

EFEITOS DE DIFERENTES ESTRUTURAS DE VEGETAÇÃO CILIAR SOBRE AS VARIÁVEIS DE MICROCLIMA E A SENSÇÃO DE CONFORTO TÉRMICO¹

EFFECTS OF DIFFERENT RIPARIAN VEGETATION STRUCTURES ON MICROCLIMATIC VARIABLES AND SENSATION OF THERMAL COMFORT

Érica LÓIS²; Lucila Chebel LABAKI^{2, 3}; Rosely Ferreira SANTOS²

RESUMO – A vegetação natural junto aos corredores fluviais desempenha diversos papéis no controle e na qualidade ambiental de uma região, sendo uma de suas atribuições o estabelecimento de condições adequadas de controle climático. Sem dúvida, cada estrutura de vegetação ciliar deve apresentar um grau de eficiência para tal função. No entanto, quais são as diferenças de respostas entre diferentes tipos de estrutura? Com o propósito de contribuir para uma resposta, este estudo discute as variações microclimáticas a partir da avaliação das relações existentes entre cinco variáveis climáticas em três diferentes perfis fisionômicos de vegetação (vegetação arbórea densa, vegetação arbórea rarefeita e campo) contíguos ao Ribeirão Cachoeira (Campinas, SP, Brasil). Dados de radiação solar, temperatura do ar e de globo, umidade relativa e velocidade do vento, além da temperatura da água, foram obtidos para cada perfil estudado, durante três dias, nos horários de maior insolação (das 8h às 16h), a três diferentes distâncias do curso d'água ao longo dos perfis, no verão e no inverno. Como indicador do conforto térmico, foi calculada a Temperatura Fisiológica Equivalente – PET, para três horários, nas diferentes situações estudadas. Os resultados evidenciaram a importância da presença e tipo de estrutura da vegetação principalmente na atenuação da radiação solar e seu papel predominante no controle da temperatura e da umidade relativa do ar nas duas estações do ano. A atenuação da radiação solar atingiu 97% em estrutura florestal e 83% em capoeiras; a umidade relativa variou, no verão, de 85% a 100% na estrutura florestal, e entre 40% a 75% na estrutura campestre. Diferenças na temperatura ambiente de até 12,2 °C foram observadas entre a estrutura florestal e a estrutura campestre, no inverno. A amenização da temperatura da água em sistema florestado chegou a ser 3 °C em comparação à temperatura da água em sistema campestre. O índice PET indicou ambiente termicamente confortável em quase todos os horários para a estrutura florestal, ao passo que situações favorecedoras de estresse por calor foram observadas na estrutura campo com estrato herbáceo contínuo, em todos os horários no verão.

Palavras-chave: conforto térmico; corredor fluvial; mata ciliar; serviços ecossistêmicos.

ABSTRACT – Natural vegetation along river corridors plays an important role in the control and environmental quality of a region, since it establishes appropriate conditions for climate control. Undoubtedly, each structure of riparian vegetation should to a certain degree provide efficiency for such a role. However, what are the differences in responses between different types of structure? With the aim of contributing to a response, this study discusses the microclimatic variations based on the evaluation of the relationship between four climatic variables in three different vegetation physiognomy profiles, adjacent to Ribeirão Cachoeira (Campinas, Brazil). Data of solar radiation, air and globe temperature, relative humidity and wind speed, as well as water temperature were obtained for each profile studied for three days, in hours of higher solar radiation (from 8 am to 4 pm), at three different distances from the watercourse along the profiles, in summer and winter.

¹Trabalho realizado com apoio da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo – FAPESP (Processo nº 99/07217-6). Recebido para análise em 10.03.10. Aceito para publicação em 24.05.11. Publicado *online* em 16.06.11.

²Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP, Av. Albert Einstein, 951, Caixa Postal 6021, 13083-852 Campinas, SP, Brasil.

³Autor para correspondência: Lucila Chebel Labaki – lucila@fec.unicamp.br

As an indicator of thermal comfort, the Physiological Equivalent Temperature – PET was assessed for three schedules, in the different situations studied. The results show the importance of the presence and type of vegetation structure mainly in the attenuation of solar radiation and its predominant role in controlling the temperature and relative humidity in the two seasons. The attenuation of solar radiation reached 97% in forest structure and 83% in secondary forests; the relative humidity varied in summer from 85% to 100% in forest structure and between 40% and 75% in the secondary forests. Differences of up to 12 °C were observed between forest structure and herbaceous field. The temperature of the water system in the forest structure was softened in up to 3 °C in comparison with the water temperature in the herbaceous field. The PET indicated thermally comfortable environment in almost all times for the forest structure, while situations of heat stress were observed in the structure C, with the continuous herbaceous field, at all times in the summer.

Keywords: thermal comfort; watercourses; riparian vegetation; ecosystem services.

1 INTRODUÇÃO

A vegetação, entre outras funções, tem sido apontada como um elemento fundamental para a minimização dos efeitos de alteração no clima provocada pelas ações humanas, possibilitando o resfriamento do ar, o aumento da umidade relativa e interferindo na ventilação (Labaki et al., 2000; Dimoudi e Nikolopoulou, 2003). Em relação à radiação solar, que é um fator primário de controle sobre a temperatura ao longo do tempo (Johnson, 2004), a vegetação tem um comportamento seletivo para com os diferentes comprimentos de onda. Absorve cerca de 90% da radiação visível e 60% da infravermelha. A radiação absorvida é utilizada para suas funções vitais. Uma pequena quantidade da radiação é transmitida através das folhas e o restante se reflete. Assim, através da arborização, tem-se uma atenuação da radiação de onda curta, evitando os efeitos de ofuscamento e reverberações devidos ao contraste sombra/sol. Em relação à radiação de onda longa, há uma redução no aquecimento das superfícies e, conseqüentemente, do calor emitido por estas.

A parte da energia refletida pela superfície é determinada pelo seu albedo; a quantidade e qualidade de luz transmitida variam de acordo com o ângulo de incidência dos raios solares e com a forma, o tamanho, a transparência, a cor, a espessura, a presença de pelos cuticulares e a densidade do mesofilo das folhas (Taiz e Zeiger, 2004; Lima et al., 2006); dependem também da distribuição e do adensamento dos troncos e ramos; a estrutura do dossel influencia o fluxo de luz direta e difusa que atinge o solo ou a quantidade de radiação solar interceptada pela folhagem (Frazer et al., 1999).

Há também estudos que enfocam a evapotranspiração relacionando-a às taxas de radiação e à estrutura do dossel (Sommer et al., 2002), a absorção depende da estrutura e pigmentação das folhas (Angelocci, 2002). A associação dessas propriedades delimita o controle da radiação solar pela vegetação. Com relação às características das plantas, a densidade foliar e a área de abóbada celeste visível são as variáveis de maior influência na transmissão da radiação solar. Para Larcher (2004), a presença de vários estratos em uma floresta e com maior número de espécies aumenta a capacidade de absorção de radiação, podendo chegar ao solo somente 2% do total incidente, sendo o espectro entre 400 nm e 700 nm praticamente absorvido.

A atenuação da radiação solar, controle das variáveis ambientais e a sensação de conforto térmico, ou seja, a sensação de bem-estar da pessoa em relação ao ambiente térmico, depende das características da espécie vegetal, do tipo de agrupamento entre indivíduos arbóreos, da composição em espécies em um tipo de agrupamento e do padrão resultante da composição e estrutura entre os indivíduos. Bartholomei e Labaki (2002, 2003), por exemplo, obtiveram as diferenças de atenuação da radiação solar resultante de diferentes espécies arbóreas, mostrando que pode ocorrer uma variação entre 88,5% e 75,6% entre elas. Constataram também que, quanto maior for a atenuação da radiação solar incidente, menores são as temperaturas ambiente e de globo, qualificando desta forma o baixo nível de stress térmico a que o indivíduo está submetido.

A temperatura de globo é definida como a temperatura de equilíbrio medida no centro de uma esfera oca, pintada externamente de preto fosco. É utilizada para o cálculo da temperatura radiante média (trm). Estando o globo em equilíbrio térmico com o ambiente, o calor trocado por radiação entre o globo e as superfícies circundantes é igual ao calor trocado por convecção entre o globo e o ar. A temperatura radiante média é calculada a partir da temperatura do globo, temperatura do ar e velocidade do ar (Ruas, 2002).

Canton et al. (1994) quantificaram a permeabilidade de quatro espécies arbóreas em relação à radiação solar, concluindo que as variações na transmissão da radiação solar eram de 74% a 90,2% e que havia uma relativa interceptação, mesmo quando estes indivíduos estavam sem folhas, de até 33,6%. Labaki et al. (2000) analisaram um bosque maduro, com vegetação densa, outro de vegetação de porte médio e uma praça recém-criada, com árvores de pequeno porte; observaram que houve uma atenuação da radiação solar de 99%, 89% e 88%, respectivamente. Concluíram que uma área verde recém-implementada tem, de imediato, uma função real na atenuação da radiação solar e que o desempenho é progressivo em função da maior densidade de árvores, espécies selecionadas e fenologia. Dacanal et al. (2010) analisaram o conforto térmico em fragmentos florestais urbanos, comparando o microclima de cinco bosques públicos de Campinas, SP, aos dados da estação meteorológica do CEPAGRI (Centro de Pesquisas Meteorológicas para a Agricultura, da UNICAMP), em três estações do ano. Concluíram que a vegetação densa e estratificada é capaz de reduzir a temperatura do ar, elevar o teor de umidade, interceptar a radiação solar e manter a velocidade do ar em baixa amplitude.

