

# CAPÍTULO 7

## Crescimento e Produtividade do Cafeeiro sob Diferentes Níveis de Sombreamento com Seringueira

*Aureny Maria Pereira Lunz  
Marcos Silveira Bernardes  
Ciro Abbud Righi*

### 1. Introdução

A cultura do cafeeiro ocupa papel de elevada importância na agricultura e na economia brasileira. O café é uma importante commodity agrícola de exportação no mundo e, dentre os países produtores, o Brasil ocupa posição de destaque, sendo o maior produtor e exportador mundial. Contudo, é um produto bastante vulnerável às flutuações de preço no mercado (CAIXETA, 2001; FNP, 2004). Neste sentido, a diversificação da produção é uma importante estratégia para manter o equilíbrio econômico da propriedade, e os sistemas agroflorestais podem ser uma alternativa.

O cafeeiro pode ser conduzido a pleno sol ou sombreado. No continente africano, seu local de origem, é encontrado como vegetação de sub-bosque de florestas tropicais, onde cresce sob constante sombreamento. Nos países da América Latina, seu cultivo em associação com diversas espécies arbóreas sombreadoras é uma prática que tem se mostrado promissora. No Brasil, é cultivado predominantemente a pleno sol, sendo o melhoramento genético voltado para a adaptação da planta a essas condições. No entanto, sob esse sistema de cultivo, apresenta bialidade de produção e menor longevidade.

A associação de cafeeiro com espécies arbóreas, além de diversificar a fonte de renda dos agricultores, por meio do fornecimento de diferentes produtos oriundos das árvores, pode apresentar outros benefícios, tais como maior biodiversidade e conservação ambiental; melhoria do microclima; proteção contra geadas; redução da bialidade de produção; redução da incidência de plantas daninhas; maior estabilidade de produção; redução da incidência de seca dos ponteiros; melhor qualidade do produto final, entre outros (FERNANDES, 1986; BEER, 1987; BEER et al., 1998; MUSCHLER, 1999).

Os maiores benefícios fisiológicos que o cafeeiro recebe das árvores de sombra estão associados à redução do estresse da planta, pela melhoria do

microclima e do solo (BEER, 1987; BEER et al., 1998). Essas modificações microclimáticas interferem no desempenho do cafeeiro, alterando as trocas gasosas, a anatomia, a morfologia, o crescimento e o desenvolvimento reprodutivo, refletindo conseqüentemente em sua produtividade.

O comportamento produtivo do cafeeiro sob sombreamento é muito variável, em função de fatores como condições locais de clima e de solo, cultivar de cafeeiro e espécie sombreadora utilizada, espaçamento e arranjo das espécies, grau de sombreamento e manejo adotado no sistema. Há bastante controvérsia acerca dos efeitos presumivelmente positivos da arborização sobre a produção de café. A literatura é abundante em exemplos demonstrando incrementos, decréscimos ou invariabilidade da produção de café, em função da arborização (FOURNIER, 1988; DAMATTA; RENA, 2002; DAMATTA, 2004). Em condições ambientais adequadas e com a utilização intensiva de insumos, plantios a pleno sol normalmente produzem mais do que os arborizados. Todavia, alguns trabalhos mostram que em regiões marginais à cafeicultura, ou seja, onde as condições de solo e de clima não são plenamente favoráveis à cultura, a prática de sombreamento pode beneficiar o cafeeiro aumentando sua produtividade (BEER et al., 1998; MUSCHLER, 1999).

Cafezais mantidos a pleno sol encontram elevada potencialidade de produção, resultando em maior demanda de nutrientes pela planta e na morte dos ponteiros, diminuindo a longevidade das lavouras (CAMARGO, 1985; FAHL et al., 1994). Em alguns casos, a baixa produtividade de cafeeiros sob sombreamento poderia ser compensada pelo menor investimento em insumos, maior estabilidade da produção, maior número de colheitas, fornecimento de outros produtos oriundos dos demais componentes do sistema, melhoria da qualidade do café e pela maior conservação ambiental. Em cafezais com sombreamento bem planejado e bem conduzido, espera-se que a equivalência de uso da terra seja superior à do monocultivo.

Para Camargo (1990), a prática do sombreamento, em muitos casos, tem falhado no Brasil. Certamente, a causa principal é a condução desacertada, quase sempre com sombreamento muito denso, tornando insuficiente a disponibilidade de radiação solar aos cafeeiros. Conforme Fahl e Carelli (2004), baseados em experimentos conduzidos pelo Instituto Agronômico de Campinas (IAC), sombreamento moderado com espécies arbóreas, em torno de 30 %, favorece os processos fisiológicos, atenua o depauperamento das plantas e não reduz significativamente a produção. Segundo Muschler (1999), a análise concomitante de fatores como objetivos da produção, características ambientais e nível tecnológico disponível dará subsídios para a tomada de decisão sobre o uso ou não de arborização em cafezais.

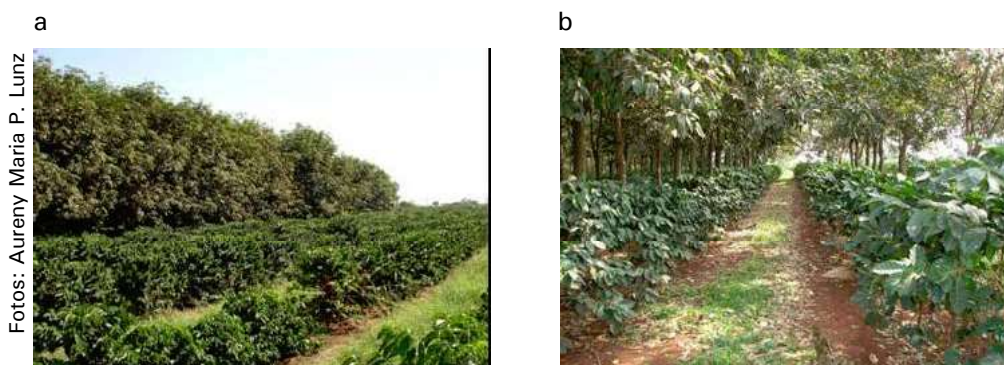
No Brasil e no mundo, diversas pesquisas relacionadas ao sombreamento de cafeeiros têm sido desenvolvidas. Tais estudos envolvem desde espécies arbóreas como seringueira, grevilea, eucalipto, paricá, freijó, teca, eritrina, coqueiro, ingazeiro, pupunheira, bananeira, cajueiro, entre outras, até o uso de sombrites, para simular a redução da radiação solar. Para Camargo (1990), uma prática essencial na condução da cafeicultura sustentada é o emprego da técnica da arborização, ou seja, o seu sombreamento ralo. Dessa forma, ganha relevância o avanço do conhecimento científico nesse tema, o que induz

ao objetivo do presente estudo que é avaliar o efeito de diferentes níveis de radiação solar no crescimento e produtividade do cafeeiro.

