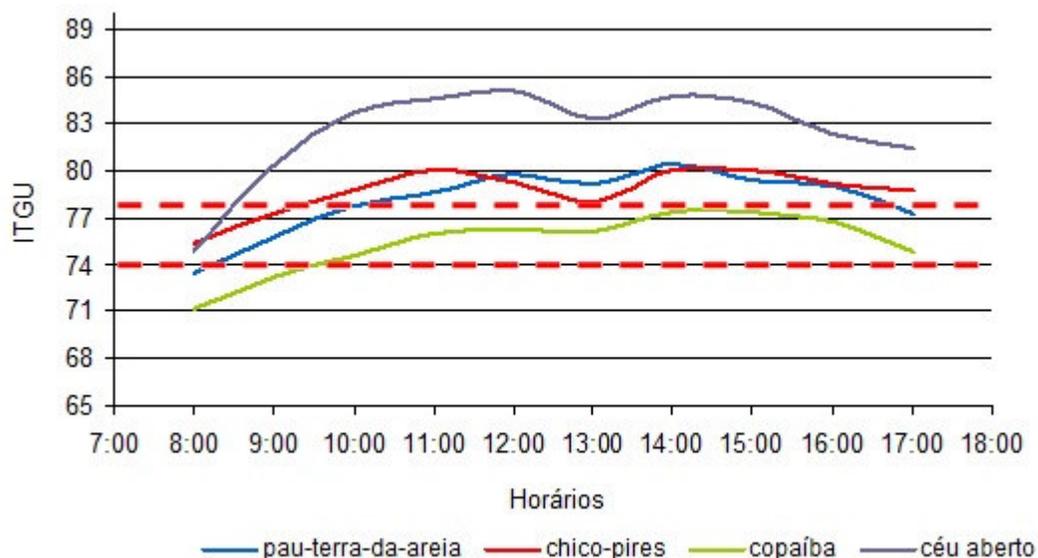


Figura 17. Valores médios do ITGU à sombra de cada espécie e a céu aberto nos horários do período estudado.

Apesar das reduções no ITGU promovidos pelas espécies arbóreas estudadas no presente trabalho terem sido altas, no período entre 10 e 17 horas, as espécies chico-pires e pau-terra-da-areia estiveram além da faixa (74-78) estabelecida por Baêta (1985) como “valor de alerta”, acima do qual as vacas da raça holandesa estariam com problemas relacionados ao estresse calórico, segundo Silva (2008).

5.1.7. Efeito do sombreamento das diferentes espécies na carga térmica radiante (CTR)

Silva (2000) define a carga térmica radiante (CTR) como a quantidade total de energia térmica trocada por um indivíduo através de radiação com o meio ambiente. Segundo esse autor, as trocas térmicas por radiação entre animais e o seu meio ambiente são de fundamental importância em climas tropicais.

Para a determinação da CTR são considerados valores de temperatura do ar (T_a), velocidade do vento (VV) e temperatura de globo negro (T_g).

Por meio da análise da variância, verifica-se que houve diferença estatística entre as árvores estudadas dentro da mesma espécie, entre as espécies e ao longo do dia, como pode ser visto na Tabela 16.

Tabela 16. Análise da variância para a carga térmica radiante (CTR).

CV	GL	SQ	QM	F	Pr > F
Espécie	3	13390614,94	4463538,31	1279,33	< 0,0001
Árvore	8	1192029,20	149003,65	42,71	< 0,0001
Equipamento	1	308884,11	308884,11	88,53	< 0,0001
Hora	36	1820641,40	50573,37	14,50	< 0,0001
Resíduo	3198				
Total	3246				
CV=10,29%					

Os resultados da comparação entre as médias, feitas pelo teste de Tukey a 5%, podem ser observados na Tabela 17.

Tabela 17. Médias da CTR pelo teste de Tukey a 5 %.

Espécie	Média
céu aberto	694,21 a
pau-terra-da-areia	566,76 b
chico-pires	544,43 c
copaíba	502,53 d

As médias seguidas de letras iguais não apresentaram diferenças estatísticas pelo teste de Tukey

Como era de se esperar, a maior média de valor de CTR foi observado a céu aberto diferindo significativamente dos valores encontrados à sombra de qualquer uma das três espécies estudadas e, as médias de valor à sombra, também diferem de uma espécie

para a outra. A espécie copaíba apresentou o melhor desempenho, $502,53 \text{ W.m}^{-2}$ (28,6% de atenuação, em relação ao céu aberto) seguida da espécie chico-pires $544,43 \text{ W.m}^{-2}$ (21,5% de atenuação, em relação ao céu aberto) e pau-terra-da-areia, $566,76 \text{ W.m}^{-2}$ (18,3% de atenuação, em relação ao céu aberto), esta última com o pior resultado, ou seja, o valor mais alto e, conseqüentemente, a menor atenuação.

Entre os valores, a diferença observada entre a espécie de melhor desempenho (copaíba) e a de desempenho intermediário (chico-pires) foi mais acentuada do que a observada entre essa mesma espécie (chico-pires) e a de pior desempenho (pau-terra-da-areia). Resultado semelhante também foi observado entre as espécies na Tg, onde a copaíba se destacou das demais, enquanto que as outras duas (chico-pires e pau-terra-da-areia) apresentaram diferença de valores muito pequena, não diferindo estatisticamente entre si.

Vale lembrar que a Tg é uma das variáveis que compõem a CTR e que segundo Baccari (2001), quando se utiliza o globo negro, a diferença de leituras entre ambientes de contraste, pode ser acentuada. Dessa forma, infere-se que a densidade das copas das espécies em questão pode ter contribuído significativamente para esse resultado, já que a densidade da copa pode proporcionar um ambiente de maior ou menor contraste com o ambiente a céu aberto e, interferir nos valores da CTR.