França e Poggiani (1996) estudaram, em Rondônia, a variação de temperatura em diferentes estádios de sucessão florestal, aos cinco, nove e 13 anos após o desmatamento. Observaram que em todos os pontos no interior da floresta, a temperatura do ar, nas horas mais quentes do dia, girava em torno de 30 °C, cerca de 7 °C mais baixa do que no ambiente exterior. A intensidade relativa de luz diminuía com o avanço da sucessão, em virtude do adensamento do dossel da floresta, passando de 4,1% para 2,2%.

Foi verificado também, que na área desmatada há 13 anos a ocorrência de queimadas prejudicou a regeneração da floresta. Consequentemente, nessa área, as temperaturas do ar e do solo apresentavam-se mais elevadas, a umidade mais baixa e a intensidade relativa de luz em torno de 9,1%.

Os efeitos do corte de madeira somados a perda de mata ciliar sobre fatores climáticos são bastante debatidos pela literatura. Dan Moore et al. (2005) apresentam uma exaustiva revisão sobre esse tema. Os autores compararam dezenove estudos evidenciando que gradientes entre zero a 100% de cobertura florestal ciliar aos cursos de água apresentam resultados variantes, mas podem diminuir a magnitude de cerca de 1 a 8 °C sobre o aumento de temperatura na área desprovida de vegetação, principalmente durante o verão. Evidenciam a influência de outros fatores como a incidência de radiação solar, velocidade e exposição ao vento, morfologia do canal e fluxo hidrológico que interferem substancialmente nos resultados experimentais. Alertam que, apesar da grande quantidade de informações, é difícil fazer comparações quantitativas entre os estudos ou extrapolar dados para outras situações, e os efeitos ecológicos das mudanças de temperatura do curso d'água ainda não são bem conhecidos. Nessa mesma linha, Pollock et al. (2009) corroboram muitas das observações de Dan Moore e colaboradores, sugerindo que o simples restabelecimento de matas ciliares não é suficiente para retornar os regimes de temperatura anteriores ao corte. Todos são unânimes em afirmar que a retomada às condições naturais exige longos períodos, comumente acima de dez anos.

É importante ressaltar que processos ou funções ligados a aspectos climáticos podem reverter-se em benefícios para o homem, sendo, neste caso, considerado um serviço ecossistêmico (Millennium Ecosystem Assessment, 2003). Para Constanza et al. (1997), diversas categorias de serviços ecossistêmicos envolvem processos ligados ao clima, considerando entre outros a regulação climática e o conforto ambiental.

Na verdade, há pouco estudo no Brasil sobre conforto térmico em estruturas de vegetação ciliar, seja em relação à resposta do indivíduo arbóreo ou à floresta como um sistema. As informações ainda são insuficientes.

Para a vegetação que se apresenta nas mais diversas composições e estruturas ao longo dos cursos de água, essa função é praticamente desconhecida. No entanto, essas respostas são essenciais para nortear ações de manejo ambiental em bacias hidrográficas e para encontrar uma solução que garanta uma cobertura aos corredores fluviais, de forma que possam cumprir suas funções de proteção da água e do solo. Nessa direção, este estudo objetivou interpretar o comportamento das variáveis ambientais relacionadas ao conforto térmico e à atenuação da radiação solar resultantes da ocorrência de vegetação em diferentes estruturas vegetacionais, contíguas a um curso d'água fluvial. Para tanto, foram quantificadas e comparadas cinco variáveis climáticas (radiação solar, temperaturas ambiente e de globo, umidade relativa e velocidade do vento) em três diferentes perfis fisionômicos (vegetação arbórea densa, vegetação arbórea rarefeita e campo), além da temperatura da água sob a influência dessas estruturas. De posse dos dados de temperatura do ar, umidade relativa, temperatura radiante média e velocidade do ar, foi também calculada a Temperatura Fisiológica Equivalente – PET, indicador de conforto térmico proposto para ambientes externos, para as situações estudadas.

2 MATERIAL E MÉTODO

• Área de Estudo

Foram definidas parcelas amostrais na Mata Ribeirão Cachoeira (Figura 1), na Área de Conservação Ambiental de Sousas e Joaquim Egídio (Campinas, SP, BR). Esse fragmento é caracterizado como Floresta Estacional Semidecídua e situa-se ao longo do ribeirão Cachoeira (afluente do rio Atibaia), com área de 233,7 ha. Nas áreas de relevo mais acidentado encontra-se uma vegetação mais conservada e aparentemente mais diversificada. O solo é Podzólico Vermelho-amarelo (Thomaziello e Santos, 2000). O clima de Campinas, de acordo com a classificação Köppen, é do tipo Cwa, ou seja, subtropical de altitude, apresentando um verão quente e úmido e um inverno seco e frio. De acordo com dados do período de 1961-1990 (normas climatológicas vigentes), obtidos da série climatológica do Instituto Agrônomo de Campinas, a cidade apresenta um regime térmico com média anual de 20,7 °C, com temperatura média mensal máxima alcançando 29,7 °C em fevereiro e mínima de 11,9 °C em julho. O total anual pluviométrico é de 1.381,2 mm e a insolação média é de 7,2 horas. A umidade relativa média do ar anual é de 72,1% com a média mensal mínima de 64,6% em agosto e máxima de 77,0% em janeiro.

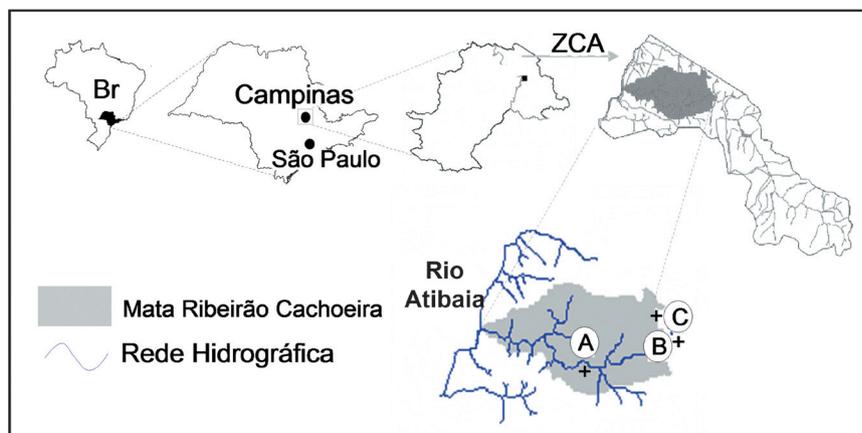


Figura 1. Croqui de localização da zona de conservação ambiental – ZCA da APA de Sousas e Joaquim Egídio, onde se encontra a Mata do Ribeirão Cachoeira no município de Campinas, indicando as três parcelas amostrais (A, B e C) localizadas, respectivamente, nas coordenadas UTM 302315W, 7473796S; 303460W, 7474401S, e 303498W, 7474422S. Fontes: Campinas (1996); Thomaziello e Santos (2000) (modificado).

Figure 1. Location of the environmental conservation zone – ZCA of the Sousas and Joaquim Egídio Protected Area and Ribeirão Cachoeira Forest at Campinas, SP, showing the three sampling areas (A, B and C), located at UTM coordinates 302315W, 7473796S; 303460W, 7474401S, and 303498W, 7474422S, respectively. Sources: Campinas (1996); Thomaziello and Santos (2000) (modified).

- *Desenho experimental*

Foram selecionados três locais de estudo que correspondem a diferentes estruturas de vegetação. Os conjuntos de indivíduos arbóreos foram classificados segundo critérios propostos por Peixoto et al. (1995). Assim, uma das primeiras considerações

refere-se ao tipo de composição; se puras (conjunto de uma só espécie) ou mistas (de duas ou mais espécies); se homogêneas (árvores de tamanhos semelhantes) ou heterogêneas (árvores de tamanhos e crescimento diferenciado). Outra consideração é com relação à densidade e à disposição do conjunto arbóreo que influem em função dos arranjos resultantes (Figura 2).

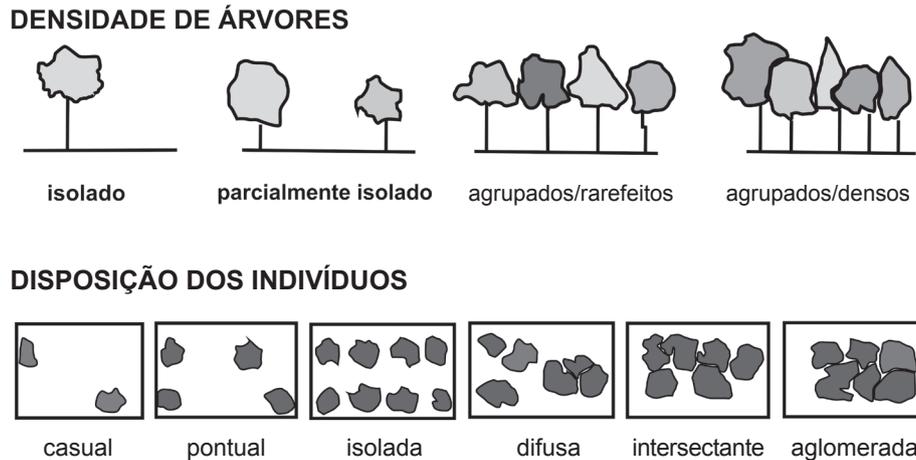


Figura 2. Disposição e densidade da estrutura vegetal usadas como critérios para classificação da estrutura arbórea das amostras florestais. Fonte: Peixoto et al. (1995).

Figure 2. Arrangement and density of the vegetal structures established as criteria for the classification of the arboreal structures of forest samples. Source: Peixoto et al. (1995).

