

Caracterização microclimática de cafeeiros cultivados sob malha de sombreamento e a pleno sol

Microclimatic characterization of coffee plants grown under shading screens and full sunlight

Heverly Moraes¹, Paulo Henrique Caramori¹, Mirian Sei Kogushi² e Ana Maria de Arruda Ribeiro³

Resumo - Estudos sobre Sistemas Agroflorestais na cafeicultura têm demonstrado o potencial do sombreamento para atenuar extremos climáticos, evitando prejuízos com as geadas e abortamento de estruturas florais provocados por altas temperaturas. O conhecimento das alterações microclimáticas que ocorrem em determinada fase de desenvolvimento é importante para elucidar as influências sobre o ciclo da cultura, produtividade e qualidade da produção, auxiliando no correto manejo. Entre as modificações microclimáticas causadas pelo uso do sombreamento, a redução do resfriamento noturno para prevenir ou evitar os impactos das geadas é o mais importante. Neste estudo, conduzido em Londrina, PR (23°23' S, 50°11' W, 610 m), foi caracterizado o microclima de cafeeiros sombreados artificialmente, com malhas do tipo "sombrite" com 50% de porosidade, e de cafeeiros cultivados a pleno sol, no período de maio a setembro de 2004, o qual correspondeu à fase de desenvolvimento das gemas florais. As variáveis avaliadas foram: radiação solar global e fotossinteticamente ativa no topo da cultura, temperaturas do ar a 1 m do solo e acima da copa dos cafeeiros, temperatura da folha, temperatura do botão floral, temperatura do solo e umidade relativa do ar. As malhas de sombrite reduziram os níveis de radiação solar global e fotossinteticamente ativa incidente sobre os cafeeiros em torno de 60%, propiciando aumento da umidade relativa do ar, atenuação das temperaturas máximas e impedindo quedas acentuadas de temperatura durante as noites frias, com reflexos favoráveis no potencial produtivo da cultura.

Palavras-chave: *Coffea arabica*, geada, radiação solar, temperatura

Abstract: Studies of coffee cropping as a component of Agroforestry Systems have demonstrated the potential of shading to attenuate climatic extremes, avoiding damages by frost and abortion of floral structures caused by high temperatures. The quantification of microclimatic modifications that occur in each system and their impacts in specific phases of development is important to elucidate their influences on crop cycle, productivity and coffee quality, helping to support system management. Among the microclimatic modifications, the reduction of night freezing to prevent or avoid the impacts of frost is the main advantage of shading. In this study, carried out in Londrina, state of Paraná, Brazil (23°23' S, 50°11' W, 610 m), the microclimate of coffee plants grown under artificial shade with 50% of porosity was characterized and compared to coffee plants grown under full sun, in the period of May to September of 2004, which corresponded to the phase of floral buds development. The variables evaluated were: global and photosynthetic active solar radiation above the crop canopy, air temperature at 1 m height and above the coffee plants, leaf temperature, floral buds temperature, soil temperature, and air relative humidity. The shading screens reduced the amount of global and photosynthetic active solar radiation that reached the canopy by 60%, causing increase in air relative humidity, decreasing of maximum air temperature and preventing freezing temperatures during cold nights, with positive impacts on the potential of coffee production.

Keywords: *Coffea arabica*, frost, solar radiation, temperature

Introdução

O clima é um fator dinâmico e responsável pelas grandes oscilações de produção na cafeicultura. Altas temperaturas provocam abortamento de flores e frutos e podem acelerar o depauperamento da planta quando associadas ao

déficit hídrico e/ou baixo nível nutricional. Temperaturas abaixo de -3°C causam danos aos cafeeiros (CAMARGO & SALATI, 1967; FERRAZ, 1968; MANETTI & CARAMORI, 1986). Ambas as situações podem comprometer a produção e em caso de eventos severos pode haver mortes das plantas (CARAMORI et al., 2000).

¹ Eng. Agr., Dr., IAPAR, Área de Ecofisiologia, Rod. Celso Garcia Cid, Km 375, Cx. P. 481, Cep 86001-970 Londrina, PR, Brasil. Autor para correspondência: heverly@iapar.br.

² Geógrafa, BSc., IAPAR, Área de Ecofisiologia, Rod. Celso Garcia Cid, Km 375, Cx. P. 481, CEP 86001-970 Londrina, PR, Brasil.

³ Eng. Agr., Dr., Univ. Est. de Londrina, Centro de Ciências Agrárias, Dep. de Agronomia, Cx. P. 6001, CEP 86051-990 Londrina, PR, Brasil

Os Sistemas Agroflorestais na cafeicultura têm sido muito utilizados para amenizar situações climáticas adversas. Em regiões próximas ao Equador Terrestre, onde se encontram países com elevadas produtividades, como a Colômbia e a Costa Rica, os sistemas de produção agroflorestal são tradicionalmente adotados para amenizar altas temperaturas e regular o excesso de produção que pode levar ao depauperamento da lavoura. No Brasil, uma especial vantagem desta técnica é a proteção contra geadas em regiões cafeeiras do sul de Minas Gerais, São Paulo e norte do Paraná (CARAMORI et al., 1987, 1996, 1999; MORAIS et al., 2006). Geadas severas, suficientes para causar danos ocorrem com frequência média a cada 5-6 anos entre os meses de junho a agosto (CAMARGO & PEREIRA, 1994; CARAMORI et al., 1996). As árvores exercem proteção aos cafeeiros por meio da redução do resfriamento decorrente da menor perda de radiação eletromagnética de ondas longas interceptadas pelas suas copas.