## 2. Material e Métodos

A pesquisa foi conduzida no período de janeiro de 2002 a março de 2005, no Campo Experimental do Departamento de Produção Vegetal da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (Esalq/USP) em Piracicaba-SP (22°42'30" S, 47°38'00" W – altitude 550 m). De acordo com a classificação de Koppen o clima local é mesotérmico Cwa, com verão chuvoso e inverno seco. O solo da área é classificado como Nitossolo Vermelho Eutroférico, Latossólico, textura argilosa, A moderado, com declividade de até 1,5%.

O experimento foi composto de seringueira do clone PB 235, plantada em dezembro de 1991, no espaçamento de 8,0 x 2,5 m e cafeeiro cv. Obatã IAC 1669-20, plantado em janeiro de 2002, no espaçamento de 3,4 x 0,9 m. Os cafeeiros foram plantados sob diferentes condições de radiação solar, no sub-bosque do seringal, em interface com as árvores de seringueira e em monocultivo (pleno sol) (Fig. 1).



Fotos: Aurenny Maria P. Lunz

**Fig. 1.** Vista parcial da interface seringueira-cafeeiro (a) e dos cafeeiros no interior do seringal (b).

O manejo das culturas foi conduzido conforme as recomendações técnicas para cada espécie, sendo o cafeeiro irrigado por gotejamento. A radiação solar disponível aos cafeeiros foi mensurada com tubos solarímetros (TS-UM-3, Eijkelkamp), instalados acima das copas dos cafeeiros e conectados a uma estação automática de coleta de dados (Delta-T Device Inc.).

Os tratamentos foram constituídos por um gradiente de luminosidade de 25%, 30%, 35%, 40%, 45%, 80%, 90%, 95%, 98%, 99% e 100%, formado por linhas de cafeeiros plantados a diferentes distâncias das árvores de seringueira, tanto dentro como em interface com o seringal e em monocultivo (pleno sol). O delineamento experimental utilizado foi de blocos casualizados, com 11 tratamentos e 4 repetições. Foram analisadas variáveis relativas ao crescimento e produtividade do cafeeiro.

## 2.1. Crescimento do Cafeeiro

A análise de crescimento dos cafeeiros foi efetuada aos 38 meses após o plantio, em parcelas constituídas por 6 plantas, sendo analisadas as seguintes variáveis: diâmetro do caule, altura da planta, altura inicial da copa, diâmetro da copa e área foliar total.

O diâmetro do caule foi medido a 5 cm do solo, utilizando-se um paquímetro, e o da copa foi avaliado com uma régua graduada, colocada transversalmente aos ramos ortotrópicos em dois sentidos (linha e entrelinha), medindo-se a distância entre o primeiro par de folhas presentes nos ramos plagiotrópicos opostos. A altura dos cafeeiros foi determinada com uma régua graduada, colocada paralelamente ao caule da planta, medindo-se a altura a partir do solo até a gema apical do ramo ortotrópico. A altura inicial da copa também foi medida com uma régua graduada, colocada paralelamente ao caule da planta, medindo-se a altura a partir do solo da planta até o ponto de inserção do ramo plagiotrópico mais baixo. A área foliar total de cada planta foi obtida utilizando-se um método não destrutivo, conforme a equação a seguir:

$$AFT = N \times Fm$$

Onde:

N = número de folhas da planta

Fm = área da folha média de cada planta

## 2.2. Modificações Morfofisiológicas no Cafeeiro

As modificações morfofisiológicas avaliadas foram tamanho da folha e área foliar específica. O tamanho da folha foi determinado pelo produto do seu comprimento por sua maior largura, multiplicando-se por um fator de correção K (0,6862). Esse fator foi calculado por meio da correlação linear entre a área de 100 folhas, mensurada com o integrador de área foliar – Li-3100 (Li-COR Inc) –, e o produto do comprimento e da largura dessas folhas. A área foliar específica foi determinada pela relação entre área foliar e massa seca da folha.

## 2.3. Produção do Cafeeiro

Quando os cafeeiros estavam com aproximadamente 2 anos e meio, realizou-se a primeira colheita. Efetuaram-se duas avaliações relativas à produtividade, referentes às safras dos anos 2004 e 2005. Para avaliar a produção, foi utilizada uma amostra de seis plantas por parcela. A colheita foi efetuada manualmente, sendo os frutos derrichados no pano e colocados para secar ao sol, até atingir umidade em torno de 11%, obtendo-se o café coco, que em seguida foi beneficiado. A produtividade foi determinada por meio da massa, em quilogramas, de café produzido por parcela (café coco e beneficiado), sendo os dados posteriormente transformados em quilogramas por planta.

Determinou-se também o rendimento, obtido pela razão entre o peso do café beneficiado e o do café coco, e o índice de bienalidade de produção, que objetiva medir a intensidade dos ciclos bienais, indicando a diferença de

produção da planta de um ano para o outro. Esse dado foi obtido pela razão entre a produtividade da safra atual (ano em curso) e a anterior.