Silva (2008) discute que em sua pesquisa a CTR foi afetada significativamente pelo local de amostragem. Sob a copa das árvores, esse autor obteve o menor valor de CTR ($532,9 \text{ W.m}^{-2}$), quando comparado com os valores observados na entre-linha (linha entre as árvores plantadas no local do experimento) e a pleno sol.

O comportamento das três espécies arbóreas aqui estudadas assim como a condição a céu aberto, em relação à carga térmica radiante (CTR), podem ser observados na Figura 18.

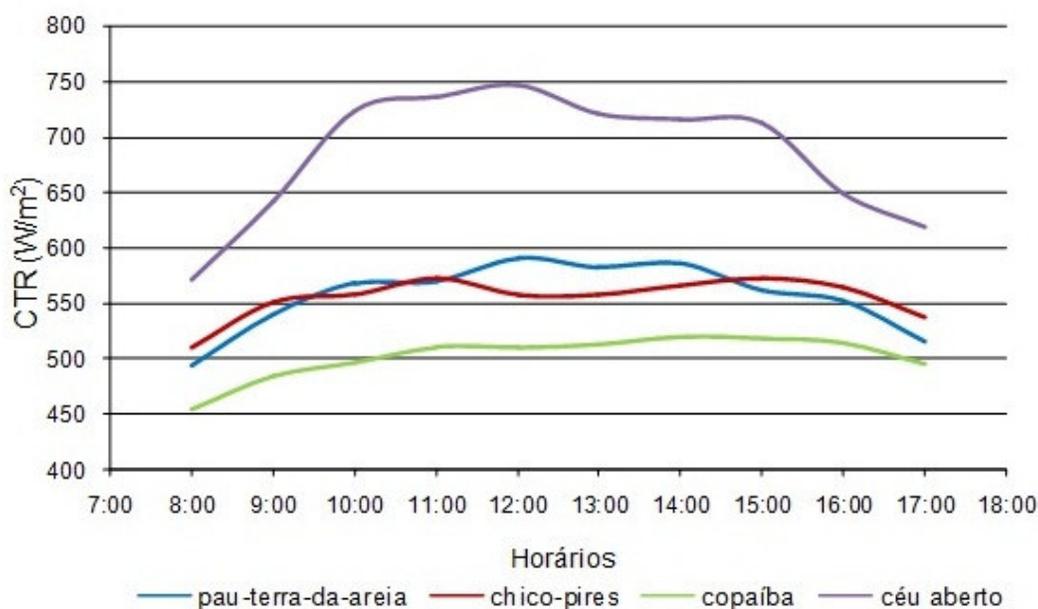


Figura 18. Valores médios da CTR ($W.m^{-2}$) à sombra de cada espécie e a céu aberto nos horários do período estudado.

Nas pesquisas de Martins (2001) e Waldige (1994), as árvores de copa mais densa também tiveram a CTR mais atenuada, na pesquisa de Martins (2001), a espécie sapateiro, com folhas simples e grandes (nos horários mais quentes no verão) e, na de Waldige (1994), a mangueira de copa ampla, baixa e densa. Bueno (1998) que avaliou a capacidade de atenuação de radiação de 5 espécies arbóreas utilizando solarímetros e radiômetro, também observou uma relação entre os gráficos dos resultados de radiação solar e temperatura de globo, porém, nessa pesquisa, a espécie sibipiruna (*Caesalpinia peltophoroides*) que apresentou a maior atenuação de radiação solar não era a de copa mais densa, comparada às demais, jatobá (*Hymenaea courbaril*), ipê-roxo (*Tabebuia impetiginosa*), magnólia (*Michelia champaca*) e chuva-de-ouro (*Cassia fistula*). É interessante notar que esses resultados não foram observados na mesma época do ano em que se analisou as espécies do presente trabalho.

Bueno-Bartholomei (2003) e Abreu (2008), também avaliaram a capacidade de atenuação de radiação solar de espécies arbóreas utilizando solarímetros em Campinas, SP, mesma região em que foi feita a pesquisa de Bueno (1998), e os melhores desempenhos nas duas pesquisas foram os das espécies que possuíam copa mais densa, em

comparação com as demais espécies observadas. Nas pesquisas de Silva (2008) e Martins (2001) foram observadas diferenças significativas entre os valores de CTR obtidos em diferentes estações do ano.

Abreu (2008) relaciona a atenuação de radiação solar à área foliar medida nas espécies analisadas e os resultados mostraram que entre elas, as duas espécies de melhor desempenho na atenuação da radiação (medida com solarímetro), o jambolão (*Syzygium cumini* L.) com 89,1%, seguido pela mangueira (*Mangifera indica* L.) 88,6% de atenuação, também apresentaram os maiores índices de área foliar, porém não na mesma ordem: a mangueira (*Mangifera indica* L.), com 95,09%, seguido pelo jambolão (*Syzygium cumini* L.), com 92,11%. Na mesma pesquisa, a espécie de pior desempenho na atenuação da radiação (63,8%), o jacarandá (*Jacaranda mimosifolia* D. Don), também apresentou o menor índice de área foliar (58,51%), entre as espécies analisadas, quando estavam com folhas.

No presente estudo, a vantagem obtida pela copaíba sobre as demais espécies na CTR, durante o período observado, pode estar relacionada a um conjunto de características morfológicas, não necessariamente ao tamanho e formato de suas folhas. Os três exemplares dessa espécie possuíam copa densa e regular, ligeiramente globosa, formada por galhos bem próximos e providos de muitas folhas (compostas, pinadas e com folíolos médios); os exemplares da chico-pires eram mais altos que os da copaíba, porém possuíam copa menos densa, com formato de cone invertido, galhos longos e folhas mais miúdas (bipinadas, com folíolos bem pequenos); e, dois dos três exemplares da espécie pau-terra-da-areia, possuíam copa muito irregular e rala, com folhas (simples) maiores que as das demais espécies e com grandes distâncias entre seus galhos, formando alguns “buracos” que facilitavam a penetração do sol.