Tais modificações microclimáticas favoráveis vêm associadas a outras vantagens que o sistema oferece como incremento da fertilidade do solo (BEER, 1988), controle de pragas e doenças (NATARAJ & SUBRAMANIAN, 1975; MATIELLO, 1997), controle de ervas daninhas (MUSCHLER, 1997), conservação da biodiversidade ecológica (YOUNG, 1994), incremento da diversidade de culturas, sustentabilidade de produção e geração de maior renda para o agricultor com produtos provenientes das espécies arbóreas como frutos, raízes, folhas, madeira, carvão e látex.

Apesar dos benefícios do sistema, no Brasil essa prática não é muito difundida, devido ao manejo inadequado ou a falta de informações embasadas em resultados de pesquisas. Em alguns casos, o sombreamento mal conduzido pode causar reduções severas na produção, principalmente quando a densidade é excessiva e há intensa competição por luz, água e nutrientes. A radiação solar no interior da comunidade vegetal é o primeiro elemento meteorológico modificado com o sombreamento. Níveis muito baixos de radiação fotossinteticamente ativa provocam alterações nos processos anatômicos, fisiológicos e vegetativos dos cafeeiros, com reflexos negativos no potencial produtivo (MORAIS, 2003). Além da densidade é importante investigar a influência do sombreamento em determinados estádios de desenvolvimento do cafeeiro, direcionando-o para um determinado fim, como proteção contra geadas, sem o comprometimento na produção final.

Portanto, é necessário o conhecimento das amplitudes das modificações microclimáticas nos

sistemas sombreados nas diferentes fases do ciclo do cafeeiro, para se ter evidências de seus efeitos sobre a produção e a qualidade do café. Isso auxilia no correto manejo dessa técnica, de forma que haja consonância e potencialização dos fatores climáticos e produtivos. Assim, o presente trabalho teve por objetivo caracterizar as alterações microclimáticas em ambientes de cafeeiros sombreados artificialmente e a pleno sol, durante a fase de desenvolvimento de gemas florais, e seus efeitos sobre a floração do café.

Material e Métodos

O experimento foi desenvolvido em um cafezal da espécie *Coffea arabica*, cultivar IAPAR 59, no campo experimental do IAPAR, em Londrina, PR, cujas coordenadas geográficas são: latitude 23°23'S, longitude 50°11'W e altitude 610 m. Os cafeeiros foram plantados em junho de 1993 no espaçamento de 2,5 m entre linhas e 1,5 m entre plantas com 2 plantas por cova e recepados em outubro de 2000 em decorrência de geada. O solo é do tipo Latossolo Vermelho Eutroférico (EMBRAPA, 1999), com 82% de argila. O clima da região é do tipo Cfa, descrito como clima subtropical úmido com verão quente, segundo a classificação de Köppen. A temperatura média anual é de 21°C, a média do mês mais quente é 24°C (janeiro) e a média do mês mais frio é 17°C (junho). A precipitação média anual é de 1.500 mm, sendo dezembro, janeiro e fevereiro os meses mais chuvosos e junho, julho e agosto os mais secos (CAVIGLIONE et al., 2000).

Dentro do período em que ocorreu o desenvolvimento da gema floral, de maio a setembro de 2004, avaliou-se o microclima e a quantidade de flores de cafeeiros sombreados com malhas de sombrite de 50% de porosidade e cultivados a pleno sol. Para cada um dos ambientes foram feitas quatro repetições compostas de 3 linhas de cafeeiros com 8 covas cada. A cobertura com sombrite teve a dimensão de 12 m de comprimento por 7,5 m de largura e 2,5 m de altura.

Para o monitoramento do microclima foram instaladas, no centro de uma parcela sombreada e outra a pleno sol, duas estações meteorológicas automáticas para medição das seguintes variáveis: a radiação solar global (piranômetros de silício, Modelo LI200X, LI-COR Inc.) e radiação fotossinteticamente ativa (quantômetros de silício, Modelo LI190SB, LI-COR Inc.), a 20 cm acima das plantas; temperatura do ar a 1 m da superfície, medida com termopares (cobre-constantã), instalados entre duas plantas na linha dos cafeeiros,

protegidos da exposição solar direta com tubos de policloreto de vinila (PVC) cortados ao meio na longitudinal com 10 cm de comprimento e 5 cm de diâmetro; temperatura da folha, medida com sensores de termopares cobre-constantã, colocados na porção abaxial da folha de um ramo voltado para a face sul da planta e situado na porção mediana do cafeeiro, correspondendo ao segundo par de folhas do ramo plagiotrópico a contar do ápice; temperatura do botão floral, medida com termopares cobre-constantã, colocados em contato com um botão floral na face sul da planta e situado na região mediana da planta e do ramo; temperatura do solo, medida com termistores colocados no solo a 10 cm de profundidade, na projeção da copa e posicionados na face sul dos cafeeiros; temperatura e umidade do ar (Modelo HMP45C, Vaisala Inc.) a 20 cm acima das plantas, ou seja, a 2,3 m da superfície.

Os sensores foram conectados a um sistema automático de aquisição de dados (Campbell Sci. Datalogger 21X). Os dados foram coletados a cada quinze segundos e foram obtidas médias a cada quinze minutos, registrando-se ainda valores extremos de temperatura durante o período.

Avaliou-se a quantidade de flores de três floradas ocorridas em 27/09, 20/10 e 24/11/2004. Em cada parcela foram avaliadas quatro plantas da linha central. Para tanto, foram marcados e avaliados dois ramos localizados no terço superior de cada planta, sendo um voltado para a direção norte e outro para a direção sul. Nos ramos marcados foram avaliados oito nós produtivos crescidos no ano anterior.