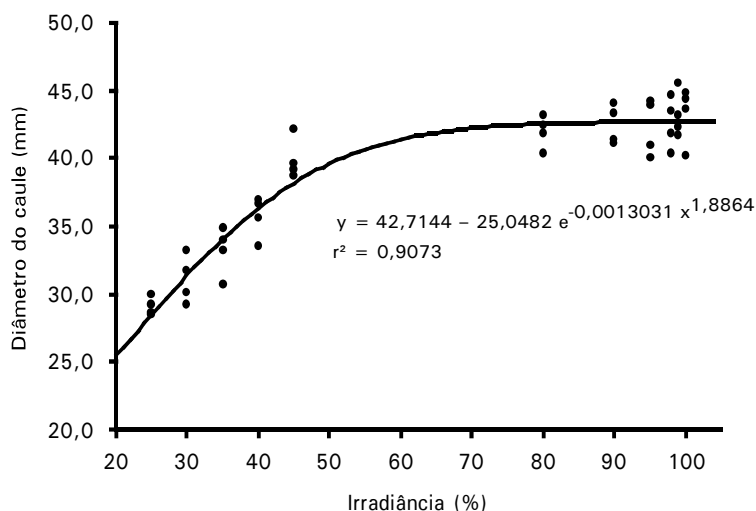
Realizou-se inicialmente uma análise exploratória dos dados para verificação da normalidade e homogeneidade de suas variâncias. Como estes satisfaziam os pressupostos básicos para análise estatística paramétrica, procedeu-se à análise de variância ao nível de 5% de probabilidade, utilizando-se o programa estatístico The SAS System for Windows versão 8.0. Posteriormente, efetuou-se a análise de regressão para as variáveis que apresentaram resultado significativo, aplicando-se modelos matemáticos que melhor se ajustavam aos dados, utilizando o programa Curve Expert versão 1.38.

### 3. Resultados e Discussão

#### 3.1. Crescimento do Cafeeiro

Com exceção das variáveis altura da planta e diâmetro da copa houve efeito significativo ( $p < 0,01$ ) da disponibilidade de irradiância sobre as demais variáveis.

A regressão exponencial entre a porcentagem de irradiância disponível e o diâmetro basal (Fig. 2) demonstra a estreita relação entre essas duas variáveis, com uma tendência assintótica dada pelo expoente negativo. Tais resultados discordam dos observados por Rodriguez et al. (1999), que estudando o crescimento de cafeeiros em Cuba, sob diferentes níveis de irradiância (70%, 85% e 100%), encontraram um nível ótimo de radiação para o diâmetro do caule a 85%.



**Fig. 2.** Diâmetro do caule do cafeeiro, aos 38 meses após o plantio, em função da irradiância disponível, em Piracicaba, SP.

A altura média das plantas foi de 145,53 cm, estando de acordo com os estudos realizados por Carelli et al. (2002); Fahl et al. (1994) e Salgado (2004). No entanto, esse resultado discorda de Carelli et al. (1999), que observaram menor crescimento, em altura, em mudas de cafeeiros com excesso de sombreamento (30% de radiação solar) e não detectaram diferença significativa entre as plantas a pleno sol e com 50% de sombreamento. A ausência de efeito do sombreamento na altura dos cafeeiros pode ser devida a sua origem de sub-bosque. Mesmo sendo cultivado predominantemente a pleno sol em alguns países, o cafeeiro é considerado como uma espécie de sombra facultativa. No entanto, ressalta-se que apesar das plantas terem atingido altura similar em todos os tratamentos, observou-se um maior comprimento dos internódios do ramo ortotrópico nos tratamentos com maior sombreamento, o que demonstra um leve estiolamento das plantas, mas não o suficiente para sobrepor a altura dos cafeeiros sob maior irradiância.

De acordo com Taiz e Zeiger (2004) e Majerowicz e Peres (2004), as plantas que alongam o caule, em resposta ao sombreamento, fazem-no como forma de evitar a baixa irradiância. O sombreamento induz as plantas de sol a alocarem uma maior parte de seus recursos para crescer em altura, por meio do alongamento dos entrenós, o que não ocorre com a maioria das plantas tipicamente de sombra, as quais normalmente já crescem em ambientes sombreados. Como apresentam pouco ou nenhum estiolamento, parece haver relação sistemática entre o crescimento controlado pelo fitocromo e o habitat da espécie. Tais resultados indicam o envolvimento do fitocromo na percepção da sombra. Para uma planta de sol, existe um claro valor adaptativo em alocar seus recursos em direção a um crescimento mais rápido em extensão (estiolamento), quando ela é sombreada por outra planta. Desse modo, ela pode aumentar suas chances de crescer acima do dossel e adquirir uma maior porção de radiação fotossinteticamente ativa não filtrada.

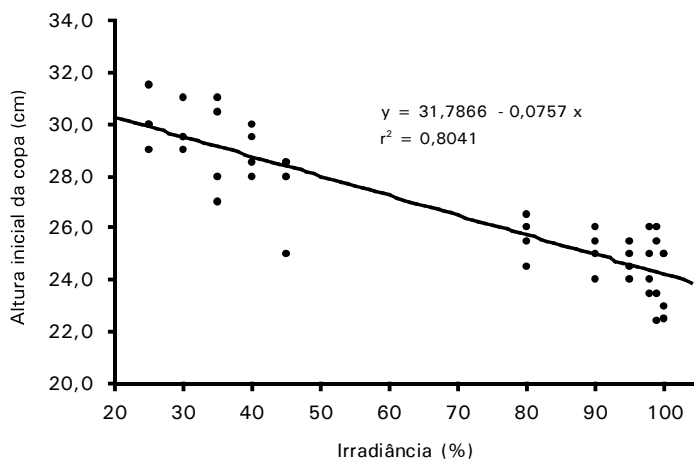
Houve um decréscimo linear na altura inicial da copa dos cafeeiros com o aumento da radiação solar (Fig. 3). Com o crescimento da planta, aumenta o auto-sombreamento provocado pelas folhas e ramos da copa do cafeeiro. Assim, as folhas localizadas nos ramos inferiores passam a receber radiação abaixo do seu ponto de compensação de luz, sendo segundo Hopkins (1995), descartadas pela planta. Em seguida, esses ramos também são eliminados, aumentando a altura inicial da copa. Este fato ocorre com maior intensidade nos cafeeiros com menor disponibilidade de radiação, do que nas plantas sob radiação plena, uma vez que nestas últimas chega maior quantidade de radiação na parte inferior da copa.