5.2. Análise dos dados baseados no dia crítico

Para a avaliação da eficiência térmica do sombreamento natural fornecido pelas espécies arbóreas estudadas, optou-se também pela seleção do dia crítico do período. De acordo com Silva, et al (1991), considera-se como o dia crítico de verão, aquele dia com maior quantidade de calor existente no ar. Dessa forma considera-se o valor médio da

entalpia diária como parâmetro para essa seleção. Ou seja, sendo a entalpia uma propriedade psicrométrica do ar que fornece a quantidade de calor existente em uma determinada massa de ar seco (kcal/kg de ar seco), calculou-se com os valores da temperatura do ar, e da umidade relativa, a entalpia média de cada dia estudado. Conforme pode ser verificado na Figura 19, o dia de maior desconforto térmico para o período avaliado foi o dia 04 de janeiro e o dia de maior conforto foi o dia 17 de março.



Figura 19. Seleção dos dias críticos, baseando-se nos valores médios da entalpia durante os dias do período de estudo.

Ao se avaliar os resultados das respostas físicas do ambiente para o dia de maior desconforto, ou seja, maior entalpia verificou-se que os resultados foram similares aos da análise estatística.

Como pode ser observado na Figura 20, para a variável temperatura do ar (T_a) no dia de maior desconforto, quase não houve diferença entre as espécies e tão pouco entre as espécies e a testemunha a céu aberto. Essa tendência, que se manteve durante todo o dia, é semelhante ao resultado apresentado na análise dos dados coletados no período analisado, onde as espécies chico-pires e copaíba, não diferiram estatisticamente entre si e apresentaram médias de valores ligeiramente menores do que as da espécie pau-terra-da-areia.

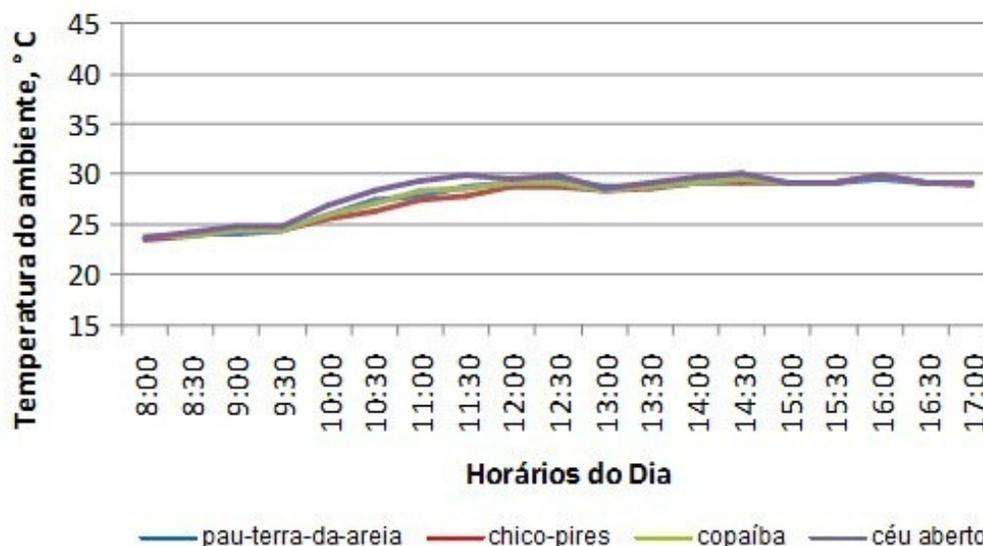


Figura 20. Variação da temperatura do ar (T_a) à sombra das espécies pau-terra-da-areia, chico-pires, copaíba e a céu aberto, no dia 04/01/2010, considerado dia crítico do período.

Observa-se que para a variável umidade relativa do ar (UR) apresentada na Figura 21, o resultado da análise do dia crítico é bem semelhante ao resultado da análise de todo o período estudado.

Como era de se esperar, todas as espécies apresentaram valores de umidade maiores do que os registrados a céu aberto, e praticamente nas mesmas proporções. A sutil diferença observada no desempenho da espécie chico-pires, pouco acima dos valores apresentados pelas demais, também foi observado na análise estatística das médias de todo o período. As espécies pau-terra-da-areia e copaíba estatisticamente não diferiram entre si na análise do período, que coincide com o resultado apresentado no dia crítico, porém, a espécie pau-terra-da-areia apresentou valor médio discretamente maior. Essa pequena diferença também pode ser observada no dia de pior conforto.

Mais uma vez, é evidente o efeito da arborização na alteração do microclima gerado pelo sombreamento, devido à evapotranspiração das árvores e conseqüentemente aumento da umidade relativa.



Figura 21. Variação da umidade relativa do ar (UR) à sombra das espécies pau-terra-da-areia, chico-pires, copaíba e a céu aberto, no dia 04/01/2010, considerado dia crítico do período.

Para a variável T_g , observa-se na Figura 22, que a espécie copaíba foi a que apresentou o melhor desempenho no dia crítico, coincidindo com o resultado apresentado pela análise estatística dos valores médios de todo o período.

Quanto às espécies pau-terra-da-areia e chico-pires, que estatisticamente não diferiram entre si no referido período, neste dia de pior conforto apresentaram resultados distintos, porém, continuaram mostrando-se piores quando comparados aos da copaíba.

É interessante observar que no dia 04 de janeiro a espécie pau-terra-da-areia se destacou das demais com o pior desempenho, diferindo do resultado da análise estatística, com as médias gerais. Ficou bastante visível na Figura 22 que nos horários mais quentes do dia, os efeitos da radiação solar expressos pela T_g , foram evidenciados na condição a céu aberto e à sombra fornecida pela espécie pau-terra-da-areia.