Os dados foram submetidos à comparação de médias pelo Teste Estatístico t de Student. Isso possivelmente ocorreu devido à inclinação dos raios solares na época de realização do experimento e também à condensação do vapor d'água na tela, o que reduz a transmissividade e aumenta a interceptação (ROBLEDO & VICENTE, 1988). SENTELHAS et al. (1999) mostraram diferenças tanto qualitativa como quantitativa na densidade de fluxo de radiação solar sob filmes de PVC azul e transparente. O filme de PVC azul proporcionou transmissividade média da radiação global e fotossinteticamente ativa de 65 e 60%, respectivamente, ao passo que sob o PVC transparente a transmissividade média foi da ordem de 71 e 72%. FARIAS et al. (1993) encontraram no interior de estufa revestida com polietileno de baixa densidade com 0,1 mm de espessura, valores médios de transmissividade de 83% para a radiação solar global ao redor das 12 horas, oscilando entre 65% e 90%, ao longo do dia.

Também houve efeito da cobertura de sombrite amenizando as temperaturas máximas do ar a 1 m, da folha e do botão floral (Figura 2), sendo que as magnitudes das diferenças foram distintas. A maior redução ocorreu principalmente em meses mais quentes. Em setembro, a média da temperatura máxima do ar a 1 m foi de 36,8°C e 31,8°C nos cultivos a pleno sol e sombreado, respectivamente, ou seja, o sistema sombreado reduziu a temperatura média do ambiente em 4°C. As temperaturas máximas diárias do ar na altura da copa foram praticamente idênticas nas duas condições, o mesmo ocorrendo com as médias mensais das temperaturas mínimas para todos os pontos de medida (Figura 2).

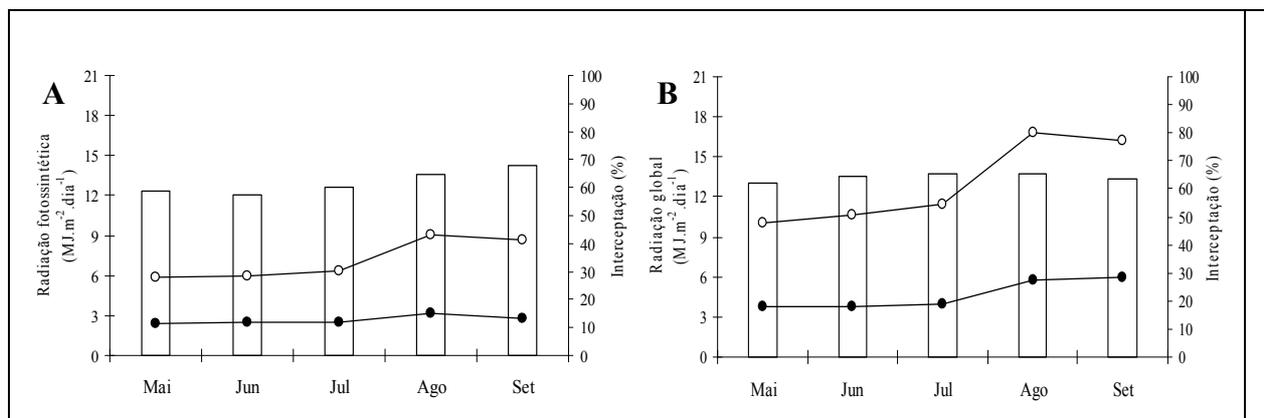


Figura 1. Variação mensal da radiação fotossinteticamente ativa (A) e da radiação solar global (B) acima das copas de cafeeiros cultivados sob malha de sombrite (círculos fechados) e a pleno sol (círculos abertos), no período de maio a setembro de 2004, em Londrina, PR. As colunas correspondem à porcentagem de radiação interceptada pela cobertura.

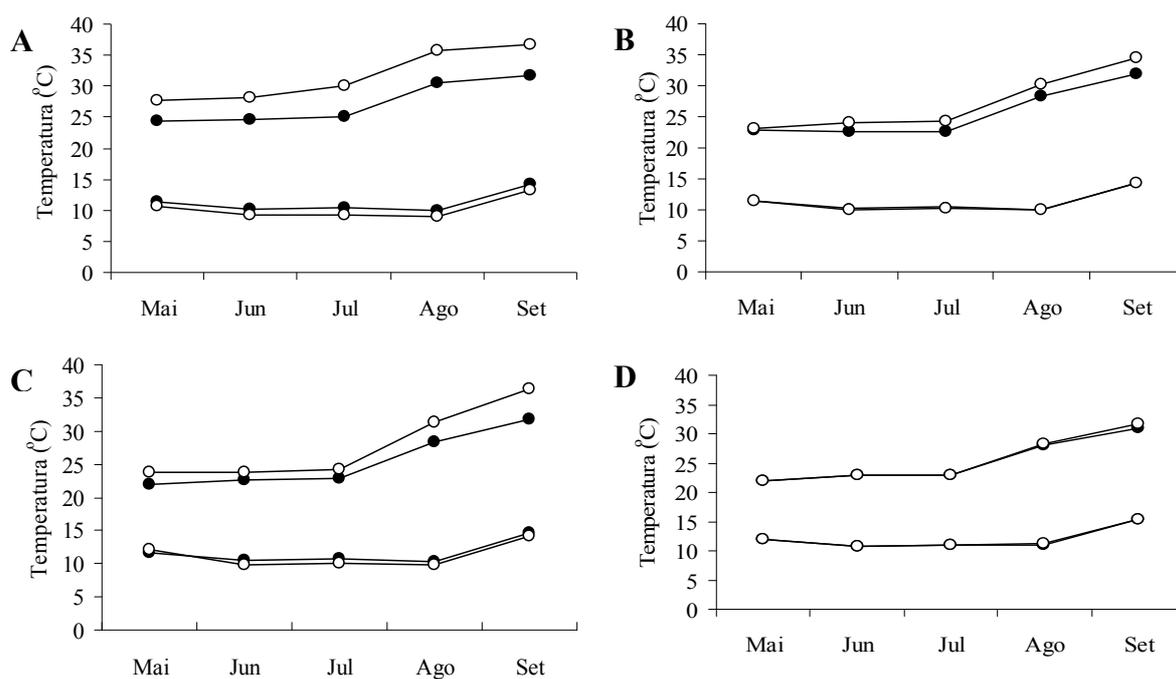


Figura 2. Variação mensal das médias das temperaturas máximas e mínimas diárias do ar a 1m de altura (A), da folha (B), do botão floral (C) e do ar na altura da copa (D), em cafeeiros cultivados sob malha de sombrite (círculos fechados) e a pleno sol (círculos abertos), no período de maio a setembro de 2004, em Londrina, PR