Diante desses resultados e uma vez que não ocorreu diferença significativa na variável altura das plantas, conclui-se que houve um achatamento da copa à medida que a disponibilidade de radiação diminuiu, como também foi observado por Righi (2005).

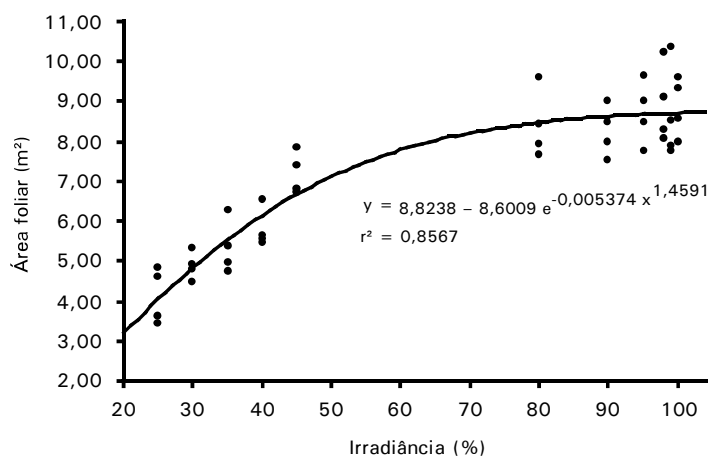
O diâmetro médio da copa dos cafeeiros foi de 144,53 cm, resultado semelhante aos encontrados por Salgado (2004). No entanto, Carelli et al. (2002), trabalhando com essa mesma cultivar (Obatã), verificaram diâmetro da copa menor a pleno sol. Ressalta-se que nos cafeeiros com menor disponibilidade de radiação, o número de nós dos ramos plagiotrópicos primários foi menor e o

comprimento dos internódios desses ramos maior, o que evidencia uma maior alongação dos ramos plagiotrópicos nessas plantas.

A área foliar total aumentou com a disponibilidade de irradiância (Fig. 4), representando um incremento de 153% nos cafeeiros a pleno sol. Uma vez que a área foliar individual reduziu com o aumento de disponibilidade de radiação solar (conforme será discutido posteriormente), conclui-se que houve um acréscimo no número de folhas por planta. O aumento da área foliar específica (AFE) e da área foliar individual, nos cafeeiros mais sombreados, não foi suficiente para equiparar a área foliar total dos cafeeiros sob maior disponibilidade de radiação.

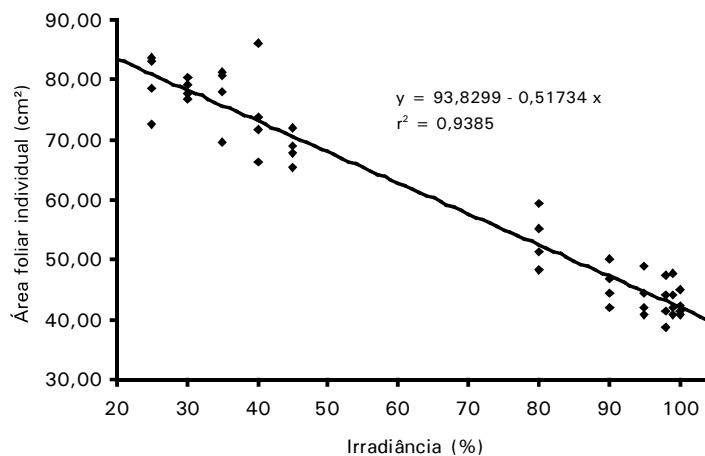


**Fig. 3.** Altura inicial da copa do cafeeiro, aos 38 meses após o plantio, em função da irradiância disponível, em Piracicaba, SP.



**Fig. 4.** Área foliar total do cafeeiro, aos 38 meses após o plantio, em função da irradiância disponível, em Piracicaba, SP.

A área foliar individual, dada pela superfície de uma folha, foi inversamente proporcional à irradiância disponível (Fig. 5 e 6). O tamanho médio da folha variou de 42,1 a 80,9 cm<sup>2</sup>, estando de acordo com os resultados reportados por Voltan et al. (1992); Fahl et al. (1994); Carelli et al. (2002) e Moraes et al. (2003).



**Fig. 5.** Área foliar individual do cafeeiro, aos 38 meses após o plantio, em função da irradiância disponível, em Piracicaba, SP.

O aumento do tamanho das folhas nos cafeeiros sob menor disponibilidade de radiação é, possivelmente, um mecanismo de alocação de energia para o crescimento de estruturas da planta. Esse mecanismo otimiza a captura de energia solar nessas condições, como forma de garantir a sobrevivência da planta.

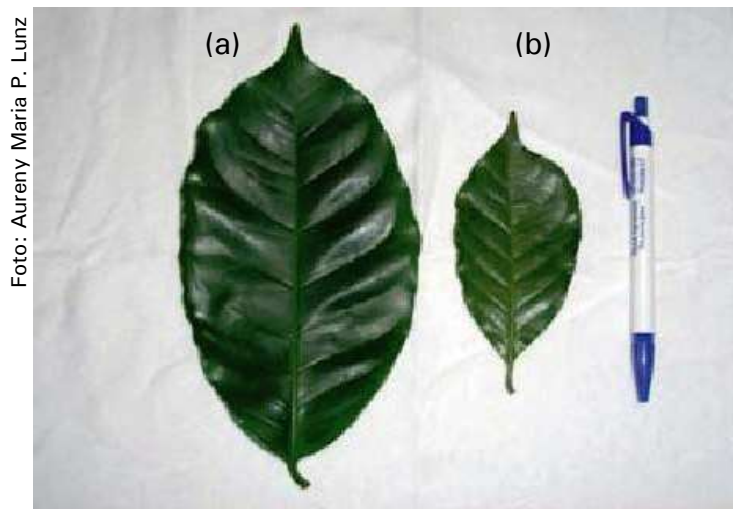
Houve uma redução significativa ( $p < 0,01$ ) da área foliar específica do cafeeiro, com o aumento da disponibilidade de radiação solar, que variou de 0,0124 a 0,0198 m<sup>2</sup>.g<sup>-1</sup>, representando um decréscimo de 37% (Fig. 7).