Baseando-se nessas considerações foram selecionados três tipos de estrutura vegetal presentes na região, que engloba estágios de desenvolvimento florestal, de campo, a mata em estágio inicial e intermediário/tardio de sucessão:

- *Estrutura A:* elementos arbóreos mistos e heterogêneos, de disposição aglomerada, densidade de árvores agrupadas/densas, com estrato inferior arbustivo-arbóreo. Nesta categoria foi selecionada uma parcela de mata secundária, em estágio intermediário/tardio de sucessão, com raros sinais de interferência antrópica, com dossel contínuo ou pouco interrompido e de altura relativamente uniforme;
- *Estrutura B:* elementos arbóreos mistos e heterogêneos, com disposição difusa, densidade de árvores rarefeitas/agrupadas e com estrato inferior herbáceo-arbustivo. Nesta categoria foi

selecionada uma parcela de capoeira densa e mata degradada, estágio inicial/intermediário de sucessão e, quando o dossel está presente, é muitas vezes interrompido pela presença de clareiras;

- *Estrutura C:* campo, com estrato herbáceo contínuo.

As três estruturas de vegetação foram georreferenciadas com GPS Explorer II, conforme apontado na Figura 1.

Foi elaborado um diagrama de perfil para exemplificação da fisionomia dos tipos vegetacionais estudados. Para tanto, foi escolhida uma faixa de amostragem, de comprimento de 17 m e largura de 4 m, localizada perpendicularmente à calha do ribeirão, abrangendo toda a área de medição. A declividade do terreno foi levantada com teodolito. A largura média da calha do rio, nos pontos de amostragem, era de 5,8 m.

As medidas de radiação solar foram realizadas com solarímetros de tubo, modelo TSL, da Delta-T Devices, instalados horizontalmente nas três áreas amostrais a uma altura de 1,30 m do solo. Os solarímetros de tubo foram projetados para medir a irradiância média (em kW.m^{-2}) em situações em que a distribuição de energia radiante não é uniforme, como sob folhagens. Seu desenho tubular proporciona a média espacial necessária, minimizando o efeito da movimentação das folhagens das plantas. Os sensores detectam a radiação na faixa de comprimento de onda de 300 nm a 2.500 nm e são conectados a um integrador (*logger*) para a coleta automática dos dados (Data Logger DL2e, multicanal, modelo RS232, da Delta-T Devices). A temperatura ambiente e a temperatura da água foram medidas com um termômetro de mercúrio de haste longa, com escalas de 10 °C a 110 °C, com divisão de 1 °C. Na medição da temperatura da água, o sensor do termômetro foi imerso na água até poucos centímetros, de modo a permitir a leitura. Para a medida da umidade relativa, foi utilizado o psicrômetro a ventilação natural, cujos termômetros de bulbo seco e de bulbo úmido têm a mesma escala e divisão. Nas situações de exposição direta ao sol, para que os termômetros ficassem protegidos da radiação, foi utilizada uma cobertura dos sensores com papel alumínio, de modo que fosse permitida a ventilação. Na mesma estrutura foi fixado um termômetro de globo, com diâmetro de 11,7 cm. A escala desse termômetro varia de 0 a 50 °C, com menor divisão de 1 °C. O anemômetro utilizado é do tipo térmico, próprio para medições de baixas velocidades do vento, com microprocessador que assegura a máxima precisão possível, $\pm 5\%$ da leitura efetuada. A velocidade é medida através de um sensor conectado ao aparelho, o qual fica na extremidade de uma haste que varia de 280 mm a 940 mm de comprimento, regulada para que o sensor ficasse à mesma altura dos termômetros e do solarímetro (1,30 m do solo).

- *Realização das medições*

Foram coletados valores de temperatura ambiente e de globo, temperaturas de bulbo úmido, velocidade do vento e radiação solar nos três pontos situados a 2,2 m; 9,0 m e 17,0 m de distância da margem do curso d'água (respectivamente pontos 1, 2 e 3), a uma altura de 1,30 m do solo, nas diferentes estruturas vegetais. Coletou-se também a temperatura na superfície da água (centro e borda do curso), com os termômetros colocados em uma haste longa, de modo a ficarem localizados próximo à borda e no centro do curso, para estimar a influência das diferentes estruturas vegetacionais do entorno. Essas medições foram realizadas em dois períodos durante o ano: junho/julho e dezembro, correspondentes aos solstícios de inverno e verão, durante três dias em cada estrutura vegetal, no período das 8h às 16h. Cada estrutura foi então analisada através da média dos valores obtidos para os dias considerados. O solarímetro foi configurado para registrar os dados a cada dez minutos. Os demais parâmetros ambientais foram coletados em intervalos de uma hora. As análises foram feitas com base nas médias dos dias de medição. Os dados a pleno sol (medida da estrutura C a 17 m de distância da margem) foram usados como referência para a radiação solar ao sol, e para a obtenção da diferença entre médias.

- *Método de tratamento dos dados*

Os dados de temperatura ambiente e da água foram agrupados por meio de médias dos dias para cada horário de medição. A umidade relativa foi obtida a partir das temperaturas de bulbo seco (T_s) e bulbo úmido (T_u), através do software Conforto 2.03 (Ruas, 2002). Os dados foram também agrupados pelas médias dos dias para cada horário de medição.

A partir das listagens fornecidas pelo integrador foram feitas as médias dos dados provenientes dos solarímetros, ao sol (ponto 3 da estrutura C) e à sombra. As integrais dos gráficos foram calculadas para serem comparadas às porcentagens diárias de atenuação da radiação solar de cada estrutura arbórea analisada, de acordo com a Equação 1.

$$At = \frac{S_{sol} - S_{sombra}}{S_{sol}} \times 100 \quad (1)$$

em que:

At = atenuação da radiação solar, em porcentagem;
 S_{sol} = área integrada do gráfico, que fornece a energia total incidente medida a pleno sol, no intervalo de tempo considerado, em kWhm⁻², e

S_{sombra} = área integrada do gráfico, que fornece a energia total incidente à sombra, no intervalo de tempo considerado, em kWhm⁻².

A partir da média calculada para os três dias, encontrou-se o erro-padrão das médias (Topping, 1972) para cada estrutura analisada, de acordo com a equação 2.

$$\alpha = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (2)$$

em que α é o erro-padrão da média, σ o desvio-padrão e n o número de medidas.

Para a avaliação do conforto térmico, foi utilizada a Temperatura Fisiológica Equivalente, PET (*Physiological Equivalent Temperature*). A PET é um índice de conforto térmico desenvolvido para espaços abertos ou fechados, que representa uma temperatura fictícia, resultante da interação entre variáveis físicas e ambientais de um ambiente real. O esforço fisiológico de um indivíduo ao ar livre, realizando qualquer tipo de atividade, é comparado ao esforço do indivíduo-padrão em ambiente controlado, em que a única variável é a PET (Matzarakis et al., 1999; Matzarakis e Mayer, 1997). O índice PET é classificado em faixas de sensação e estresse térmico, conforme Tabela 1. A partir das temperaturas do ar, de globo e da velocidade do ar, foi calculada a temperatura radiante média, pelo software Conforto 2.02 (Ruas, 2002). A temperatura radiante média é a temperatura uniforme de um meio constituído de superfícies negras, com o qual a pessoa,

também considerada como corpo negro, troca a mesma quantidade de calor por radiação que aquela trocada com o meio real. Com os dados de temperatura do ar, temperatura radiante média, umidade relativa e velocidade do ar, foi calculada a PET, utilizando-se o software Rayman 1.2 (2009). Considerou-se uma atividade de 130 W (pessoa andando a 4 kmh⁻¹), e uma resistência térmica da vestimenta de 1,0 clo⁴ para a situação de inverno (calça comprida, camisa de manga comprida, jaqueta, calçado) e 0,6 clo para a situação de verão (calça comprida, camisa de manga curta, calçado).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 3 mostra-se o perfil da vegetação e da fisiografia do terreno para as três estruturas vegetacionais estudadas.

A estrutura A é uma faixa de mata representativa do fragmento florestal estudado, onde se pode reconhecer até três estratos arbóreos: o primeiro com arvoretas que atingem de 3 m a 4 m de altura, o segundo com um porte de 3 m a 8 m e o terceiro entre 8 m e 13 m. É grande a quantidade de cipós entre os troncos das árvores. A paisagem circundante a essa estrutura apresenta a mesma tipologia da amostra descrita. A largura média da calha do rio, nesse ponto, era de 5,5 m.

A estrutura B apresenta um porte menor, com três estratos: o primeiro predominantemente arbustivo e altura menor que 1 m, o segundo não ultrapassando 3 m e o terceiro chegando a 5 m. O entorno dessa estrutura é caracterizado por pastagem e pela vegetação ripária de mesma tipologia, na margem oposta. A largura média da calha do rio, nesse ponto, era de 3,8 m.

A estrutura C é um campo usado como pastagem, ao redor da área amostrada. A largura média da calha do rio, nesse ponto, era de 5,0 m.

⁴A unidade de resistência térmica da vestimenta é chamada clo: 1 clo = 0,155 m² °C W⁻¹.

Tabela 1. Intervalos de Temperatura Fisiológica Equivalente – PET como indicadores de conforto e estresse térmico para espaços abertos. Fonte: Dacanal et al. (2010).

Table 1. Intervals of Physiological Equivalent Temperature – PET as thermal comfort and thermal stress index for open spaces. Source: Dacanal et al. (2010).