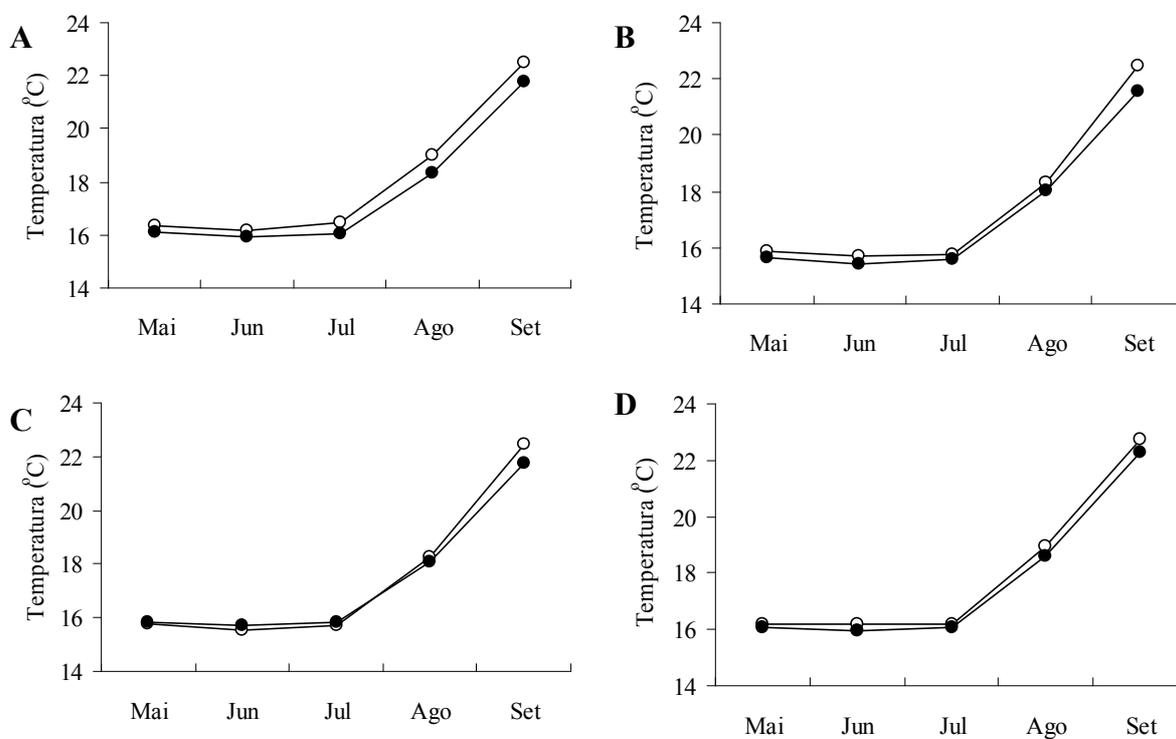


Figura 3. Variação mensal da temperatura média do ar a 1m de altura (A), da folha (B), do botão floral (C) e do ar na altura da copa (D), em cafeeiros cultivados sob malha de sombrite (círculos fechados) e a pleno sol (círculos abertos), no período de maio a setembro de 2004, em Londrina, PR.

As diferenças apresentadas para a temperatura máxima fizeram com que no cultivo conduzido sob a malha de sombreamento ocorresse uma leve atenuação das temperaturas médias do ar, da folha e do botão floral durante todo o período avaliado (Figura 3). As maiores diferenças dentro do dossel ocorreram nos meses mais quentes (agosto e setembro). Já acima das copas as diferenças foram pequenas durante o período avaliado, provavelmente devido ao reduzido tamanho das parcelas. Essa condição de temperaturas mais amenas gerou um microclima mais favorável ao cultivo de cafeeiros.

A análise das temperaturas máximas do ar nos dois sistemas de cultivo nos meses de agosto e setembro de 2004 (Figura 4), evidencia que a interceptação da radiação solar pela tela de sombrite atenuou esses valores, propiciando um ambiente mais adequado ao cultivo dos cafeeiros, que por ser originária de condições de sub-bosques, encontra no sombreamento parcial um habitat favorável ao seu crescimento e desenvolvimento. Na Figura 5 observa-se que as temperaturas ocorridas no mês de setembro foram notadamente elevadas, atingindo valores superiores às temperaturas médias históricas. Da mesma maneira, ocorreu déficit hídrico entre 20 de julho e 10 de outubro de 2004 (Figura 5), com chuva somente em meados de setembro que induziu o florescimento, mas não foi suficiente para suprir a necessidade de água das plantas. A ausência de chuva nesse período fez com que a água disponível no solo atingisse níveis muito baixos. Assim, as plantas sob sombrite foram beneficiadas com temperaturas mais amenas e tiveram menores perdas de água por evapotranspiração.