Os resultados observados para a AFE demonstram a ampla plasticidade fenotípica do cafeeiro para se adaptar a uma amplitude de regimes luminosos, conforme já demonstrado por alguns autores: (CARVAJAL, 1984; FAHL et al., 1994; VOLTAN et al., 1992; CARELLI et al., 1999; RIGHI et al., 2002; MORAIS et al., 2003; RIGHI, 2005), que observaram menor área foliar específica ou maior massa foliar específica, em várias cultivares de cafeeiro, com o aumento da irradiância disponível. De modo oposto, Carelli et al. (2002) não constataram efeito significativo do nível de sombreamento na massa foliar específica na cultivar Obatã, apesar de terem verificado folhas de maior tamanho com o aumento do sombreamento.

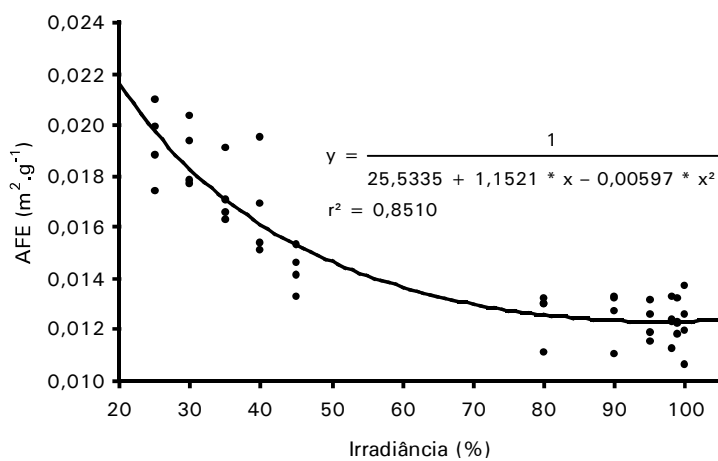
O aumento da AFE nas plantas, à medida que se reduz a radiação solar disponível, proporciona maior interceptação de radiação, visto que as folhas são mais finas e maiores. Por outro lado, sua redução nos cafeeiros sob maior irradiância protege as plantas do excesso de radiação, devido à maior espessura das folhas, denotando o auto-ajustamento das plantas em função da irradiância



disponível. Segundo Larcher (2000) e Taiz e Zeiger (2004), as plantas, em geral, apresentam capacidade de adaptações durante seu desenvolvimento, em função da quantidade e da qualidade de radiação local dominante e, entre essas alterações, estão mudanças na anatomia foliar. A adaptação da planta conduz a uma otimização do desempenho, sob ajustes que não buscam a mais alta capacidade, mas sim, a melhor relação entre ganhos e riscos.



**Fig. 6.** Comparação entre folhas de cafeeiros, aos 38 meses após o plantio, sob 25% de irradiância (a) e a pleno sol (b), em Piracicaba, SP.

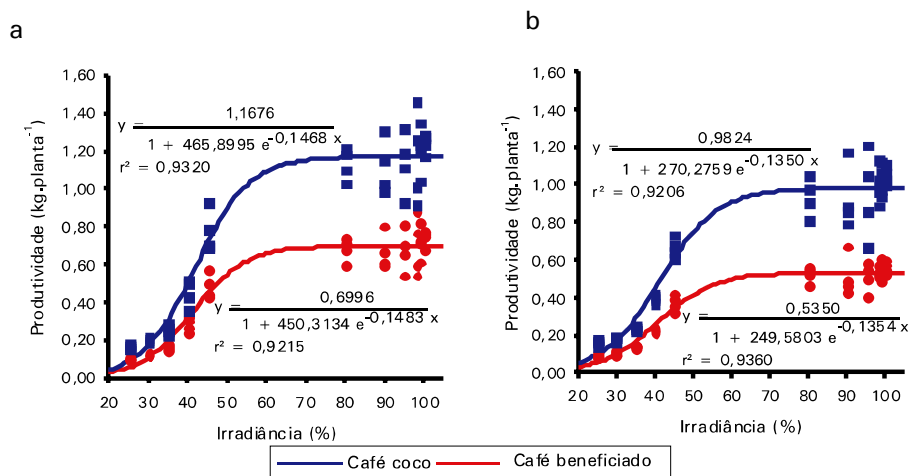


**Fig. 7.** Área foliar específica do cafeeiro, aos 38 meses após o plantio, em função da irradiância disponível, em Piracicaba, SP.

### 3.2. Produção do Cafeeiro

Houve efeito significativo ( $p < 0,01$ ) da disponibilidade de irradiância na produtividade do cafeeiro, nas duas safras avaliadas. Na primeira safra (ano 2004), a produção de café beneficiado cresceu consideravelmente com o aumento da disponibilidade de irradiância até um nível de aproximadamente 50% de radiação, sendo menor seu aumento, a partir desse ponto. Com aproximadamente 60% de luminosidade a produtividade correspondeu a 95% da obtida a pleno sol e estabilizou-se em torno de 70% de irradiância. A segunda safra (ano 2005) apresentou comportamento similar, no entanto com ligeiro aumento nos níveis de radiação para a inflexão e a estabilização da curva de produtividade, com valores respectivos de 55% e 75% (Fig. 8).

A produtividade de café coco e beneficiado, estimada pela curva de regressão, variou, respectivamente, de 0,091 a 1,167 e 0,058 a 0,699  $\text{kg.planta}^{-1}$ , na primeira safra (Fig. 8a) e 0,096 a 0,982 e 0,057 a 0,535  $\text{kg.planta}^{-1}$  na segunda safra (Fig. 8b). Sob menor disponibilidade de radiação (25%), ou seja, maior sombreamento, a produtividade de café beneficiado correspondeu a 8% e 11% da produtividade obtida a pleno sol, na primeira e segunda safras, respectivamente.



