

CATALINA JARAMILLO BOTERO

**RESPOSTA DE CAFEEIROS AO SOMBREAMENTO E À
DINÂMICA DE SERRAPILHEIRA EM CONDIÇÕES DE
SISTEMA AGROFLORESTAL**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS - BRASIL
2007

CATALINA JARAMILLO BOTERO

**RESPOSTA DE CAFEEIROS AO SOMBREAMENTO E À
DINÂMICA DE SERRAPILHEIRA EM CONDIÇÕES DE
SISTEMA AGROFLORESTAL**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

APROVADA: 18 de julho de 2007.

Prof^a. Hermínia Emília Prieto Martinez
(Co-Orientadora)

Prof. Paulo Roberto Cecon
(Co-Orientador)

Prof. Sylvana Naomi Matsumoto

Prof. Marcos Silveira Bernardes

Prof. Ricardo Henrique Silva Santos
(Orientador)

AGRADECIMENTOS

A Ricardo, Hermínia e Paulo Cecon, pela dedicação e ajuda ao longo de todos estes anos.

A Irene e Paulo De Marco, pelas boas idéias.

Aos funcionários da estação experimental Agronomia – Aeroporto. Em especial a Ricardo, Francisco, Toninho e Geraldo, pela colaboração em todas as fases do experimento.

A Ilson, por ter permitido realizar parte da pesquisa na sua propriedade, por ter aberto as portas da sua casa tão generosamente e pela sua colaboração incondicional.

Aos estagiários que participaram da pesquisa, especialmente a Claudia, Thelma, Merci e Flavinha.

A Luisa, Argeu, Lucia, Luciene e Alba, pela companhia e apoio.

A Cadinho pela paciência.

A CNPq pelo financiamento.

À Universidade Federal de Viçosa pela oportunidade.

BIOGRAFIA

CATALINA JARAMILLO BOTERO, filha de Santiago Jaramillo Betancur e Ligia Botero de Jaramillo, nasceu em Bogotá, Colômbia, no dia 02 de novembro de 1973.

Graduou-se em Agronomia, em dezembro de 1997, pela Universidade Nacional de Colombia. Em 2001 iniciou o curso de Mestrado em Fitotecnia na Universidade Federal de Viçosa, MG. Defendeu a dissertação o dia 27 de fevereiro de 2003. Iniciou o curso de Doutorado em Fitotecnia, na Universidade Federal de Viçosa. Defendeu a tese o dia 18 de julho de 2007.

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE TABELAS	vi
LISTA DE FIGURAS	vii
RESUMO	xi
ABSTRACT	xiii
INTRODUÇÃO GERAL	1
 Produção e desenvolvimento vegetativo de cafeeiros sob simulação de sombreamento e disponibilidade de nutrientes	
Resumo	3
1. Introdução	3
2. Material e métodos	5
2.1 Características do local	5
2.2 Tratamentos e delineamento experimental	6
2.3 Avaliações	7
2.3.1 Radiação Fotossinteticamente Ativa, precipitação e temperatura	7
2.3.2 Crescimento, desenvolvimento vegetativo e produção das plantas de café	7
2.4 Análise dos dados	9
3. Resultados	10
4. Discussão	21
5. Conclusões	27
Referências	27
 Interação entre a densidade e a distribuição espacial do componente arbóreo, características abióticas e produção de plantas de café em sistema agroflorestal	
Resumo	31
1. Introdução	32
2. Material e métodos	33
2.1 Características do local	33
2.2 Determinação dos componentes ambientais	34
2.3 Componente arbóreo e a cultura	36
2.4 Procedimento estatístico	37
3. Resultados	38
4. Discussão	44
5. Conclusões	46
Referências	46

Deposição de serrapilheira de <i>Senna macranthera</i> , efeito sobre a produção de plantas de café em sistema agroflorestal e dinâmica de liberação de nutrientes	
Resumo	49
1. Introdução	50
2. Material e métodos	51
2.1 Características do local	51
2.2 Produção de serrapilheira e características do sistema agroflorestal	51
2.3 Caracterização e decomposição do material	53
2.4 Análise dos dados	54
3. Resultados	55
3.1 Massa de serrapilheira e efeito sobre a produção de café	55
3.2 Características e decomposição do material	57
4. Discussão	60
4.1 Massa de serrapilheira e efeito sobre a produção de café	60
4.2 Características e decomposição do material	61
5. Conclusões	66
Referências	66
CONSIDERAÇÕES FINAIS	70