Ao contrário, as plantas cultivadas a pleno sol, sob alta incidência de radiação e temperaturas mais elevadas tiveram maior evapotranspiração, resultando em maior estresse. DaMATTA (2004a) sugere que a alta demanda evaporativa é o responsável direto pelo fechamento estomático, que por sua vez acarreta em aumentos adicionais na temperatura foliar. Deste modo, a fotossíntese líquida é reduzida em função de limitações estomáticas, além da possibilidade de ocorrência de danos diretos à fotossíntese causados pelas altas temperaturas. Neste caso, o emprego da arborização pode atenuar os efeitos deletérios das altas temperaturas e altas demandas evaporativas (DaMATTA, 2004b). MIGUEL et al. (1995) observaram um microclima mais ameno com a redução das temperaturas máximas de cafeeiros sombreados com *Grevilea robusta* em Varginha, MG. BARRADAS & FANJUL (1986) verificaram redução de 5,4°C na temperatura máxima do ar em plantações de cafeeiros sombreados com *Inga junicuul*. Segundo RODRIGUEZ et al. (1999), as altas temperaturas registradas no cultivo de cafeeiros a pleno sol influenciam negativamente na duração das folhas, provocando diminuição nos níveis de carboidratos e, conseqüentemente, na quantidade de frutos. Além disso, visíveis sintomas de injúrias são causados pelo superaquecimento e excesso de radiação solar nos tecidos vegetais (FRANCO, 1958). MES (1957) observou um desenvolvimento floral deficiente e grande incidência de flores “estrelinhas” (abortadas) quando as temperaturas estavam altas (30°C diurna e 24°C noturna).

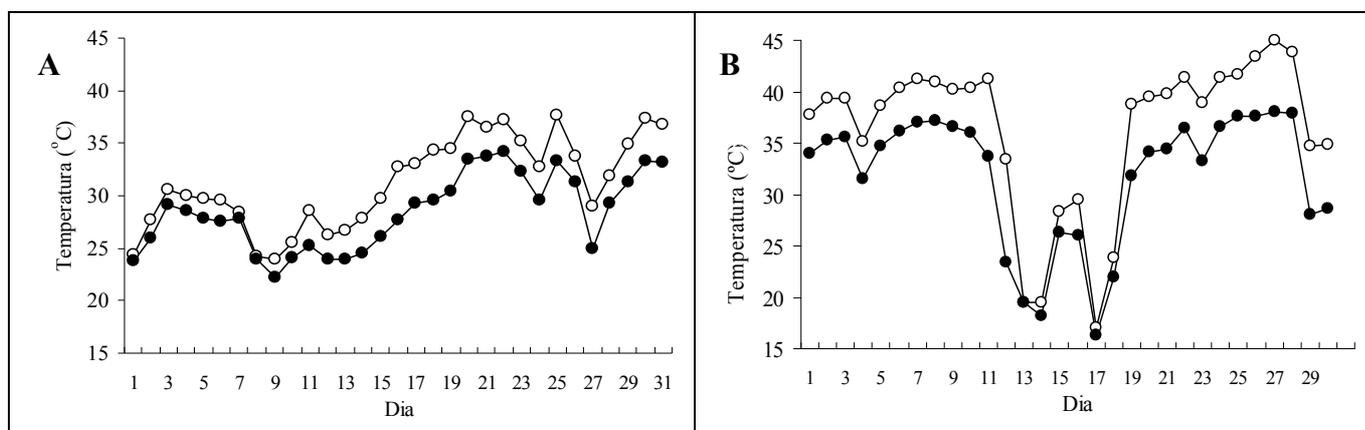


Figura 4. Variação diária da temperatura máxima do ar nos meses de agosto (A) e setembro (B) de 2004, em cafeeiros cultivados sob malha de sombrite (círculos fechados) e a pleno sol (círculos abertos) em Londrina, PR.

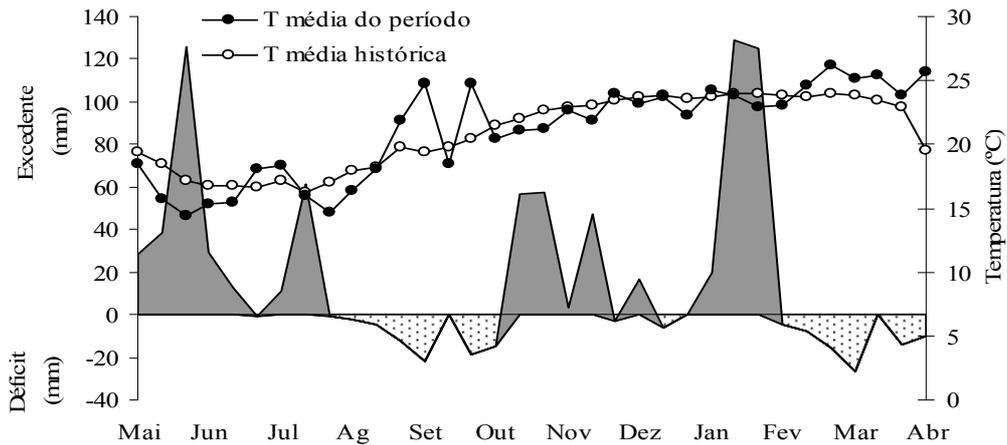


Figura 5. Extrato do balanço hídrico decendial de Thornthwaite e Mather (1955), temperatura média decendial e temperatura média histórica decendial (1976-2004), no período de maio de 2004 a abril de 2005, em Londrina, PR.

Não ocorreu durante o período experimental nenhuma geada significativa que comprometesse a produção. Somente houve um episódio de geada fraca no dia 14 de junho de 2004 (Figura 6). As temperaturas mínimas verificadas nos cafeeiros a pleno sol foram: $-1,2^{\circ}\text{C}$ no botão floral e $-1,3^{\circ}\text{C}$ no ar (1 m), enquanto que no tratamento sombreado foram: $-0,2^{\circ}\text{C}$ e $-0,5^{\circ}\text{C}$ no botão floral e ar (1 m), respectivamente. Portanto, verificou-se que o sombrite exerce efeito protetor, impedindo a perda excessiva de ondas longas pela vegetação durante a noite. CARAMORI et al. (1987) observaram temperaturas mínimas do ar, sob áreas arborizadas com *Leucena leucocephala*, cerca de 2°C mais elevadas durante noites típicas de ocorrência de geadas de radiação. MATIELLO et al. (1994) observaram após a ocorrência de geada, proteção total dos cafeeiros arborizados com *Grevilea robusta*. Em estudos com a espécie *Mimosa scabrella* (bracatinga) durante noites com geadas, CARAMORI et al. (1996) registraram temperaturas mínimas de folha entre 2 e 4°C mais elevadas que em cafeeiros cultivados sem arborização. CARAMORI et al. (1999) em estudos de métodos de proteção de cafeeiros recém plantados contra geadas encontram acréscimos de até $5,5^{\circ}\text{C}$ na temperatura de folhas de cafeeiros arborizados com guandu, indicando esta espécie para minimizar impactos de geadas severas em plantações cafeeiras no primeiro ano de cultivo. PEZZOPANE et al. (2003) em consorciação de cafeeiros com coqueiro anão no estado de São Paulo, encontraram valores de temperaturas mínimas do ar 1 a 3°C mais elevadas, quando comparadas a cafeeiros cultivados a pleno sol.