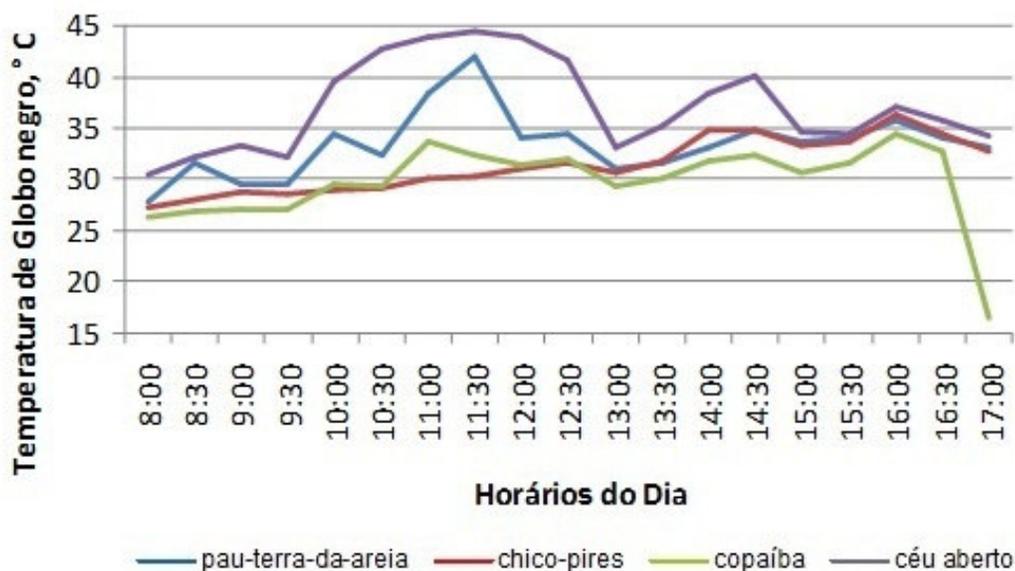


Figura 22. Variação da temperatura de globo (Tg) à sombra das espécies pau-terra-da-areia, chico-pires, copaíba e a céu aberto, no dia 04/01/2010, considerado dia crítico do período.

Para a entalpia, pode-se verificar na Figura 23, que os valores apresentados no dia de maior desconforto foram bem mais elevados à sombra das espécies do que a céu aberto, como no resultado obtido para essa mesma variável, na análise dos dados médios de todo o período.

Uma observação interessante e evidente é que à sombra das árvores há maior quantidade de calor que numa condição a céu aberto. Essa explicação refere-se ao fato de que sob a copa, apesar de termos a interceptação da radiação solar, em razão da diferença de temperatura entre as condições sol e sombra, existe maior troca de calor latente e sensível, relacionando temperatura e umidade relativa na quantidade de calor.

A espécie copaíba quase não se distinguiu da espécie chico-pires, notando-se uma pequena desvantagem para a espécie pau-terra-da-areia quando comparada às outras duas. Esses dados, na verdade, são pontuais para o dia crítico, em uma situação de bastante desconforto. Essa observação não coincide exatamente com o resultado da análise estatística para todo o período, onde as espécies chico-pires e pau-terra-da-areia não diferiram entre si e a copaíba se destacou com o menor valor, o que significa melhor resultado.

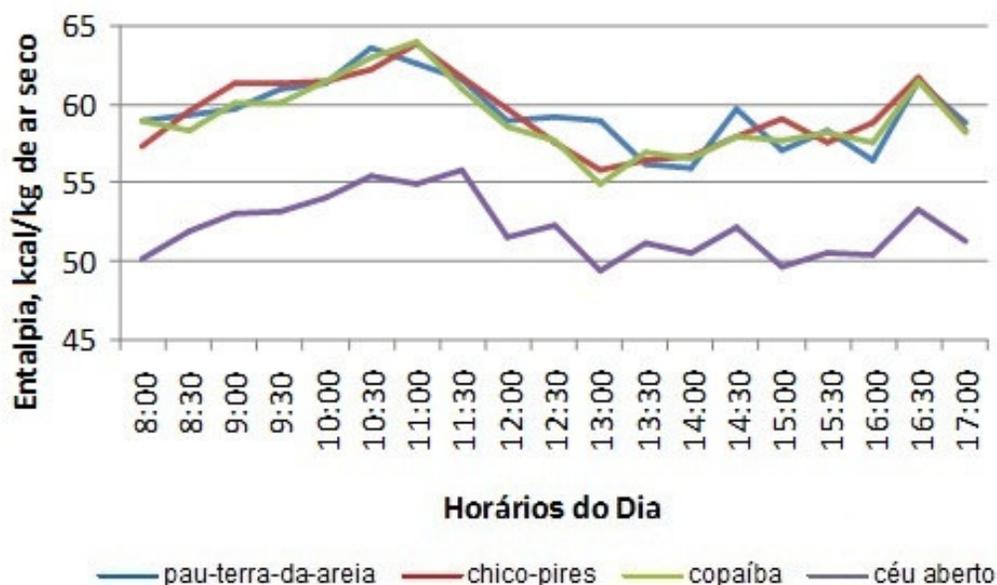


Figura 23. Variação da entalpia (H) à sombra das espécies pau-terra-da-areia, chico-pires, copaíba e a céu aberto, no dia 04/01/2010, considerado dia crítico do período.

Na Figura 24 verifica-se que a tendência das curvas de ITU a céu aberto e à sombra das três espécies no dia crítico é bem semelhante à observada na análise das médias do conjunto de dados do período estudado, porém, aqui apresentaram valores acima de 72 já nos primeiros horários do dia, entre 8h e 8h30min, e antes das 11h já chegaram a 76.

Percebe-se que todas as espécies apresentaram valores maiores do que a céu aberto, a espécie pau-terra-da-areia com o pior desempenho enquanto que as demais, chico-pires e copaíba permaneceram muito próximas, com uma leve vantagem para a espécie chico-pires. Estatisticamente essas duas espécies não diferiram entre si, embora o valor médio de ITU apresentado pela chico-pires tenha sido maior que o da copaíba e o pior resultado foi o da pau-terra-da-areia, coincidindo com o observado neste dia.