LISTA DE TABELAS

		Página
	Primeiro Artigo	
1	Doses de fertilizante e calcário aplicadas nas plantas a pleno sol com 100% da recomendação de adubação entre 2001 e 2007.	6
2	Resumo da análise de variância das variáveis número de nós totais no primeiro (NN1) (2001 - 2003) e no segundo período (NN2) (2004 – 2006) e produção por planta (PPLA) (2002-2007) em cafeeiros (<i>Coffea arabica</i>) sob níveis de sombra e adubação.	10
3	Equações de regressão ajustadas para o número de nós totais no primeiro (NN1) e segundo período (NN2) em função do tempo (T) em anos e no segundo período a área foliar de ramo (AFR2), em função do tempo (t) em meses, em cafeeiros (<i>Coffea arabica</i>) sob níveis de sombra.	10
4	Tabela 4. Valores médios de produção de café em côco por planta (g), peso de um fruto (g), número de frutos por planta, comprimento de entrenó (cm), área foliar por fruto (cm ²) e área foliar máxima (março) e mínima (setembro) por ramo (cm ²) em cafeeiros (<i>Coffea arabica</i>) sob níveis de sombra e adubação entre 2001 e 2004 .	12
5	Equações de regressão ajustadas das variáveis produção por planta (g café em côco por planta), peso de um fruto (g), frutos por planta, tamanho de fruto, número de nós totais, tamanho de entrenó (cm), área foliar específica (cm ² g ⁻¹), tamanho de fruto (% peneira 17/18) e renda (%) em função da sombra (0, 16, 32 e 48%) em cafeeiros (<i>Coffea arabica</i>) entre 2005 e 2007.	13
6	Resumo da análise de variância a variável área foliar de ramo no primeiro (AFR 1) (2001-2003) e segundo período de avaliação (AFR 2) (2004-2006) em cafeeiros (<i>Coffea arabica</i>) sob níveis de sombra e adubação.	14
7	Equações de regressão ajustadas para a área foliar máxima e mínima por ramo (cm ²), número de folhas, área foliar máxima e mínima de folha (cm ²) (março e setembro respectivamente); área foliar por fruto (cm ²), área foliar específica (cm ² g ⁻¹) em 2005; em 2006 para o número de ramos secos, em função da porcentagem de sombreamento (0, 16, 32 e 48%), em cafeeiros (<i>Coffea arabica</i>).	15

- 8 Equações de regressão ajustadas das variáveis porcentagem de frutos em estado de cereja em abril, maio, junho e julho em função de níveis de sombra (0, 16, 32 e 48%) em cafeeiros (*Coffea arabica*) em 2005. 19

Segundo Artigo

- 1 Densidade relativa, Diâmetro a 1,30m e altura (DAP) em sistema agroflorestal com café. Araponga, MG. 36
- 2 Efeito do número de indivíduos de *Schizolobium parahyba*, *Senna macranthera*, *Joannesia princeps*, *Anandenanthera columbrina* e *Croton floribundus* sobre a produção de café, em intervalos de distância de 0 e 3m, 3,1 a 5m e 5,1 a 7m. 39

Terceiro Artigo

- 1 Composição química inicial de folhas frescas de *Senna macranthera* (médias e desvio padrão) (n=5). 57
- 2 Tempo de vida médio ($T_{0,50}$) e modelos ajustados que descrevem a perda de massa e a liberação de nutrientes de folhas de *Senna macranthera*. Araponga, MG 58

LISTA DE FIGURAS

		Página
	Primeiro artigo	
1	Número de nós totais em função do tempo (anos) para cada nível de sombra (0, 16, 32, 48%) em plantas de café (<i>Coffea arabica</i>) no primeiro período (2001 – 2003) e no segundo período (2004 – 2006) de avaliação. Viçosa, MG.	11
2	Valores médios de área foliar por ramo (cm ²) observados no primeiro período (2001-2003) e regressões ajustadas no segundo período de avaliação (2004-2006), para cada nível de sombra (0, 16, 32, 48%), em função do tempo (t), em cafeeiros (<i>Coffea arabica</i>). Viçosa, MG.	14
3	Área foliar máxima e mínima por ramo (cm ²) (março e setembro respectivamente) em função da porcentagem de sombra em plantas de café (<i>Coffea arabica</i>) (2005). Viçosa, MG.	15
4	Número de folhas máximo (NF max) e mínimo (NF min) por ramo e área foliar por folha máxima (AFF max) e mínima (AFF min) em função da porcentagem de sombra em plantas de café (<i>Coffea arabica</i>) (2005).	16
5	Valores médios de produção por planta (g café em côco) para cada nível de sombra (0, 16, 32, 48%) em plantas de café (<i>Coffea arabica</i>) (2002-2007). Viçosa MG.	16
6	Produção por planta (g café em côco) em função da porcentagem de sombra em cafeeiros (<i>Coffea arabica</i>) (2005-2007). Viçosa MG. Viçosa, MG.	17
7	Número de frutos por planta e peso do fruto (g café em coco) em função da porcentagem de sombra em cafeeiros (<i>Coffea arabica</i>) (2005). Viçosa, MG.	18
8	Porcentagem de frutos com tamanho de peneira 17/18 e renda (%) de frutos em função da porcentagem de sombra em cafeeiros (<i>Coffea arabica</i>)(2005). Viçosa, MG.	19
9	Porcentagem de frutos em estágio de cereja nos meses de abril, maio, junho e julho de 2005 em plantas de café (<i>Coffea arabica</i>) submetidas a níveis de sombra (0, 16, 32, 48%). Viçosa, MG.	20
10	Área foliar de ramo por fruto (cm ²) (2005) e número de ponteiros secos (0-8) (2006) em função da porcentagem de sombra, em plantas de café	20

(*Coffea arabica*). Viçosa, MG.