Em Londrina, PR, comparando quatro espécies arbóreas para sombreamento de cafeeiros, LEAL (2004) encontrou atenuação de $2,4$ a $3,0^{\circ}\text{C}$ nas temperaturas mínimas das folhas sob as copas das árvores. MORAIS et al. (2004) registraram temperaturas de $1,4^{\circ}\text{C}$ mais elevadas em dias de geadas fracas em mudas de café acondicionados em saquinhos cultivadas em viveiro com telas de sombrite 50% , quando comparadas à mudas expostas ao relento.

As temperaturas médias mensais do solo foram semelhantes nos dois sistemas durante os meses de maio a agosto (Figura 7). Em setembro a diferença foi de $3,2^{\circ}\text{C}$, com os menores valores nos cafeeiros sombreados ($18,9^{\circ}\text{C}$). Normalmente, o cafeeiro em sistema de plantio adensado exerce cobertura de grande parte da superfície do solo, mas com o aumento da radiação solar incidente a partir de setembro houve maior calor acumulado no solo no sistema a pleno sol e as diferenças se acentuaram. O solo funciona como um estabilizador do balanço térmico de um local, absorvendo uma considerável quantidade de calor durante o dia e se resfriando durante a noite. Sob a cobertura essa estabilização é mais eficiente, com menores oscilações térmicas, pois durante o dia está protegido contra as fortes radiações e durante a noite apresenta menor perda de radiação térmica (LARCHER, 2000). No caso do sombreamento natural, a presença da fitomassa (raízes, caules e folhas) das árvores sombreadoras favorece a diminuição da temperatura do solo. BARRADAS & FANJUL (1986) registraram menores temperaturas de solo em cafeeiros arborizados, comparados aos cultivados a pleno sol.

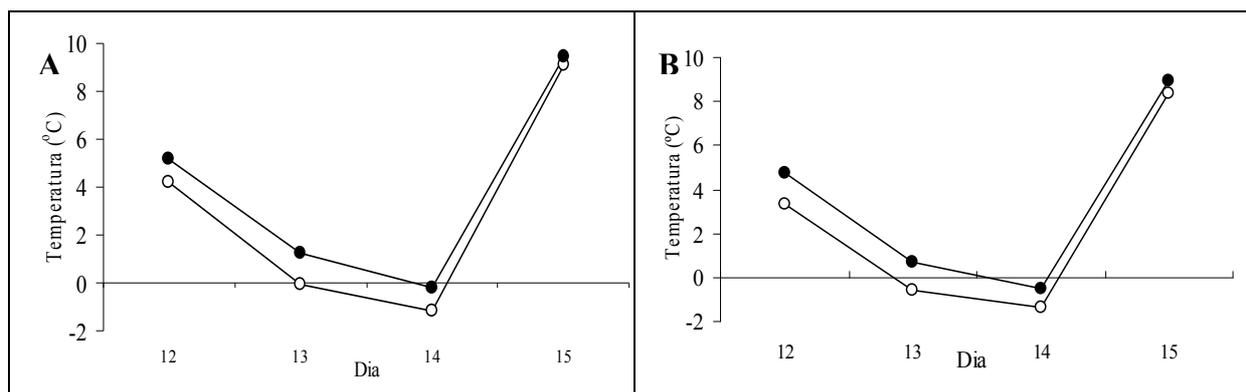


Figura 6. Variação diária da temperatura mínima do botão floral (A) e do ar a 1m (B) em cafeeiros cultivados sob malha de sombrite (círculos fechados) e a pleno sol (círculos abertos), no período de maio a setembro de 2004, em Londrina, PR.

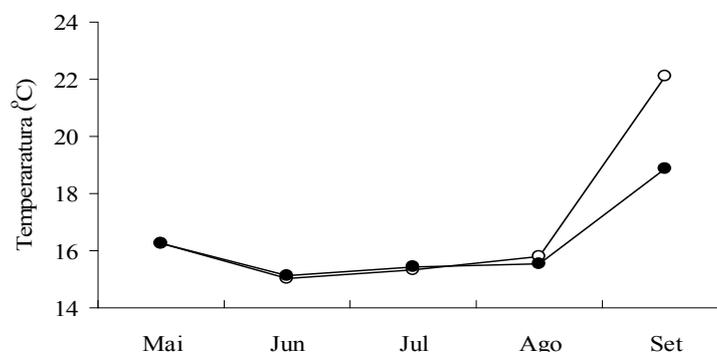


Figura 7. Variação mensal da temperatura do solo em cafeeiros cultivados sob malha de sombrite (círculos fechados) e a pleno sol (círculos abertos), no período de maio a setembro de 2004, em Londrina, PR.