O sombreamento natural fornecido pelas espécies arbóreas estudadas não reduziram os valores de ITU. Essas observações sugerem que se questione sobre a utilização deste índice de conforto térmico para esta avaliação. Acredita-se que índices que consideram as variáveis psicrométricas do ar e a radiação solar sejam mais recomendáveis.

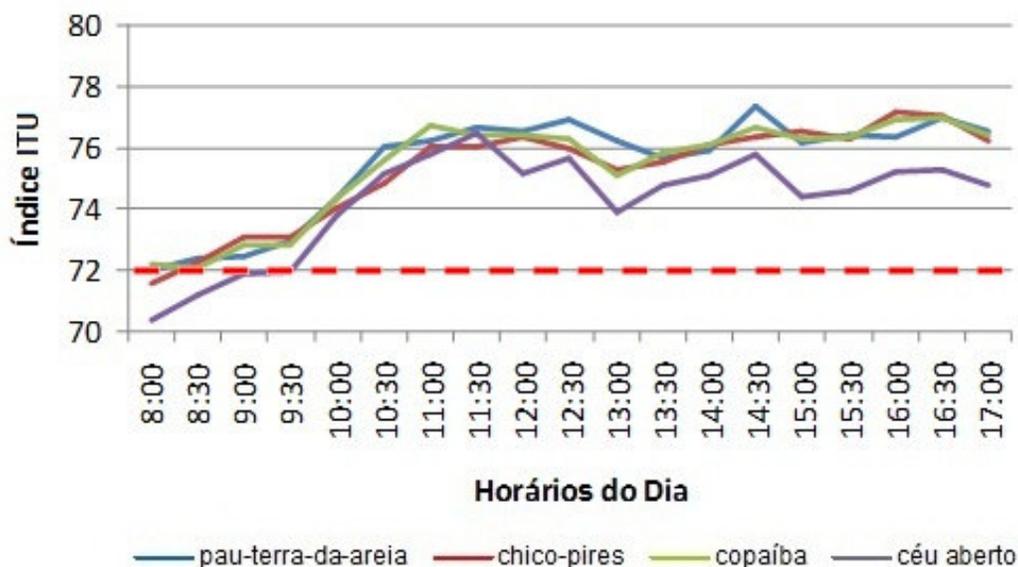


Figura 24. Variação do índice de temperatura e umidade (ITU) à sombra das espécies pau-terra-da-areia, chico-pires, copaíba e a céu aberto, no dia 04/01/2010, considerado dia crítico do período.

A análise do ITGU para o dia crítico não segue a mesma tendência dos resultados apresentados para o mesmo índice na análise geral do período, como pode ser observado na Figura 25, porém, são extremamente semelhantes às tendências dos dados de Tg.

Para o ITGU, o melhor desempenho foi o da espécie copaíba e o pior da pau-terra-da-areia, ficando a chico-pires numa posição intermediária. Este resultado não condiz com o da análise estatística, pois, embora confirme a superioridade da copaíba para este índice, quando avaliadas estatisticamente as demais espécies não diferiram entre si e o maior (e pior) valor foi apresentado pela chico-pires.

Pode-se notar que as sombras das espécies reduziram significativamente os valores de ITGU, porém, neste dia de pior conforto estiveram sempre acima dos valores recomendados, ou seja, de 74 a 78.

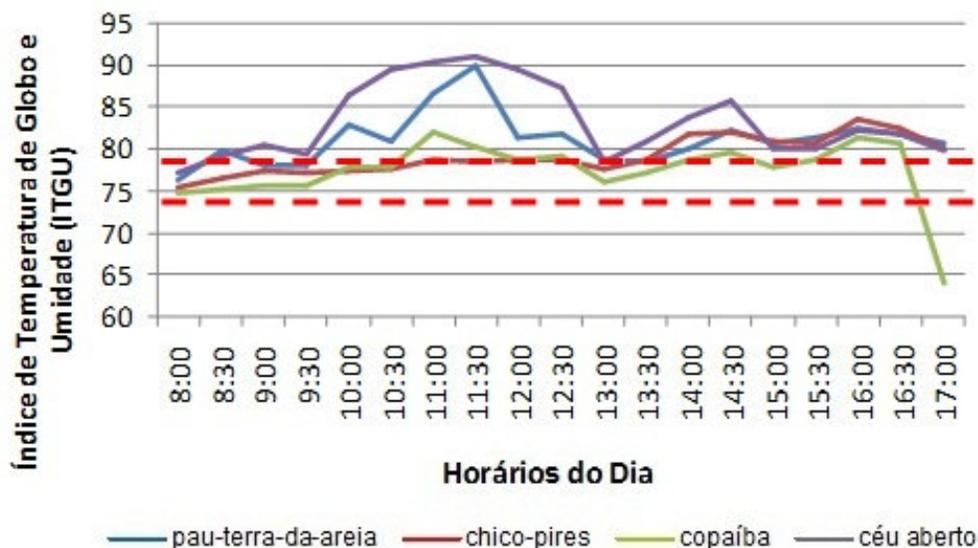


Figura 25. Variação do índice de globo e umidade (ITGU) à sombra das espécies pau-terra-da-areia, chico-pires, copaíba e a céu aberto, no dia 04/01/2010, considerado dia crítico do período.

Observa-se na Figura 26 que as três espécies foram capazes de reduzir consideravelmente a CTR e a espécie que apresentou o melhor resultado foi novamente a copaíba.



Figura 26. Variação da carga térmica radiante (CTR) à sombra das espécies pau-terra-da-areia, chico-pires, copaíba e a céu aberto, no dia 04/01/2010, considerado dia crítico do período.