PET (°C)	SENSIBILIDADE TÉRMICA	ABREVIATURA	GRAU DE ESTRESSE FISIOLÓGICO
4	Muito Frio	MF	Estresse por frio extremo
8	Frio	F	Estresse por frio forte
13	Frio Moderado (fresco)	FM	Estresse por frio moderado
18	Levemente frio	LF	Estresse por frio leve
23	Confortável	C	Sem estresse
29	Levemente aquecido	LA	Estresse por calor leve
35	Aquecido	A	Estresse por calor moderado
41	Muito quente	MQ	Estresse por calor extremo

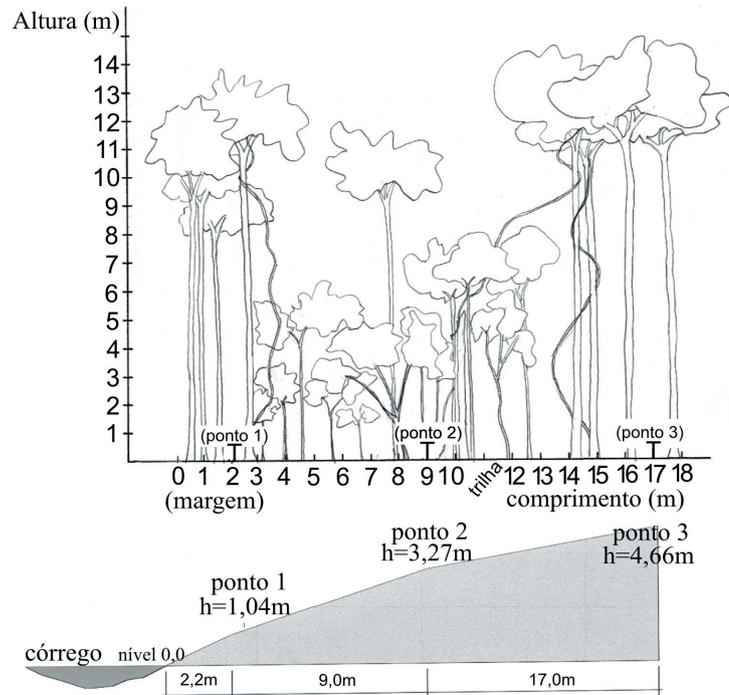
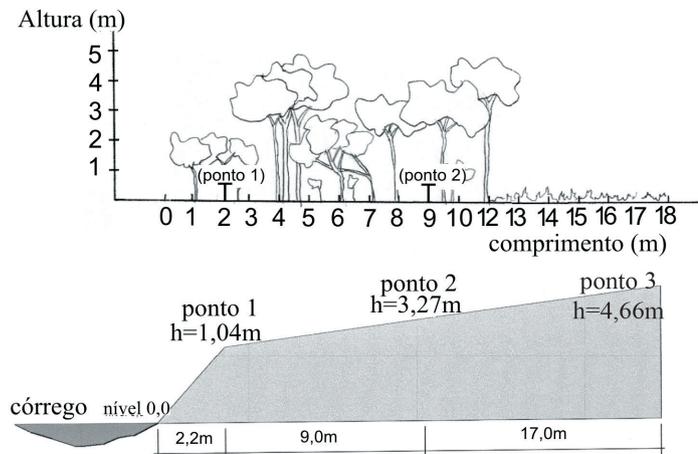
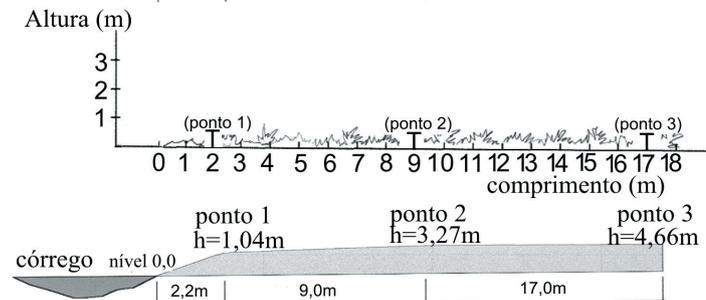
Estrutura A**Estrutura B****Estrutura C**

Figura 3. Fotografia, perfis e topografia do terreno e do leito do rio nas três estruturas de vegetação. A: vegetação arbórea densa, B: vegetação arbórea rarefeita, C: campo. Pontos 1, 2 e 3: locais de coleta de dados. h: nível acima da superfície da água do córrego.

Figure 3. Photographs, profiles and topography of the terrain and riverbed in the three vegetation structures. A: dense arboreal vegetation, B: rarefied arboreal vegetation, C: field. Points 1, 2 and 3: positions of data collection. h: level above water surface.

Na Tabela 2 são apresentados os resultados referentes à atenuação da radiação nos diferentes tipos vegetacionais, nos períodos de inverno e de verão, respectivamente, bem como o erro-padrão, o qual se manteve em quase todas as situações abaixo de 1%. Os dados apontam uma relação direta entre a atenuação da radiação solar e a fisionomia da vegetação. A mata ciliar junto ao curso d'água e em melhor estado de conservação apresentou atenuação solar média de 93,1% (ponto 2 no verão) e 97,2% (ponto 3 no verão). Já a estrutura B, de capoeira/mata degradada, mostrou atenuação solar média entre 63,2% e 83,5% nos pontos 1 e 2, respectivamente, ambos no inverno.

Mesmo com valores mais baixos que os apresentados pela estrutura A, esses resultados mostram a importância dessa estrutura para a atenuação da radiação solar. Esse dado deve se somar à análise feita por Labaki et al. (2000), que encontraram uma atenuação de até 88,2% em um bosque recém-implantado, com muitas árvores jovens. Principalmente para o período de inverno, a influência da densidade do dossel e das clareiras é bastante evidente para a atenuação e variação da radiação solar incidente, o que explica a acentuada diferença encontrada para a atenuação nos pontos 1 e 2 na estrutura B, com um valor mais alto no inverno do que no verão para o ponto 2, como demonstra a Figura 4.

Tabela 2. Atenuação da radiação solar nos pontos de coleta com cobertura arbórea, no verão e inverno. A: vegetação arbórea densa, B: vegetação arbórea rarefeita. Distância a partir da margem: ponto 1 – 2,2 m; ponto 2 – 9,0 m e ponto 3 – 17,0 m.

Table 2. Attenuation of solar radiation at the data collection points with tree coverage, in summer and winter. A: dense arboreal vegetation, B: rare arboreal vegetation and C: field. Distance from the border: point 1 – 2.2 m; point 2 – 9.0 m and point 3 – 17.0 m.

	INVERNO			VERÃO		
	PONTO 1	PONTO 2	PONTO 3	PONTO 1	PONTO 2	PONTO 3
ESTRUTURA A	97,1	93,5	95,7	92,5	93,0	96,5
	97,3	92,8	96,1	96,4	95,8	97,7
	97,1	93,1	96,1	93,5	94,4	97,3
MÉDIA	97,2	93,1	96,0	94,1	94,4	97,2
ERRO-PADRÃO	± 0,1	± 0,2	± 0,1	± 1,2	± 0,8	± 0,4
	INVERNO			VERÃO		
	PONTO 1	PONTO 2		PONTO 1	PONTO 2	
ESTRUTURA B	70,8	85,1		71,9	72,5	
	60,2	82,9		71,3	72,6	
	58,5	82,5		72,9	72,4	
MÉDIA	63,2	83,5		72,0	72,5	
ERRO-PADRÃO	± 3,8	± 0,8		± 0,5	± 0,1	