**Fig. 8.** Produtividade de café coco e beneficiado, (a) safra 2004 e (b) safra 2005, em função da irradiância disponível, em Piracicaba, SP.

Os resultados obtidos estão de acordo com os reportados por Soto-Pinto et al. (2000) e Freitas (2000), que observaram queda na produtividade da cultura sob sombreamento mais intenso e produtividade semelhante em cafeeiros sob sombreamento moderado e a pleno sol. No entanto, diferem, em parte, dos resultados encontrados por Carelli et al. (2002), que trabalharam com a mesma cultivar utilizada nesta pesquisa. Estes autores, utilizando sombrites para reduzir a radiação solar, observaram acréscimo significativo na produção acumulada de 2 anos, com o aumento do nível de irradiância.

Mesmo em condições moderadas de sombreamento (70% de radiação solar), a produção dos cafeeiros foi menor do que a pleno sol, fato que não ocorreu no experimento em estudo.

A produção do cafeeiro depende de vários fatores, entre eles, a disponibilidade de luz, de água e de nutrientes. Uma vez que os cafeeiros foram irrigados e o solo mantido próximo à capacidade de campo, acredita-se que a água não foi o fator limitante à produção. É possível que a disponibilidade de luz e nutrientes tenha sido a maior limitação. Apesar da ausência de monitoramento do estado nutricional dos cafeeiros, nenhum sintoma de deficiência de nutrientes foi observado, levando a crer que a baixa disponibilidade de radiação solar tenha sido a principal responsável pela menor produtividade dessas plantas.

O excesso de sombreamento provavelmente alterou a atividade fotossintética e metabólica dessas plantas, bem como a emissão de gemas floríferas, além de reduzir o número de nós por ramo; esses eventos, grandemente afetados pela intensidade de radiação solar, influenciam diretamente na produção. Segundo Cannell (1976), o mais importante componente da produção é o número de nós formados, assim como o número de frutos presentes em cada nó.

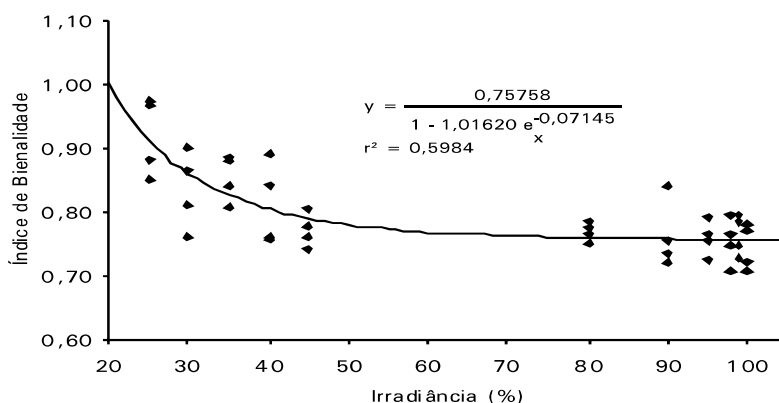
Castillo e Lopez (1966) observaram que a diferenciação floral no cafeeiro e, conseqüentemente, a formação de frutos dependem da radiação solar que os nós potencialmente floríferos recebem. Esses autores constataram que a redução da disponibilidade de radiação às plantas promoveu um decréscimo no número de nós por ramo, no número de nós com flores, no número de inflorescências por nó e no número de flores por nó e por inflorescência.

Para Kumar (1978), a menor diferenciação de gemas florais em cafeeiros deve-se ao aumento do nível endógeno de giberelinas, que tem efeito inibidor na formação de gemas florais. O referido autor observou elevadas concentrações desse hormônio em cafeeiros sob alta densidade de plantas, ou seja, sob intenso auto-sombreamento, reduzindo a iniciação floral e a capacidade de produção das plantas. No entanto, a produtividade aumentou em 30%-35% com a aplicação de CCC (cloreto 2-cloroetil-trimetilamônio), retardador do crescimento, que restringe a biossíntese de giberelinas. Conforme Kumar & Tieszen (1980), são exigidos diferentes níveis de ácido giberélico ao longo do processo de desenvolvimento reprodutivo do cafeeiro. A diferenciação das inflorescências é favorecida por uma baixa concentração de giberelinas, enquanto um nível intermediário é necessário para o desenvolvimento de gemas florais e um nível endógeno ainda maior é indispensável para garantir a antese normal das gemas florais.

Campanha et al. (2004), avaliando cafeeiros a pleno sol e em sistemas agroflorestais, também observaram menor número de nós produtivos, de botões florais, de retenção de frutos e de produtividade nas plantas sob sombreamento, atribuindo o fato à grande densidade de árvores no sistema, que promoveu uma baixa disponibilidade de radiação aos cafeeiros, influenciando na produção e no armazenamento de carboidratos para formação de nós, e na produção e manutenção de frutos.

Houve uma redução significativa ( $p < 0,01$ ) no índice de bienalidade de produção, calculado pela razão entre a produtividade da safra de 2005 e a de

2004, com o aumento da disponibilidade de radiação solar (Fig. 9). Os referidos índices foram de 0,91, 0,86, 0,83, 0,80 e 0,79 para os tratamentos com 25%, 30%, 35%, 40%, 45% de radiação, respectivamente. Houve uma estabilização dos valores desses índices em 0,76 com a radiação em torno de 65%.



**Fig. 9.** Índice de bienalidade de produção do cafeeiro, referente às safras 2004 e 2005, em função da irradiância disponível, em Piracicaba, SP.

Os resultados acima indicam que, nos níveis de sombreamento mais intensos, houve uma redução da bienalidade de produção do cafeeiro; no entanto, sob níveis moderados de sombreamento e a pleno sol, esse efeito foi aumentado. Ressalta-se que os dados obtidos neste trabalho referem-se apenas a 2 anos de produção, sendo necessárias mais safras para uma melhor avaliação do seu comportamento bienal.