O pior resultado foi o da pau-terra-da-areia, enquanto que a chico-pires ficou numa posição intermediária, coincidindo com o resultado da CTR apresentado na análise estatística com os dados gerais do período analisado.

Este índice de conforto reflete o que realmente acontece a campo, pois considera a velocidade do vento, a temperatura média radiante, a temperatura de globo negro (radiação solar) e a temperatura do ar circundante. E também pode ser verificado, ainda na Figura 26, que o uso do sombreamento natural com árvores reduziu significativamente a CTR.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados desta pesquisa evidenciam a significativa contribuição do sombreamento promovido por árvores para o conforto do animal no pasto. Porém, sugere-se que novas investigações sejam feitas, para se avaliar a eficiência térmica de mais espécies, nativas e exóticas, em várias épocas do ano, em condições diversas, em outras regiões do país, especialmente naquelas mais quentes. É interessante também que se encontre uma forma simples de tornar esses resultados (características térmicas das árvores) utilizáveis por produtores e técnicos, reunindo-os, por exemplo, em um guia prático.

Para futuros trabalhos convém lembrar que:

- a eficiência térmica do sombreamento também varia entre exemplares de uma mesma espécie, daí a importância de se utilizar vários exemplares nesse tipo de avaliação;
- as características morfológicas e a fenologia das espécies, além das condições ambientais locais são fatores que interferem nos resultados obtidos;
- a entalpia e o índice de temperatura e umidade talvez não sejam adequados para este tipo de avaliação, onde um ambiente externo sombreado por árvores é comparado a um outro exposto ao sol direto, podendo apresentar resultados desconcertantes.

7. CONCLUSÕES

Baseando-se nas condições em que foi realizada esta pesquisa e nos resultados encontrados pode-se concluir que:

- houve diferenças nas variáveis bioclimáticas entre as espécies estudadas;
- entre elas, a sombra da copaíba foi a mais eficiente termicamente, considerando-se a CTR, ITGU, ITU, H e Tg.

De uma forma geral, o sombreamento natural fornecido pelas espécies arbóreas estudadas promoveu redução eficiente dos efeitos da radiação solar no ambiente:

- copaíba (28,6 %)
- chico-pires (21,5 %)
- pau-terra-da-areia (18,3 %).

8. REFERÊNCIAS

ABLAS, D. S. et al. Comportamento de bubalinos a pasto frente a disponibilidade de sombra a água para imersão. **Ciência Animal Brasileira**, Goiânia, v. 8, n. 2, p. 167-175, abr./jun. 2007.

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

AKBARI, H. Shade trees reduce building energy use and CO2 emissions from power plants. **Environmental Pollution**, Barking, v. 116, n. 1, p. 119-126, Mar. 2002.

AKBARI, H. Energy saving potentials and air quality benefits of urban heat island mitigation. **Lawrence Berkeley National Laboratory**, California, p. 1-19, 2005. Disponível em: <<http://www.escholarship.org/uc/item/4qs5f42s>>. Acesso em: 16 abr. 2010.

AKBARI, H. et al. Peak power and cooling energy savings of shade trees. **Energy and Building**, Lausanne, v. 25, p. 139-148, 1997.

AKBARI, H.; POMERANTZ, M.; TAHA, H. Cool surfaces and shade trees to reduce energy use and improve air quality in urban areas. **Solar Energy**, Great Britain, v. 70, n. 3, p. 295-310, 2001.

AKBARI, H.; TAHA, H. The impacts of the trees and white surfaces on residential heating and cooling energy use in four Canadian cities. **Energy**, Oxford, v. 17, p. 144-149, 1992.

ALVES, S. P.; RODRIGUES, E. H. V. Sombreamento arbóreo e orientação de instalações avícolas. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 24, n. 2, p. 241-245, maio/ago. 2004.

AYRES, M. C. R. **Influência do sombreamento natural de duas espécies arbóreas na temperatura de edificações**. 2004. 115 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura)-Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2004.

AYRES, M. C. R.; TARGA, L. A.; PEIXOTO, P. P. P. Influência do sombreamento natural da sibipiruna (*Caelsapinia peltophoroides*) na temperatura de edificações. **Revista Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 20, n. 1, p. 62-76, 2005.

BACCARI JÚNIOR, F. **Manejo ambiental da vaca leiteira em clima quente**. Londrina: Editora UEL, 2001. 142 p.

BAÊTA, F. C. **Responses of lactating dairy cows to the combined effects of temperature, humidity and wind velocity in the warm season**. 1985. 218 p. Thesis (PhD)-University Missouri, Missouri, 1985.

BARBOSA FILHO, J.A.D. et al. **Mudanças e uso das tabelas de entalpia**. 2007. Disponível em: <<http://www.nupea.esalq.usp.br>>. Acesso em: 12 mar. 2010.

BOCHACA, F. El verde en la estructura urbana de Mendoza. **ARQ**, Santiago, n. 60, 2005. Disponível em: <http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0717-69962005006000013&lng=es&nrm=iso>. Acesso em: 22 out. 2009.

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

BUENO-BARTHOLOMEI, C. L. **Influência da vegetação no conforto térmico urbano e no ambiente construído**. 2003. 189 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo/Saneamento e Ambiente)-Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.

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

CARVALHO, M. M. Efeito do sombreamento na produtividade e na qualidade da forragem em pastagens. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE BIOMETEOROLOGIA, 2., 1998, Goiânia. **Anais...** Goiânia: Universidade Católica de Goiás, 1998. p. 99-117.