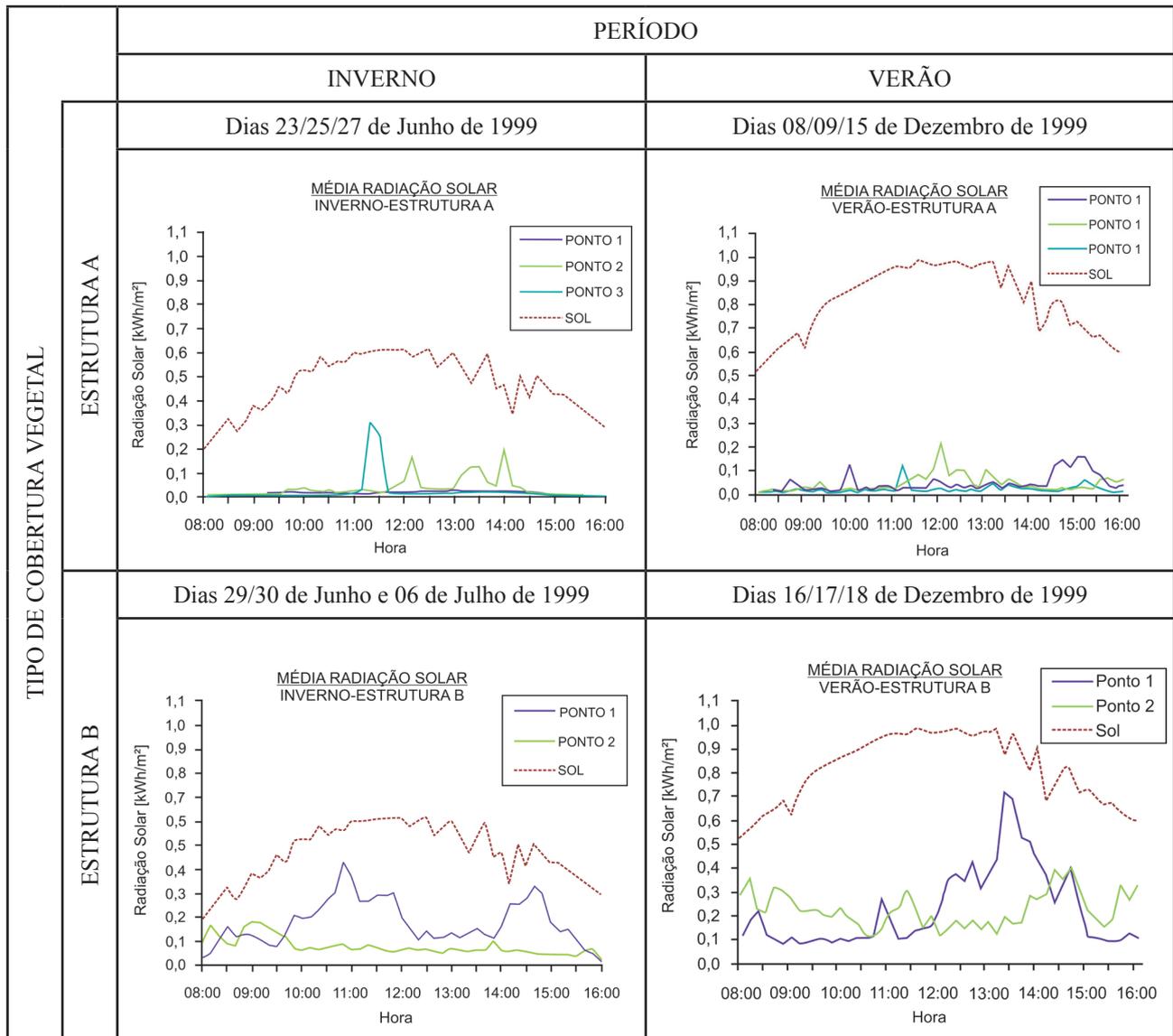


Figura 4. Curso diário da média de três dias da radiação solar incidente nas diferentes estruturas vegetacionais. A: vegetação arbórea densa, B: vegetação arbórea rarefeita. Distância a partir da margem: Ponto 1 – 2,2 m; ponto 2 – 9,0 m e ponto 3 – 17,0 m. SOL refere-se ao ponto 3, a pleno sol, da estrutura C – campo.

Figure 4. Daily course of three days average incident solar radiation at the different vegetation structures. A: dense arboreal vegetation, B: rarefied arboreal vegetation. Distance from the border: Point 1 – 2.2 m, point 2 – 9.0 m and point 3 – 17.0 m. SOL refers to point 3 at sunshine from structure C – field.

Os dados de temperatura ambiente, obtidos nos diferentes pontos, também são indicativos da influência da estrutura vegetal, constatando-se que a temperatura é tanto menor quanto mais densa e aglomerada for a cobertura vegetal arbórea. Em comparação com o campo, a temperatura ambiente na estrutura florestal apresentou-se 12,2 °C menor no inverno e

11,3 °C no verão; na estrutura mais degradada foi obtida uma redução de 4,4 °C no inverno e 6,7 °C no verão, sendo que as diferenças ocorreram, principalmente, no intervalo entre 11h e 15h (Figuras 5 e 6).

Esses dados sugerem que a cobertura arbórea ameniza, eficientemente, a temperatura ambiente, com influência direta no conforto térmico.

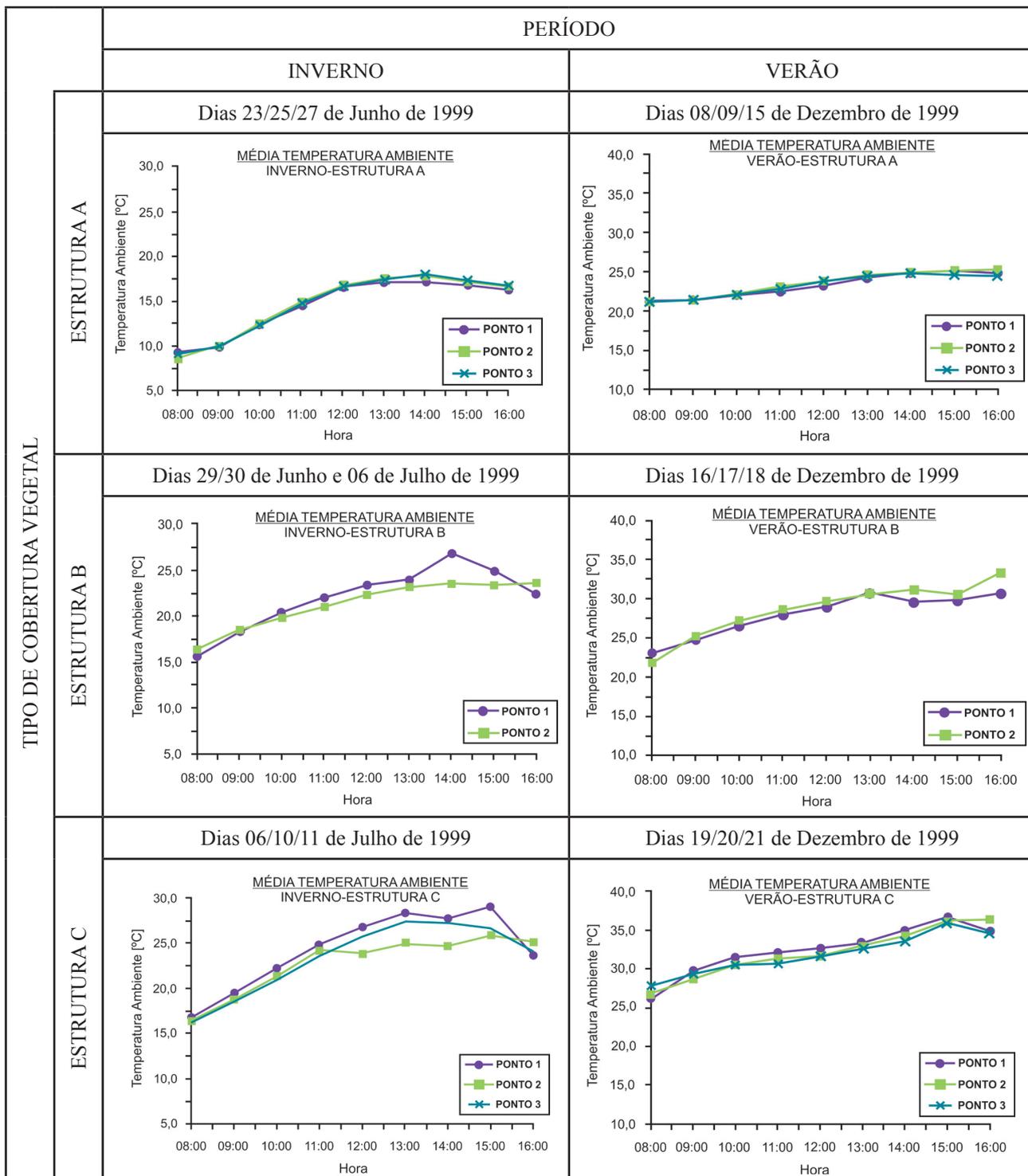


Figura 5. Curso diário da média de três dias da temperatura ambiente nas diferentes estruturas vegetacionais. A: vegetação arbórea densa, B: vegetação arbórea rarefeita, C: campo. Distância a partir da margem: ponto 1 – 2,2 m; ponto 2 – 9,0 m e ponto 3 – 17,0 m.

Figure 5. Daily course of three days average ambient temperatures at the different vegetation structures. A: dense arboreal vegetation, B: rarefied arboreal vegetation, C: field. Distance from the border: point 1 – 2.2 m, point 2 – 9.0 m and point 3 – 17.0 m.

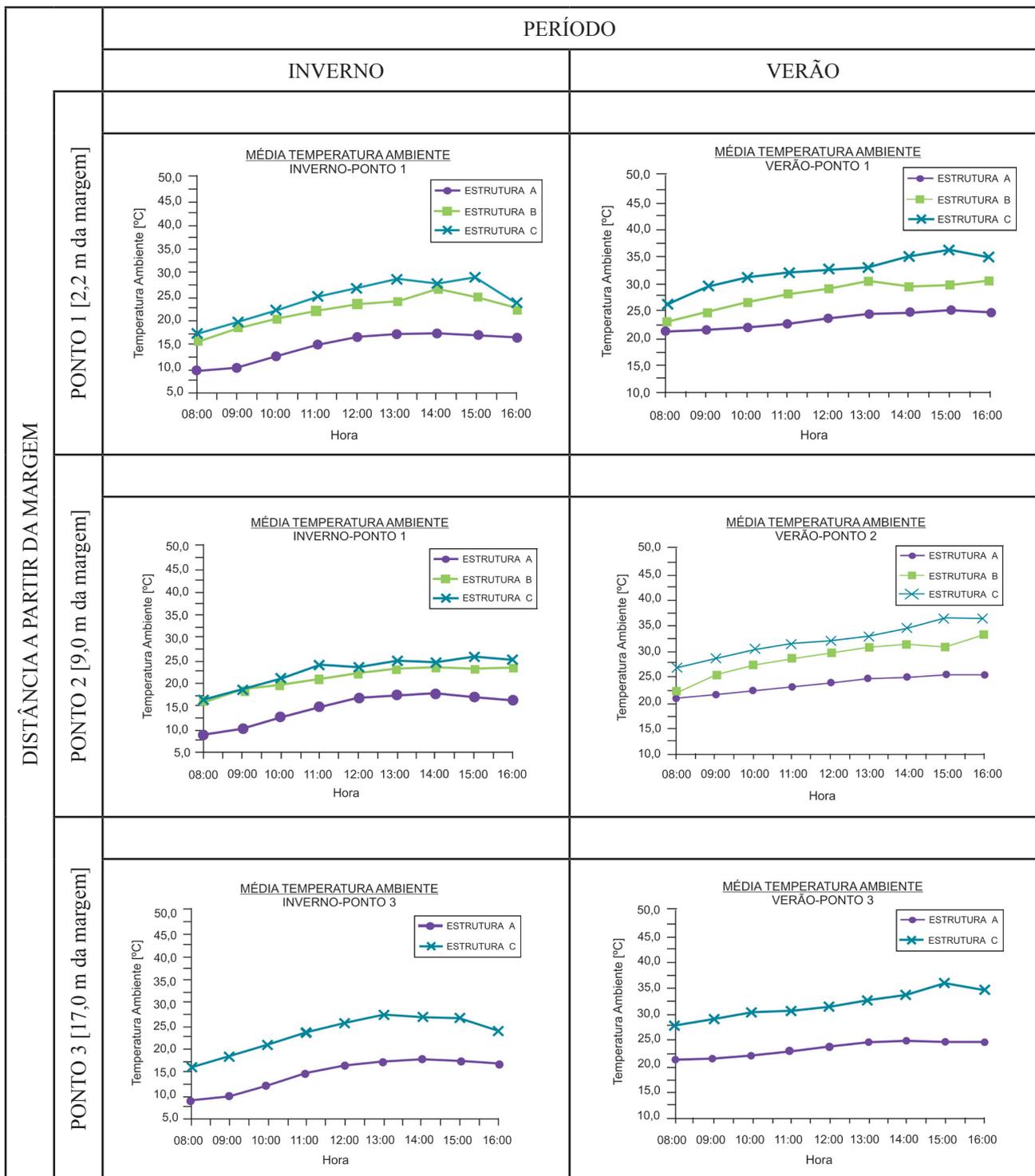


Figura 6. Curso diário da média de três dias da temperatura ambiente nos pontos a diferentes distâncias da margem (2,2 m, 9,0 m e 17,0 m) em estruturas vegetacionais distintas. A: vegetação arbórea densa, B: vegetação arbórea rarefeita, C: campo.