A redução dos ciclos bienais de produção do cafeeiro, que reflete numa maior estabilidade de produção, é uma das vantagens promovidas pelo sombreamento da cultura, sendo relatada por alguns autores (BEER, 1987; BEER et al., 1998; MUSCHLER, 2001; FERNANDES, 1986). Conforme Cannell (1985), o cafeeiro produz poucas flores em seu ambiente nativo sombreado e, portanto, não desenvolveu, ao longo de sua evolução, mecanismos para manter a carga de frutos balanceada com a disponibilidade de carboidratos e minerais. Sob pleno sol a planta produz muitas flores, tendo um grande carregamento de frutos, que constituem dreno preferencial. Essa alocação prioritária de carboidratos para os frutos, em detrimento da parte vegetativa da planta, promove um reduzido crescimento dos ramos, diminuindo a produção da planta no ano seguinte, uma vez que o cafeeiro leva 2 anos para completar seu ciclo fenológico de produção.

O rendimento fornecido pela relação entre café beneficiado e em coco foi significativo ( $P < 0,01$ ) apenas na safra de 2004. Houve uma redução linear do rendimento com o aumento da disponibilidade de irradiância, que variou de 59% a 64% (Fig. 10). Na safra seguinte o rendimento médio foi de 56%. O maior rendimento na primeira safra, nos tratamentos com menor disponibilidade de irradiância, provavelmente deveu-se à melhor formação dos frutos, em função das adequadas condições microclimáticas nesses ambientes, que originou grãos

maiores e com menor quantidade de defeitos. No entanto, não se sabe por que tal comportamento não se repetiu na segunda safra.

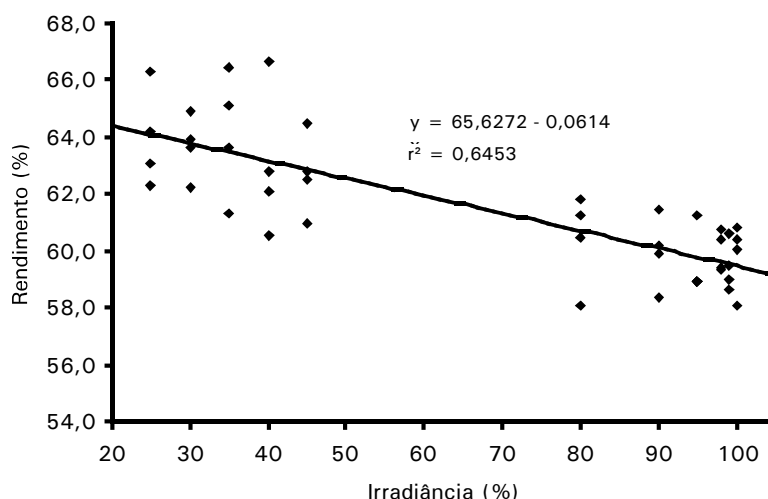


Fig. 10. Rendimento do café da safra 2004, em função da irradiância disponível, em Piracicaba, SP.

#### 4. Conclusões

O crescimento e a produtividade do cafeeiro foram modificados pela disponibilidade de irradiância.

Algumas variáveis de crescimento do cafeeiro que indicam ganho de massa seca, como diâmetro do caule e área foliar total, aumentaram com o incremento de irradiância. As plantas sob menor disponibilidade de radiação solar apresentaram modificações morfofisiológicas, como aumento do tamanho da folha e da AFE, capazes de garantir sua sobrevivência em tais condições; contudo, apresentando crescimento reduzido.

A produtividade de café beneficiado aumentou com o incremento de radiação solar, modificando-se pouco a partir de aproximadamente 60% de irradiância e estabilizando-se em torno de 70%. Sob sombreamento muito intenso (25% de irradiância), a produtividade média de café beneficiado, nos 2 anos, foi muito baixa, correspondendo a 9% da obtida a pleno sol.

Para as condições estudadas, demonstrou-se que um sombreamento moderado, na faixa de 20% a 30% (70% a 80% de irradiância), pode ser adequado para a cultura do cafeeiro, pois não prejudica seu crescimento e produtividade.

## 5. Referências

- BEER, J. W. Advantages, disadvantages and desirable characteristics of shade trees for coffee, cacao and tea. **Agroforestry Systems**, Dordrecht, v. 5, p. 3-13, 1987.
- BEER, J. W.; MUSCHLER, R.; KASS, D.; SOMARRIBA, E. Shade management in coffee and cacao plantations. **Agroforestry Systems**, Dordrecht, v. 38, p. 139-164, 1998.
- CAIXETA, G. Z. T. Gerenciamento da cafeicultura em época de crise. In: ZAMBOLIM, L. **Tecnologias de produção de café com qualidade**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2001. p. 1-24.
- CAMARGO, A. P. de. A arborização como meio de reduzir as adversidades climáticas e promover a sustentação da cafeicultura. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 16., 1990, Espírito Santo do Pinhal. **Trabalhos apresentados...** Rio de Janeiro: IBC, 1990. p. 6-7.
- CAMARGO, P. C. O clima e a cafeicultura no Brasil. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 11, n. 126, p. 13-26, 1985.
- CAMPANHA, M. M.; SANTOS, R. H. S.; FREITAS, G. B. de; MARTINEZ, H. E. P.; GARCIA, S. L. R.; FINGER, F. L. Growth and yield of coffee plants in agroforestry and monoculture systems in Minas Gerais, Brasil. **Agroforestry Systems**, Dordrecht, v. 63, p. 75-82, 2004.
- CANNELL, M. G. R. Crop physiological aspects of coffee bean yield: a review. **Kenya Coffee**, Nairobi, v. 41, n. 484, p. 245-253, July 1976.
- CANNELL, M. G. R. Physiology of the coffee crop. In: CLIFFORD, M. N.; WILLSON, K. C. (Ed.). **Coffee: botany, biochemistry and production of beans and beverage**. New York: Croom Helm, 1985. p. 108-134.
- CARELLI, M. L. C.; FAHL, J. I.; ALFONSI, E. L. Efeitos de níveis de sombreamento no crescimento e produtividade do cafeeiro. In: SIMPÓSIO DE PESQUISAS DOS CAFÉS DO BRASIL, 2., 2001, Vitória. **Anais...** Brasília, DF: Embrapa Café, 2002. v. 2, p. 16.
- CARELLI, M. L. C.; FAHL, J. I.; TRIVELIN, P. C. O.; VOLTAN, R. B. Q. Carbon isotope discrimination and gas exchange in coffee species grown under different irradiance regimes. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Campinas, v. 11, n. 2, p. 63-68, 1999.
- CARVAJAL, J. F. **Cafeto: cultivo y fertilización**. Berna: Instituto Internacional de la Potassa, 1984. 254 p.
- CASTILHO, Z. J.; LOPES, A. R. Nota sobre el efecto de la intensidad de la luz en la floración del cafeto. **Cenicafé**, Chichina, n. 17, p. 51-60, 1966.
- DaMATTa, F. M. Ecophysiological constraints on the production of shaded and unshaded coffee: a review. **Fields Crops Research**, Amsterdam, v. 86, p. 99-114, 2004.