- CONCEIÇÃO, M. N. **Avaliação da influência do sombreamento artificial no desenvolvimento de novilhas leiteiras em pastagens.** 2008. 137f. Tese (Doutorado em Agronomia/Física do Ambiente Agrícola)-Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2008.
- CUNHA, A. R.; MARTINS, D. Classificação climática para os municípios de Botucatu e São Manuel, SP. **Irriga**, Botucatu, v. 14, n. 1, p. 1-11, jan./mar. 2009.
- DONOVAN G. H.; BUTRY D. T. The value of shade: estimating the effect of urban trees on summertime electricity use. **Energy and Buildings**, Lausanne, v. 41, n. 6, p. 662-668, 2009.
- DU PREEZ, J. D. et al. Heat stress in dairy cattle and other livestock under Southern African conditions: II. identification of areas of potential heat stress during summer by means of observed true and predicted temperature-humidity index values. **Onderstepoort Journal Veterinary Research**, Pretoria, v. 57, p. 183-187, 1990.
- ESMAY, M.L. **Principles of animal environment.** Westport: AVI, 1979. 325 p.
- 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: SBEA, 1996. Paper n. 395-396.
- GLASER, F. D. **Aspectos comportamentais de bovinos das raças Angus, Caracu e Nelore a pasto frente à disponibilidade de recursos de sombra e água para imersão.** 2008. 117 f. Tese (Doutorado em Zootecnia)-Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2008.
- GOMES, M. A. S.; SOARES, B. R. A vegetação nos centros urbanos: considerações sobre os espaços verdes em cidades médias brasileiras. **Estudos Geográficos**, Rio Claro, n. 1, v. 1, p. 19-29, jun., 2003. Disponível em: <<http://www.rc.unesp.br/igce/grad/geografia/revista.htm>>. Acesso em: 2 nov. 2008.
- GÓMEZ-MUÑOZ, V. M.; PORTA-GÁNDARA, M. A.; FERNÁNDEZ, J. L. Effect of tree shades in urban planning in hot-arid climatic regions. **Landscape and Urban Planning**, Amsterdam, v. 94, p. 149-157, 2010.
- GOUVEA, M. L. **Cenários de impacto das propriedades da superfície sobre o conforto térmico humano na cidade de São Paulo.** 2007. 87 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Atmosféricas)-Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.
- GUISELINI, C.; SILVA, I. J. O.; PIEDADE, S. M. Avaliação da qualidade do sombreamento arbóreo no meio rural. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 3, n. 3, p. 380-384, 1999.

JENSEN, M. E.; BURMAN, R. D.; ALLEN, R. G.; Evapotranspiration and Irrigation water requirements. **ASCE- Manuals and Reports on Engineering Practice**, New York, n. 79, p. 332, 1991.

KELLY, C. F.; ITTNER, N. R. Thermal design of livestock shades. **Agricultural Engineering**, St. Joseph, v. 39, p. 6001-6006, 1950.

LEME, T. M. S. P. et al. Comportamento de vacas mestiças holandesês x zebu, em pastagem de *Brachiaria decumbens* em sistema silvipastoril. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 29, n. 3, p. 668-675, maio/jun. 2005.

LOBODA, C. R.; DE ANGELIS, B. L. D. Áreas verdes públicas urbanas: conceitos, usos e funções. **Ambiência**, Guarapuava, v. 1, n. 1, p. 125-139, jan./jun. 2005.

LOMBARDO, M. A. Mudanças climáticas nas áreas urbanas e qualidade de vida. In: SEMINÁRIO IMPACTOS DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NAS METRÓPOLES, 2007, São Paulo. **Anais...** São Paulo: Secretaria do Meio Ambiente – SMA, Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental – CETESB, 2007. Disponível em: <http://www.ambiente.sp.gov.br/proclima/cursos_seminarios/impactos_metropoles/downloads/magda.pdf>. Acesso em: 3 maio 2009.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras**: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil. 3. ed. Nova Odessa: Editora Plantarum, 2000. v. 1, 352 p.

LOUREIRO, K. C. G. **Análise de desempenho térmico e consumo de energia de residências na cidade de Manaus**. 2003. 139 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)-Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

LOUREIRO, K.; CARLO, J.; LAMBERTS, R. Estudos de estratégias bioclimáticas para a cidade de Manaus. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 9., 2002, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu: ANTAC, 2002. p. 153-162. Disponível em: <http://www.labee.ufsc.br/arquivos/publicacoes/ENTAC2002_loureiro.pdf>. Acesso em: 15 ago. 2009.

MAGALHÃES, M. R. **A arquitetura paisagista**. Lisboa: Editorial Estampa, 2001. 525 p.

MALAVASI, U. C.; MALAVASI, M. M. Avaliação da arborização urbana pelos residentes – estudo de caso em Mal. Cândido Rondon, Paraná. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 11, n. 1, p. 189-193, 2001.

MARTINS, J. L. **Avaliação da qualidade térmica do sombreamento natural de algumas espécies arbóreas, em condição de pastagem**. 2001. 99 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola/Água e Solos)-Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2001.

MASCARÓ, J. L.; MASCARÓ, L. R. **Vegetação urbana**. 2. ed. Porto Alegre: Mais Quatro, 2005. 204 p.

MASCARÓ, L. R. **Ambiência urbana**. Porto Alegre: Sagra; D.C. Luzzatto, 1996. 199 p.

McPHERSON, E. et al. **Benefit-cost analysis of Fort Collins' municipal forest**. Davis: USDA Forest Service, Center for Urban Forest Research, Pacific Southwest Research Station, 2003. 39 p.

McPHERSON, E. et al. Municipal forest benefits and cost in five US cities. **Journal of Forestry**, Washington, p.411-416, Dec. 2005. Disponível em: <http://www.fs.fed.us/ccrc/topics/urban-forests/docs/jof_Dec_2005.pdf>. Acesso em: 16 abr. 2010.

McPHERSON, E.; SIMPSON, J. A comparison of municipal forest benefits and costs in Modesto and Santa Monica, California, USA. **Urban Forestry & Urban Greening**, Maryland Heights, v. 1, p. 61-74, 2002.

McPHERSON, E.; SIMPSON, J. A potential energy savings in buildings by urban tree planning programme in California. **Urban Forestry & Urban Greening**, Maryland Heights, v. 2, n. 2, p. 73-86, 2003.