Figure 6: Daily course of three days average ambient temperatures in the points at different distances from the border (2.2 m, 9.0 m e 17.0 m) in distinct vegetation structures. A: dense arboreal vegetation, B: rarefied arboreal vegetation. C: field.

Os valores obtidos para a umidade relativa mostram uma grande diferença de comportamento ao longo do dia, tanto entre os dados obtidos na mesma estrutura, quanto na comparação entre as diferentes estruturas vegetacionais estudadas, o que evidencia a importância da complexidade estrutural da vegetação no controle deste elemento climático (Tabela 3 e Figuras 7 e 8). Na estrutura A, as umidades relativas variaram de 90 a 100% no inverno e de 85 a 100% no verão. Essa alta umidade é esperada em situações de vegetação arbórea densa e proximidade de curso d'água. No inverno, tanto na estrutura B quanto na C, as umidades atingiram valores altos pela manhã (90%), diminuindo expressivamente nas horas mais quentes do dia: 60% na estrutura B e 50% na estrutura C. No verão, as umidades foram mais baixas: variaram de 40 a 65% na estrutura B, e de 40 a 75% na estrutura C. Esses resultados são importantes quando se considera o conforto térmico, pois umidade elevada no verão pode ocasionar um grande desconforto, devido à dificuldade de perda de calor corporal pela evaporação do suor. Numa região com inverno bastante seco, é importante observar-se o quanto a vegetação pode contribuir para a melhoria do ambiente térmico.

Em relação à temperatura da água, as médias obtidas, para os diferentes horários e dias de medição, são apresentadas na Tabela 4. Observa-se que não houve diferenças expressivas entre o centro e a borda, mas sim para as diferentes estruturas, mais acentuadas no inverno. Na Figura 9 são apresentados os resultados de temperatura da água, na borda e no centro, e da temperatura ambiente. Observa-se que as diferenças entre as temperaturas da

água e do ar são expressivas: dependendo da fisionomia e do horário considerado, a vegetação, quando densa, pode amenizar a temperatura da água superficial em até 3 °C. Também se observou que, numa área de campo, a diferença entre as temperaturas do ar e da água pode chegar a 10,9 °C, independentemente se na borda ou no centro do rio. Apesar de seu estudo ter sido realizado em condições experimentais distintas, Johnson (2004) também observou que as temperaturas máximas da água após a remoção da vegetação ripária aumentaram em 7 °C, após corte raso e queima em uma bacia hidrográfica, que ocorreram no início do verão. Essa autora ressalta que a temperatura do curso d'água controla as taxas de muitos processos bióticos e abióticos, podendo afetar os estágios sensíveis de desenvolvimento da biota aquática. St-Hilaire et al. (2000), por sua vez, verificaram por meio de um modelo hidrológico a influência do fechamento das copas na temperatura da água, principalmente para períodos curtos, durante os períodos de maior vazão e durante eventos extremos meteorológicos e hidrológicos, tais como tempestades tropicais. Verificaram que a inclusão de variáveis como dossel, fechamento das copas e área foliar apresentam influência nas mudanças da troca de calor e no regime termal, permitindo medir, através do modelo proposto, as alterações de tais regimes a partir dos possíveis cenários de desmatamento para uma região.

Este estudo sugere que, como a água tem um efeito estabilizador das temperaturas, devido a seu alto calor específico, seria interessante registrar estas temperaturas também durante a noite, o que daria um quadro mais detalhado deste comportamento.

Tabela 3. Amplitude diária da umidade relativa nas três estruturas vegetacionais e diferença máxima da umidade relativa das estruturas A e B em relação à estrutura C.

Table 3. Variation of relative humidity at the three vegetation structures and maximum difference of relative humidity in structures A and B in relation to structure C.

Estrutura	Variação da umidade relativa (%)		Diferença máxima da umidade relativa em relação à estrutura C	
	inverno	verão	inverno	verão
A	90-100%	85-100%	46,9 (12h)	50,2 (11h)
B	60-90%	40-65%	12,3 (11h)	14,6 (16h)
C	50-90%	40-75%		

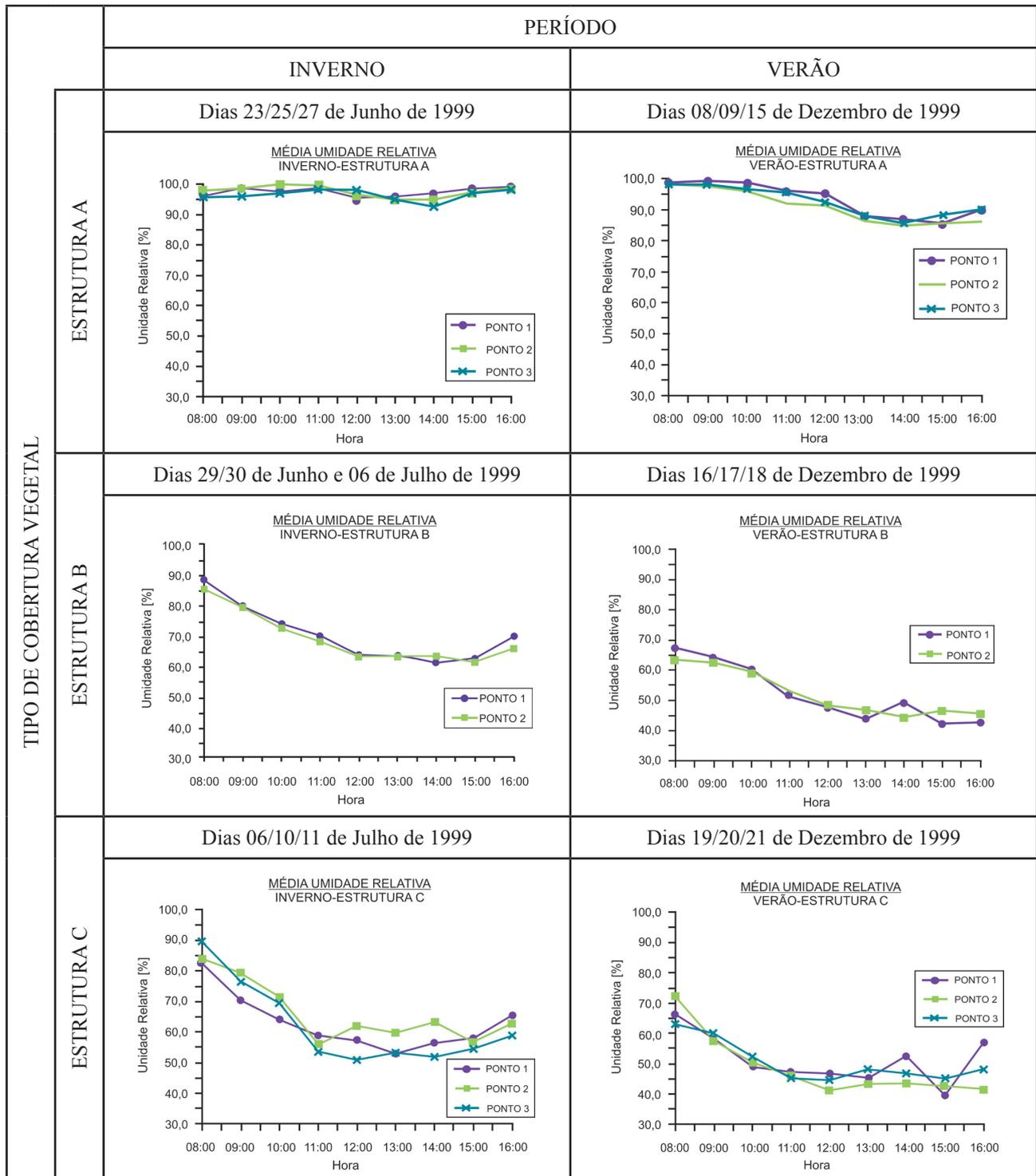


Figura 7. Curso diário da média de três dias da umidade relativa em diferentes estruturas vegetacionais. A: vegetação arbórea densa, B: vegetação arbórea rarefeita, C: campo. Distância a partir da margem: ponto 1 – 2,2 m; ponto 2 – 9,0 m e ponto 3 – 17,0 m.

Figure 7. Daily course of three days average relative humidity at the different vegetation structures. A: dense arboreal vegetation, B: rarefied arboreal vegetation, C: field. Distance from the border: point 1 – 2.2 m; point 2 – 9.0 m and point 3 – 17.0 m.