A cobertura provocou um aumento nas médias mensais da umidade do ar durante todo o período, inclusive no período de temperaturas mais amenas (Figura 8). O acréscimo foi em média de 4%, quando comparado ao cultivo a pleno sol. Isso ocorreu devido à redução da temperatura em função do menor fluxo de radiação solar incidente. Outro fator que provavelmente afetou o aumento da umidade relativa do ar foi a redução da velocidade do vento na área protegida pelo sombrite (dados não medidos) que teria minimizado o transporte de vapor de água para fora do dossel. SILVA et al. (2004) encontraram maior umidade relativa média em cultivo de pimentões em condições protegidas com polietileno de 100 μ m de espessura (68,3%), quando comparado à condição de campo (65,5%).

O sombreamento dos cafeeiros não influenciou a época de florescimento e nem a quantidade de flores nas três floradas ocorridas no ano de 2004 (Tabela 1). Esses resultados evidenciam que a interceptação de até 60% da radiação incidente durante o período de

desenvolvimento da gema floral não afeta negativamente o potencial produtivo desta cultivar. Esta informação é muito relevante, pois este período coincide com a época do ano em que é necessário proteger os cafeeiros contra geadas (CARAMORI et al., 2000). Existem evidências de que o sombreamento durante a etapa de desenvolvimento das gemas florais pode reduzir a indução floral e o número de flores (CANNELL, 1985). Para KUMAR (1979) a menor diferenciação de gemas florais em cafeeiros deve-se ao aumento do nível endógeno de giberelinas, que têm efeito inibidor na formação de gemas florais. Tal fato não ocorreu neste trabalho, pois o sombreamento artificial se iniciou após o período de diferenciação das gemas foliares para gemas florais, o que ocorre segundo CAMARGO & CAMARGO (2001) em março nas condições de cultivo do Centro-Sul do Brasil. Apesar dessas evidências, JARAMILLO et al. (2003) encontraram número mais elevado de botões florais por nó produtivo em plantas sob 48% de sombreamento durante todo o ciclo do cafeeiro, comparado com plantas que tiveram 0, 16 e 32% de sombra.

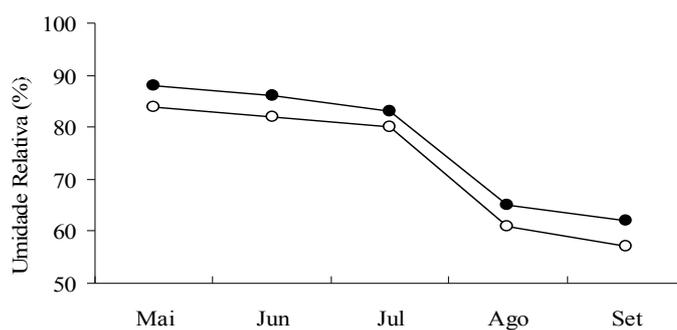


Figura 8. Variação mensal da umidade do ar em cafeeiros cultivados sob malha de sombrite (círculos fechados) e a pleno sol (círculos abertos), no período de maio a setembro de 2004, em Londrina, PR.

Tabela 1. Número de flores de cafeeiros cultivados sob malha de sombrite e a pleno sol, em Londrina, PR, no ano de 2004.

	Cafeeiros sombreados	Cafeeiros a pleno sol	Valor F	Pr > t
1ª Florada	377,5	341,5	0,253	0,6497 ^{ns}
2ª Florada	84,25	93	0,177	0,7022 ^{ns}
3ª Florada	8	4,75	1,086	0,3740 ^{ns}

ns – Médias não diferem entre si par Pr > 0,005

Conclusões

A interceptação de aproximadamente 60% da radiação incidente sobre os cafeeiros, durante o período de outono-inverno, provocou alterações nas condições térmicas e hídricas no ambiente próximo às plantas, atenuando extremos térmicos e aumentando a umidade relativa, com reflexos favoráveis no potencial produtivo da cultura. Tais resultados indicam a viabilidade do sombreamento moderado para proteção contra geadas na cafeicultura.

Referências Bibliográficas

BARRADAS, V. L.; FANJUL, L. Microclimatic characterization of shaded and open-grown coffee (*Coffea arabica* L.) plantations in Mexico. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, n. 38, p. 101-112, 1986.

BEER, J. W. Litter production and nutrient cycling in coffee (*Coffea arabica*) or cacao (*Theobroma cacao*) plantations with trees. **Agroforestry Systems**, Amsterdam, n. 7, p. 103-114, 1988.

CAMARGO, A.P.; CAMARGO, M.B.P. Definição e esquematização das fases fenológicas do cafeeiro arábica nas condições tropicais do Brasil. **Bragantia**, v. 60, n. 1, p. 65-68, 2001.

CAMARGO, A. P.; PEREIRA, A. R. **Agrometeorology of the coffee crop**. Geneva: World Meteorological Organization, 1994. 92 p.

CAMARGO, A. P.; SALATI, E. Determinación de la temperatura letal para hojas de café em noches de heladas. **Café**, San Jose, v. 8, n. 3, p. 12-15, 1967.

CANNELL, M.G.R. Physiology of the coffee crop. In: **Coffee. Botany, Biochemistry and Production of Beans and Beverage**. New York: Clifford, M.N e Willson K.C. (Eds.), 1985, p. 108-134.

CARAMORI, P. H.; ANDROCIOLI FILHO, A.; LEAL, A. C. Coffee shade wit *Mimosa scabrella* Benth. for frost protection in southern Brazil. **Agroforestry Systems**, Amsterdam, n. 33, p. 205-214, 1996.

CARAMORI, P. H.; LEAL, A. C.; MORAIS, H. Temporary shading of young coffee plantations with pigeonpea (*Cajanus cajan*) for frost protection in southern Brazil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 7, n. 2, p. 195-200, 1999.

CARAMORI, P. H. et al. Arborização de cafeeiros com *Leucena leucocephala* para proteção contra geadas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIIRAS, 5., 1987, Belém, PA. **Coletânea de Trabalhos...** Belém: CPATU, 1987. p. 337-339.