MOTA, F. S. **Climatologia zootécnica**. Pelotas: Edição do Autor, 2001. 104 p.

NASCIMENTO D. T. F.; BARROS J. R. Identificação de ilhas de calor por meio de sensoriamento remoto: estudo de caso no município de Goiânia-GO/2001. **Boletim Goiano de Geografia**, Goiânia, v. 29, n. 1, p. 119-134, jan./jun. 2009.

NAVARINI, F. C. et al. Conforto térmico de bovinos da raça Nelore a pasto sob diferentes condições de sombreamento e a pleno sol. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 29, n. 4, p. 508-517, out./dez. 2009.

OLIVEIRA, T. K.; OLIVEIRA, T. C.; LUZ; S. A. **Arborização de pastagens**: tecnologia para assegurar o bem-estar animal e a sustentabilidade das pastagens. Rio Branco: EMBRAPA Acre, 2008. Disponível em: <http://www.cpfac.embrapa.br/prodleite/pdf/arborizacao_Tadario.pdf>. Acesso em: 23 out. 2009.

PAULA, R. Z. R. de. **A influência da vegetação no conforto térmico do ambiente construído**. 2004. 119 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo/Edificações)-Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2004.

PIRES, M. de A. et al. **Zoneamento bioclimatológico para a pecuária leiteira**. Juiz de Fora: EMBRAPA Gado de Leite, 2003. Disponível em:

<<http://www.cnp.gl.embrapa.br/nova/aunidade/artigos/ambiencia09.pdf>>. Acesso em: 9 jul. 2010.

PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO. **Projeto do Milênio Nações Unidas**. Nova York, 2005. Disponível em: <<http://www.pnud.org.br/milenio/index.php>>. Acesso em: 11 dez. 2009.

RUAS, A. C. **Avaliação de conforto térmico**: contribuição à aplicação prática das normas internacionais. 1999. 79f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil/Saneamento)-Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1999.

SANT'ANNA NETO, J. L.; AMORIM, M. C. C. T. **Clima urbano e segregação sócio-espacial em cidades tropicais de porte médio**. 2009. Disponível em: <http://egal2009.easyplanners.info/area07/7376_Sant_Anna_Neto_Joao_Lima.pdf>. Acesso em: 7 mar 2010.

SCHUCH, M. I. S. **Arborização urbana**: uma contribuição à qualidade de vida com uso de geotecnologias. 2006. 102f. Dissertação (Mestrado em Geomática/Tecnologia da Geoinformação)-Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2006.

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

SILVA, I. J. O.; GHELFI FILHO, H.; CONCIGLIERO, F. R. Influência dos materiais de cobertura no conforto térmico de abrigos. **Engenharia Rural**, Piracicaba, v. 1, n. 2., p. 53-66, jan. 1991.

SILVA, I. J. O.; SILVA, K. O.; NÄÄS, I. A. Arborização: uma metodologia para avaliação da qualidade de sombras por meio dos índices de conforto térmico. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE BIOMETEOROLOGIA, 2., 1998, Goiânia. **Anais...** Goiânia: Universidade Católica de Goiás, 1998. p.277-283.

SILVA, I. J. O.; SILVA, K. O.; NÄÄS, I. A. Caracterização da sombra de árvores, através de índices de conforto térmico, para a região de Lavras, MG. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 24., 1995, Viçosa. **Resumos...** Viçosa: SBEA, 1995. p. 131.

SILVA, L. L. G. G. **Influência da arborização de pastagens no sistema solo-planta-animal**. 2008. 90 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Ciência do Solo)-Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2008.

SILVA, R. G. **Introdução à bioclimatologia animal**. São Paulo: Nobel, 2000. 286 p.

SILVA, R. G. Predição da configuração de sombras de árvores em pastagens para bovinos. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 26, n. 1, p. 268-281, jan./abr. 2006.

TEIXEIRA, E. V. **Determinação de variáveis bioclimáticas de projeto para o Estado do Rio de Janeiro**. 2005. 182 p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia)-Instituto de Zootecnia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2005.

THOM, E. C. Cooling degree: day air-conditioning, heating and ventilating. **Transaction of the American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers**, Atlanta, v. 55, n. 7, p. 65-72, 1958.

TINÔCO, I. F. F. Avicultura industrial: novos conceitos de materiais, concepções e técnicas construtivas disponíveis para galpões avícolas brasileiros. **Revista Brasileira de Ciência Avícola**, Campinas, SP, v. 3, n. 1, p. 1-26, jan./abr. 2001.

TITTO, C. G. **Comportamento de touros da raça Simental à pasto com recurso de sombra e tolerância ao calor**. 2006. 54 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia)-Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2007.

TSIROS, I. X. Assessment and energy implications of street air temperature cooling by shade trees in Athens (Greece) under extremely hot weather conditions. **Renewable Energy**, Oxford, v. 35, p. 1866-1869, 2010.

US ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Heat island effect**. Washington, DC: EPA, 2010. Disponível em: <<http://www.epa.gov/heatisland/index.htm>>. Acesso em: 12 jan. 2010.

VALTORTA, S.; GALLARDO, M. El estres por calor en produccion lechera. **Temas de Produccion Lechera**, Turrialba, n. 81, p. 85-112, out. 1996.

VELASCO, G. D. N. **Potencial da arborização viária na redução do consumo de energia elétrica: definição de três áreas na cidade de São Paulo-SP, aplicação de questionários, levantamento de fatores ambientais e estimativa de Graus-Hora de calor**. 2006. 123 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Fitotecnia)-Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.

WALDIGE, V. **Avaliação do sombreamento proporcionado por alguns tipos de árvores em pastagens**. 1994. 30f. Monografia (Graduação em Zootecnia)-Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 1994.

ZOA-MBOE, A. et al. Effects of bovine somatotropin on milk yield composition, dry matter intake, and some physiological functions of Holstein cows during heat stress. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 72, p. 907-916, 1989.