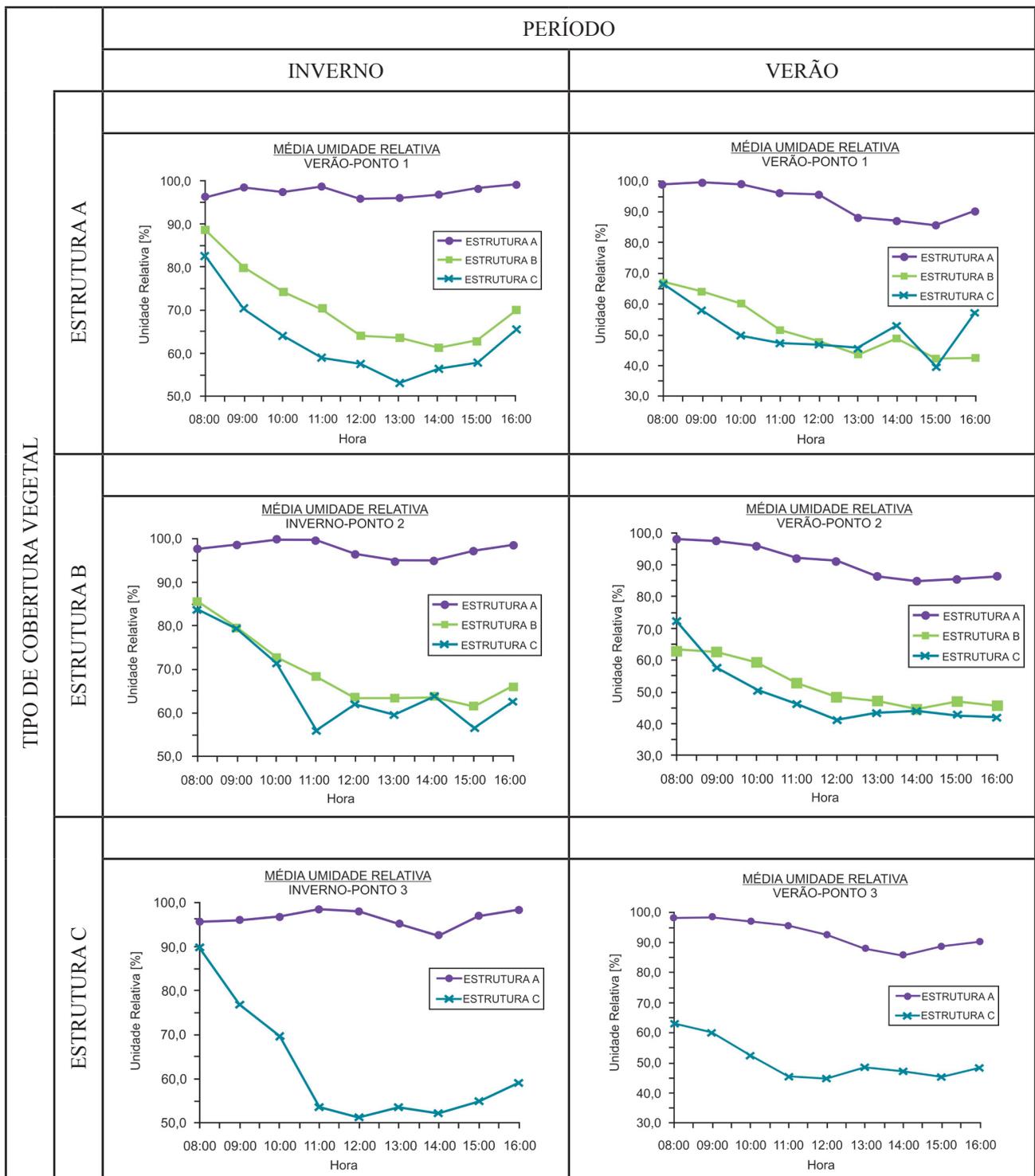


Figura 8. Curso diário da média de três dias da umidade relativa nos pontos a diferentes distâncias da margem (2,2 m, 9,0 m e 17,0 m) em estruturas vegetacionais distintas. A: vegetação arbórea densa, B: vegetação arbórea rarefeita, C: campo.

Figure 8. Daily course of three days average relative humidity in the points at different distances from the border (2.2 m, 9.0 m e 17.0 m) in distinct vegetation structures. A: dense arboreal vegetation, B: rarefied arboreal vegetation. C: field.

Tabela 4. Médias da temperatura da água na borda e centro nas três estruturas vegetacionais.

Table 4. Averages for water temperature at the border and center at the three vegetation structures.

Estrutura	Verão		Inverno	
	centro	borda	centro	borda
A	23,1	23,1	14,9	14,8
B	23,7	23,9	17,4	17,1
C	25,1	25,4	17,4	17,4

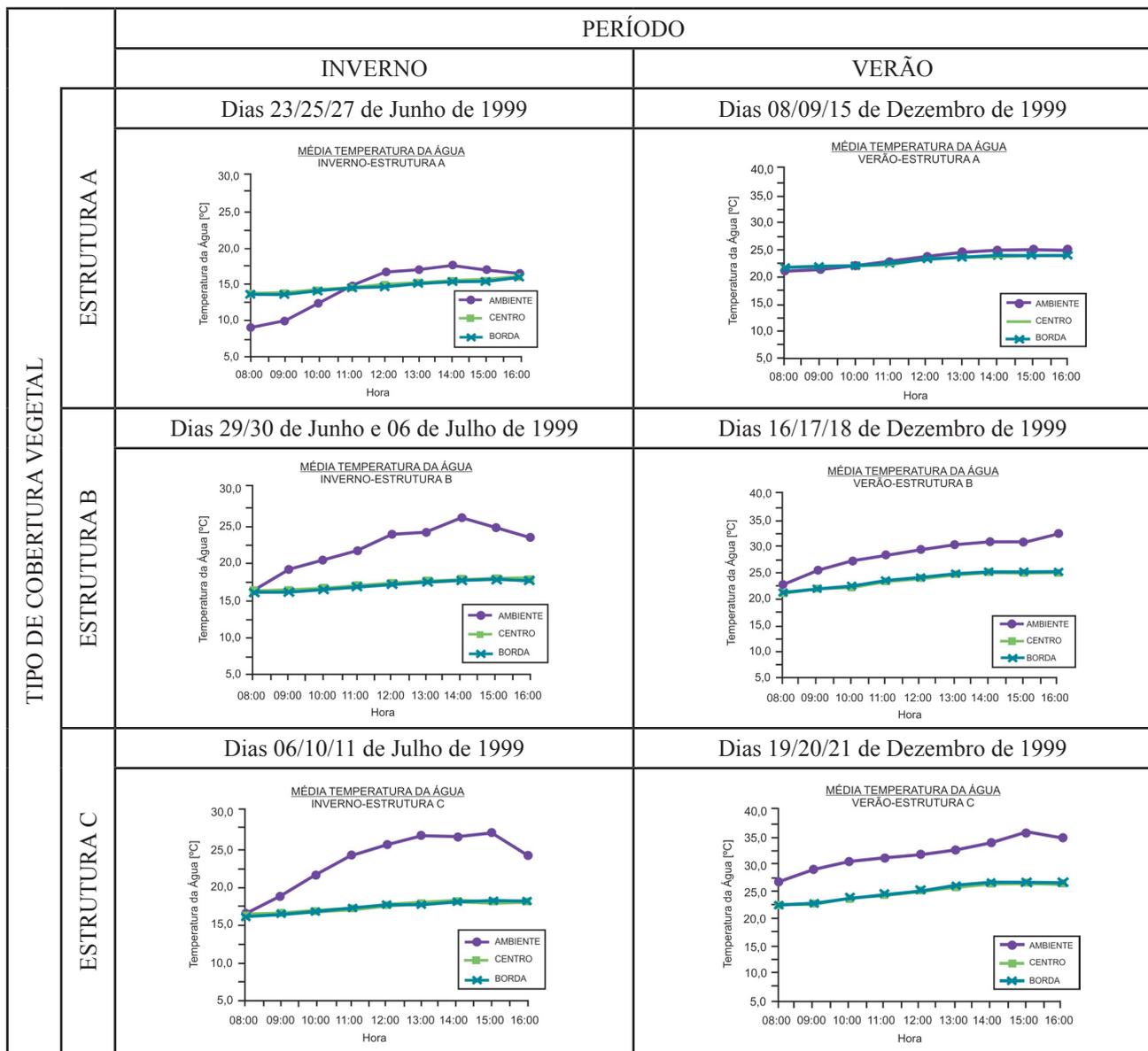


Figura 9. Curso diário da média de três dias da temperatura da superfície da água em diferentes posições no rio em estruturas vegetacionais distintas. A: vegetação arbórea densa, B: vegetação arbórea rarefeita, C: campo.

Figure 9. Daily course of three days average relative humidity at the different vegetation structures. A: dense arboreal vegetation, B: rarefied arboreal vegetation, C: field.

Em relação ao conforto e estresse térmico, os resultados para a Temperatura Fisiológica Equivalente – PET são mostrados na Tabela 5.