- CARAMORI, P. H.; MANETTI FILHO, J.; LEAL, A. C.; MORAIS, H. **Geadas: técnicas para proteção dos cafezais**. Londrina: IAPAR, 2000. Circular técnica.
- CAVIGLIONE, J. H.; CARAMORI, P. H.; KIIHL, L. R. B.; OLIVEIRA, D. **Cartas climáticas do Paraná**. Londrina: IAPAR, 2000. CD-ROM.
- Da MATTA, F. M. Ecophysiological constraints on the production of shaded and unshaded coffee: a review. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 86, p. 99-114, 2004a.
- Da MATTA, F. M. Fisiologia do cafeeiro em sistemas arborizados. In: **Arborização de cafezais no Brasil**. Vitória da Conquista: Edições Uesb, 2004b. p. 87-118.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPq, 1999.
- FARIAS, J. R. B.; BERGAMASCHI, H.; MARTINS, S. R.; BERLATO, M. A. Efeito da cobertura plástica de estufa sobre a radiação solar. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 1, n. 1, p. 31-36, 1993.
- FERRAZ, E. C. **Estudo sobre o momento em que a geada danifica as folhas do cafeeiro**. 1968. 59p. Tese. (Doutorado em Agronomia) - Universidade de São Paulo, Piracicaba.
- FRANCO, C. M. **Influence of temperature on growth of coffee plant**. New York: IBEC Research Institute, 1958.
- JARAMILLO, C. et al. Desenvolvimento reprodutivo e produção de cafeeiros sob níveis de sombreamento e adubação. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 3., 2003, Porto Seguro. **Resumos...** Porto Seguro: EMBRAPA, 2003. p. 285-286.
- KUMAR, D. Some aspects of plant-water-nutrient relationship in *Coffea arabica* L. **Kenya Coffee**, Nairobi, v. 43, n. 510, p. 9-47, 1979.
- LARCHER, W. **Ecologia vegetal**. São Paulo: RiMa, 2000. 531 p.
- LEAL, C. A. **Avaliação de espécies florestais para arborização de cafeeiros no norte do Paraná: efeitos na produtividade e na proteção contra geadas de radiação**. 2004. 115 p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- MANETTI FILHO, J.; CARAMORI, P. H. Desenvolvimento de uma câmara para simulação de temperaturas baixas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 21, n. 10, p. 1005-1008, 1986.
- MATIELLO, J. B. **Gosto do meu cafezal**. Rio de Janeiro: MM Produções Gráficas, 1997. 262 p.
- MATIELLO, J. B. et al. Arborização com grevilea, em variados espaçamentos, no controle às geadas, em cafezais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIRAS, 20., 1994, Guarapari. **Trabalhos apresentados...** MARA/Procafé, Guarapari, 1994, p. 4-5.
- MES, M. G. Studies on the flowering of *Coffea arabica* L. III - Various phenomena associated with the dormancy of coffee flower buds. **Portugaliae Acta Biologica**, Lisboa, n. 5, p. 25-44, 1957.
- MIGUEL, A. E. et al. Efeitos da arborização de cafezal com *Grevillea robusta* nas temperaturas do ar e na umidade do solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIRAS, 21., 1995, Caxambu. **Trabalhos apresentados...** MARA/Procafé Caxambu, 1995. p. 55-57.
- MORAIS, H. **Efeito do sombreamento de cafeeiros (*Coffea arabica* L.) com gandu (*Cajanus cajan* (L) Millsp.) no norte do Paraná**. 2003. 118 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual de Londrina, Londrina.
- MORAIS, H et al. Microclimatic characterization and productivity of coffee plants grown under shade of pigeonpea in Southern Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 5, p. 763-770, 2006.
- MORAIS, H. et al. Avaliação de recipientes e coberturas de mudas de cafeeiros para proteção contra baixas temperaturas. **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 26, n. 4, p. 401-406, 2004.
- MUSCHLER, R. G. Sombra o sol para un cafetal sostenible: un nuevo enfoque de una vieja discusión. In: SIMPÓSIO LATINOAMERICANO DE CAFICULTURA, 18., 1997, San José Costa Rica. **Anais...** San José, 1997. p. 471-476.

NATARAJ, T.; SUBRAMANIAN, S. Effect of shade and exposure in the incidence of Brown-eye-spot of coffee. **Indian Coffee**, Bangalore, n. 39, v. 7/8, p. 179-180, 1975.

PEZZOPANE, J. R. M.; GALLO, P. B.; ORTOLANI, A. A. caracterização microclimática em cultivo consorciado de café arábica. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 11, n. 2, p. 293-302, 2003.

ROBLEDO, F.; VICENTE, L. M. **Aplicacion de los plasticos em la agricultura**. Madrid: Mund-prensa, 1988. 573 p.

RODRIGUEZ, L. A. et al. Niveles óptimos de radiación solar y su relación com el crecimiento vegetativo, desarrollo foliar y la productividad del caféto (*Coffea arabica* L.). **Cultivos Tropicales**, v. 20, n. 4, p. 45-49, 1999.

SENTELHAS, P. C.; BORSATTO, R. S.; MINAMI, K. Transmissividade da radiação solar em estufas cobertas com filmes de PVC azul e transparente. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 7, n. 2, p.157-162, 1999.

SILVA, M. A. A.; GALVANI, E.; ESCOBEDO, J. F. Avaliação de elementos meteorológicos durante a ocorrência de geada em cultivo de pimentão, nas condições de ambiente protegido e campo. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 12, n. 1, p. 35-41, 2004.

THORNTHWAITE, C.W.; MATHER, J.R. **The water balance**. Publications in Climatology. New Jersey: Drexel Institute of Technology, 104 p. 1955.

YOUNG, A. M. **The chocolate tree: a natural history of cacao**. Washington, D.C.: Smithsonian Institution Press, 1994. 200 p.