DaMATTA, F. M.; RENA, A. B. Ecofisiologia de cafezais sombreados e a pleno sol. In: ZAMBOLIM, L. (Ed.) **O estado da arte de tecnologias na produção de café**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2002. cap. 3, p. 93-136.

FAHL, J. I; CARELLI, M. L. C. Sombreamento na fisiologia e produtividade do cafeeiro. **News Cafeicultura**, Patrocínio, 3 set. 2004. Disponível em: <<http://www.newscafeicultura.com.br/noticias.htm>>. Acesso em: 12 dez. 2005.

FAHL, J. I; CARELLI, M. L. C.; VEJA, J.; MAGALHÃES, A. C. Nitrogen and irradiance levels affecting net photosynthesis and growth of young coffee plants (*Coffea arabica* L.). **The Journal of Horticultural Science**, London, v. 69, n. 1, p. 161-169, 1994.

FERNANDES, D. R. Manejo do cafezal. In: RENA, A. B.; MALAVOLTA, E.; ROCHA, M.; YAMADA, T. (Ed.). **Cultura do cafeeiro: fatores que afetam a produtividade**. Piracicaba: Associação Brasileira para a Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1986. p. 275-301.

FNP. **Agrianual 2005**. São Paulo, 2004. 496 p.

FOURNIER, L. A. El cultivo del cafeto (*Coffea arabica* L.) al sol o a la sombra: un enfoque agronómico y ecofisiológico. **Agronomía Costarricense**, San José, v. 12, n. 1, p. 131-146, 1988.

FREITAS, R. B. **Avaliações ecofisiológicas de cafeeiros (*Coffea arabica* L.) e seringueira (*Hevea brasiliensis* Mull Arg.) em diferentes sistemas de cultivo**. 2000. 57 f. Dissertação (Mestrado em Fisiologia Vegetal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2000.

HOPKINS, W. G. **Introduction to plant physiology**. New York: John Willey, 1995. 464 p.

KUMAR, D. Investigation into some physiological aspects of high density plantings of coffee (*Coffea arabica* L.). **Kenya Coffee**, Nairobi, v. 43, n. 510. p. 263-272, Sep. 1978.

KUMAR, D.; TIESZEN, L. L. Photosynthesis in *Coffea arabica* L.: I. effects of light and temperature. **Experimental Agriculture**, Cambridge, v. 16, n. 1, p. 13-19, 1980.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. Tradução de C.H.B.A. Prado. São Carlos: Rima, 2000. 532 p.

MAJEROWICKS, N.; PERES, L. E. P. Fotomorfogênese em plantas. In: KERBAUY, G. B. (Ed.). **Fisiologia vegetal**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2004. cap. 19, p. 421-438.

MORAIS, H.; CARAMORI, P. H.; RIBEIRO, A. M. A.; GOMES, J. C. Caracterização microclimática de *Coffea arabica* sombreado com guandu (*Cajanus cajan*) e cultivado a pleno sol. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIEIRAS, 29., 2003, Araxá. **Trabalhos apresentados...** Rio de Janeiro: MAPA/PROCAFÉ, 2003. p. 91-92.

MUSCHLER, R. G. **Árboles em cafetales**. Turrialba: CATIE; Proyecto Agroforestal CATIE/GTZ, 1999. 139 p. (CATIE. Materiales de Enseñanza, 45).

MUSCHLER, R. G. Shade improves coffee quality in a sub-optimal coffee-zone of Costa Rica. **Agroforestry Systems**, Dordrecht, v. 85, p. 131-139, 2001.

RIGHI, C. A. **Avaliação ecofisiológica do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) em sistema agroflorestal e em monocultivo**. 2005. 101 p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

RIGHI, C. A.; BERNARDES, M. S.; TERAMOTO, E. R.; FAVARIN, J. L. Adaptação do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) ao sombreamento em sistema agroflorestal com seringueira. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SISTEMAS AGROFLORESTAIS, 4., 2002, Ilhéus. **Anais eletrônicos...** Ilhéus: CEPLAC; UESC, 2002. 1 CD-ROM.

RODRIGUEZ, L. A.; OROZCO, V.; VELASCO, E.; MEDINA, R.; VERDECIA, J.; FONSECA, I. Niveles óptimos de radiación solar y su relación con el crecimiento vegetativo, desarrollo foliar y la productividad del cafeto (*Coffea arabica* L.). **Cultivos Tropicales**, La Habana, v. 20, n. 4, p. 45-49, 1999.

SALGADO, B. G. **Caracterização de sistemas agroflorestais com cafeeiro em Lavras – MG**. 2004. 115 f. Dissertação (Mestrado em Florestas de Produção) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2004.

SOTO-PINTO, L.; PERFECTO, I.; CASTILLO-HERNANDEZ, J.; CABALLERO-NIETO, J. Shade effect on coffee production at the northern Tzeltal zone of the state of Chiapas, México. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, Amsterdam, v. 80, p. 61-69, 2000.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. Tradução de E.R. Santarém et al. 3.ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. 720 p.

VOLTAN, R. B. Q.; FAHL, J. I.; CARELLI, M. L. C. Variação na anatomia foliar de cafeeiros submetidos a diferentes intensidade luminosas. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Londrina, v. 4, n. 2, p. 99-105, 1992.