Observa-se que no verão, em todos os pontos e horários da Estrutura A, o índice é confortável ou ligeiramente aquecido. Já na estrutura B, com a vegetação mais degradada, a PET indica ligeiramente aquecido ou aquecido nos pontos P1 e P2, chegando a quente às 15:00 no ponto P1. Já no ponto P3, a uma distância maior da borda, o índice foi muito quente em todos os horários. Para a estrutura C, também a sensação foi de muito quente em todas as situações. No inverno, para a estrutura A obteve-se de frio moderado a confortável em todos os horários,

com exceção das 9:00 no ponto P1, que indicou frio. Na estrutura B, nos pontos 1 e 2, variou de ligeiramente frio a ligeiramente aquecido, passando por confortável, com exceção dos horários de 12:00 e 15:00, de maior insolação, quando houve indicação de quente. Já na estrutura C, foi de confortável a quente, sendo muito quente às 12:00 no ponto P2. Esses resultados mostram a importância da presença de vegetação nos ambientes externos, para o conforto térmico das pessoas. A proximidade do curso d'água indica também uma melhora no ambiente térmico no verão, porém sujeito a situações de frio durante o inverno.

Tabela 5. Valores da Temperatura Fisiológica Equivalente – PET em diferentes horários para as três estruturas vegetais.

Table 5. Values for Physiological Equivalent Temperature – PET at different times for the three vegetation structures.

Estrutura	Pontos	Verão			Inverno		
		Horário	PET (°C)	Sensação térmica	Horário	PET (°C)	Sensação térmica
A	1	9:00	24,4	LA	9:00	6,4	F
		12:00	24,5	LA	12:00	9,9	FM
		15:00	27,8	LA	15:00	16,0	LF
	2	9:00	23,9	LA	9:00	16,9	LF
		12:00	24,6	LA	12:00	18,8	C
		15:00	25,7	LA	15:00	18,1	C
	3	9:00	22,1	C	9:00	16,7	LF
		12:00	24,5	LA	12:00	11,9	FM
		15:00	25,1	LA	15:00	18,3	C
B	1	9:00	27,5	LA	9:00	17,5	LF
		12:00	33,5	A	12:00	21,1	C
		15:00	36,5	Q	15:00	26,4	LA
	2	9:00	33,3	A	9:00	23,3	LA
		12:00	33,5	A	12:00	22,6	C
		15:00	41,7	MQ	15:00	23,9	LA
	3	9:00	44,0	MQ	9:00	27,2	LA
		12:00	51,1	MQ	12:00	35,6	Q
		15:00	45,5	MQ	15:00	35,8	Q
C	1	9:00	40,2	MQ	9:00	25,3	LA
		12:00	59,4	MQ	12:00	35,5	Q
		15:00	46,1	MQ	15:00	37,7	Q
	2	9:00	48,8	MQ	9:00	31,4	A
		12:00	54,0	MQ	12:00	42,2	MQ
		15:00	50,1	MQ	15:00	37,9	Q
	3	9:00	49,6	MQ	9:00	30,0	A
		12:00	55,8	MQ	12:00	38,7	Q
		15:00	56,6	MQ	15:00	37,9	Q

4 CONCLUSÃO

Os resultados apresentados mostram a importância da presença e estrutura da vegetação na atenuação da radiação solar e seu papel em tornar a temperatura mais amena e aumentar a umidade relativa do ar. Os dados evidenciaram atenuações percentuais importantes dos parâmetros climáticos estudados, não só no interior do fragmento vegetacional, como no curso d'água. Destacaram-se os fenômenos de atenuação solar que chegam a mais de 97% em estrutura florestal e 83% em capoeiras, da umidade relativa que varia entre 85% a 100% na estrutura florestal e entre 40% e 90% no campo, e a diminuição em até 3 °C na temperatura da água em sistema florestado. Na análise das variáveis climáticas, observou-se que as maiores diferenças entre as estruturas ocorreram no período de inverno, das 10h às 15h. Assim, sugere-se que este é um intervalo propício para medições dos parâmetros climáticos em campo, pois concentra as variações mais expressivas durante o dia, quando há um maior interesse no conforto térmico para áreas de vegetação ciliar. O cálculo da PET mostrou as diferenças expressivas no conforto térmico propiciado por ambientes com e sem vegetação arbórea, bem como a influência da presença de água.

5 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a valiosa colaboração do Prof. Dr. Fernando Martins, do Instituto de Biologia da UNICAMP e à FAPESP, pela concessão da bolsa de mestrado e financiamento dos equipamentos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANGELOCCI, L.R. **Água na planta e trocas gasosas/energéticas com a atmosfera: introdução ao tratamento biofísico**. Piracicaba: Edição do Autor, 2002. 268 p.

BARTHOLOMEI, C.L.B.; LABAKI, L.C. Environmental parameters and thermal comfort provided by different tree species. In: PASSIVE AND LOW ENERGY ARCHITECTURE (PLEA): DESIGN WITH THE ENVIRONMENT, 19., 2002, Toulouse. **Proceedings...** Toulouse: GRECO, 2002. v. 1, p. 341-344.

_____. How much does the change of species of trees affect their solar radiation attenuation? In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON URBAN CLIMATE, 2003, Lodz. **Annals...** Lodz: IAUC. 2003. v. 1, p. 267-270.

CAMPINAS (Município). Secretaria de Planejamento e Meio Ambiente. **Plano de Gestão da Área de Proteção Ambiental da Região de Sousas e Joaquim Egídio: APA Municipal**. Campinas: SEPLAMA – PMC, 1996. 197 p.

CANTON, M.A.; CORTEGOSO, J.L.; DE ROSA, C. Solar permeability of urban trees in cities of western Argentina. **Energy and Buildings**, v. 20, n. 3, p. 219-230, 1994.

COSTANZA, R. et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital. **Nature**, v. 387, n. 1, p. 253-215, 1997.

DACANAL, C.; LABAKI, L.C.; LEITE DA SILVA, T.M. Vamos passear na floresta! O conforto térmico em fragmentos florestais urbanos. **Ambiente Construído**, v. 10, n. 2, p. 115-132, 2010.

DAN MOORE, R.; SPITTLEHOUSE, D.L.; STORY, A. Riparian microclimate and stream temperature response to forest harvesting: a review. **Journal of the American Water Resources Association**, v. 41, n. 4, p. 813-834, 2005.

DIMOUDI, A.; NIKOLOPOULOU, M. Vegetation in the urban environment: microclimatic analysis and benefits. **Energy and Buildings**, v. 35, n. 1, p. 69-76, 2003.

FRANÇA, J.T.; POGGIANI, F. Variação do microclima em áreas com diferentes idades de sucessão secundária na Floresta Nacional do Jamarí-RO. In: CONGRESSO DE ECOLOGIA DO BRASIL, 3., 1996, Brasília. **Anais...** Brasília, DF: CEB/UNB, 1996. p. 422-423.

- FRAZER, G.W.; CANHAM, C.D.; LERTZMAN, K.P. **Gap Light Analyzer (GLA), Version 2.0**: imaging software to extract canopy structure and gap light transmission indices from true-color fisheye photographs, users manual and program documentation. Burnaby: Simon Fraser University; Millbrook, New York: Institute of Ecosystem Studies, 1999. 36 p. Disponível em: <<http://www.rem.sfu.ca/forestry/index.htm>> or <<http://www.ecostudies.org>>. Acesso em: 3 out. 2010.
- JOHNSON, S.L. Factors influencing stream temperatures in small streams: substrate effects and a shading experiment. **Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences**, v. 61, n. 6, p. 913-923, 2004.
- LABAKI, L.C. et al. Thermal comfort in outdoor spaces: the role of vegetation as a means of controlling solar radiation. In: PLEA: architecture, city, environment, 2000, Cambridge. **Proceedings....** Londres: James & James (Science Publishers), 2000. p. 501-505.
- LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: RiMa, 2004. 531 p.
- LIMA, E.C. et al. Aspectos fisio-anatômicos de plantas jovens de *Cupani avernalis* Camb. submetidas a diferentes níveis de sombreamento. **Revista Árvore**, v. 30, n. 1, p. 33-43, 2006.
- MATZARAKIS, A.; MAYER H. Heat stress in Greece. **International Journal of Biometeorology**, v. 40, n. 2, p. 34-39, 1997.
- _____; _____.; IZIOMON, M.G. Applications of a universal thermal index: physiological equivalent temperature. **International Journal of Biometeorology**, v. 43, n. 2, p. 76-84, 1999.
- MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT. **Ecosystems and human well-being**. Washington, D.C.: Island Press, 2003. 245 p.
- PEIXOTO, M.C.; LABAKI, L.C.; SANTOS, R.F. Conforto térmico em cidades: o efeito da arborização no controle da radiação solar. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO (ENTAC): TECNOLOGIA E QUALIDADE NA HABITAÇÃO, 1995, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: ANTAC, 1995. p. 629-634.
- POLLOCK, M.M. et al. Stream temperature relationships to forest harvest in western Washington. **Journal of the American Water Resources Association**, v. 45, n. 1, p. 141-156, 2009.
- RAYMAN 1.2. Software livre. Freiburg: Instituto Meteorológico da Universidade de Freiburg. Disponível em: <<http://www.urbanclimate.net/rayman/index.htm>>. Acesso em: ago. 2009.
- RUAS, A.C. **Sistematização da avaliação de conforto térmico em ambientes edificados e suas aplicações num software**. 2002. 183 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.
- SOMMER, R. et al. Transpiration and canopy conductance of secondary vegetation in the eastern Amazon. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 112, p. 103-121, 2002.
- ST-HILAIRE, A. et al. Water temperature modelling in a small forested stream: implication of forest canopy and soil temperature. **Canadian Journal Civil Engineering**, v. 27, n. 6, p.1095-1108, 2000.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. 719 p.
- THOMAZIELLO, S.; SANTOS, R.F. Environmental impacts assessment in leisure rural property developments. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ENVIRONMENTAL GEOTECHNOLOGY AND GLOBAL DEVELOPMENT, 5., 2000, Belo Horizonte. **Proceedings...** Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 2000. v. 1. CD ROM.
- TOPPING, J. **Errors of observations and their treatment**. 4th ed. London: Science Paperbacks, 1972. 120 p.