Segundo Artigo

1	Localização de espécies arbóreas e plantas de café (1-40) na área do experimento. Araponga, MG.	35
2	Distribuição das faixas de distância estabelecidas ao redor de cada planta de café marcada. Araponga, MG.	37
3	Efeito do número de indivíduos de <i>Schizolobium parahyba</i> , localizados de 0 a 3m dos cafeeiros, sobre a produção de café (2005-2006) e sobre as condições ambientais do sistema agroflorestral. Setas contínuas (→) representam efeito significativo e setas pontilhadas (⇝) ausência de efeito. Araponga, MG.	40
4	Efeito do número de indivíduos de <i>Schizolobium parahyba</i> , localizados de 3,1 a 5m dos cafeeiros, sobre a produção de café (2005-2006) e sobre as condições ambientais do sistema agroflorestral. Setas contínuas (→) representam efeito significativo e setas pontilhadas (⇝) ausência de efeito ($p < 0,05$). Araponga, MG.	41
5	Efeito do número de indivíduos de <i>Schizolobium parahyba</i> , localizados de 5,1 a 7m dos cafeeiros, sobre a produção de café (2005-2006) e sobre as condições ambientais do sistema agroflorestral. Setas contínuas (→) representam efeito significativo e setas pontilhadas (⇝) ausência de efeito. Araponga, MG.	41
6	Efeito do número de indivíduos de <i>Senna macranthera</i> , localizados de 0 a 3m dos cafeeiros, sobre a produção de café (2005-2006) e sobre as condições ambientais do sistema agroflorestral. Setas contínuas (→) representam efeito significativo e setas pontilhadas (⇝) ausência de efeito. Araponga, MG.	42
7	Efeito do número de indivíduos <i>Senna macranthera</i> , localizados de 3,1 a 5m dos cafeeiros, sobre a produção de café (2005-2006) e sobre as condições ambientais do sistema agroflorestral. Setas contínuas (→) representam efeito significativo e setas pontilhadas (⇝) ausência de efeito. Araponga, MG.	43
8	Efeito do número de indivíduos de <i>Senna macranthera</i> , localizados de 5,1 a 7m dos cafeeiros, sobre a produção de café (2005-2006) e sobre as condições ambientais do sistema agroflorestral. Setas contínuas (→) representam efeito significativo e setas pontilhadas (⇝) ausência de efeito. Araponga, MG.	43

Terceiro Artigo

- 1 Distribuição da queda de serapilheira *Senna macranthera* e de café *Coffea arabica* ao longo do período de estudo (2005 – 2006). 55
- 2 Efeito do número de indivíduos de *S.macranthera* localizados de 0-3 e 3,1 e 5 metros das plantas de café sobre, a serapilheira depositada em cada estação do ano, o teor de N e K no solo, a umidade do solo, a sombra e a produção de café (média 2005-2006). Setas contínuas (→) representam efeito significativo e setas pontilhadas (⇝) ausência de efeito. São apresentados unicamente os coeficientes de análises de trilha significativos. 56
- 3 Massa, nitrogênio e potássio remanescente (%) em folhas de *Senna macranthera* em decomposição, em função dos dias. Araponga, MG 58
- 4 Variação da precipitação e a temperatura da região durante o período de realização do experimento de decomposição (9 agosto 2005 – 28 setembro 2005). Araponga, MG 59
- 5 Porcentagem de fósforo, cálcio e magnésio contido nas folhas de *Senna macranthera* em decomposição, ao longo de 50 dias. Araponga, MG. 59

RESUMO

JARAMILLO BOTERO, Catalina, D.Sc, Universidade Federal de Viçosa, julho de 2007. **Resposta de cafeeiros ao sombreamento e à dinâmica de serrapilheira em condições de sistema agroflorestal.** Orientador: Ricardo Henrique Silva Santos. Co-Orientadores: Herminia Emilia Prieto Martinez e Paulo Roberto Cecon.

O presente trabalho de pesquisa teve como objetivo avaliar o comportamento das plantas de café sob condições de competição por luz e nutrientes e avaliar o efeito da presença das árvores sobre os principais fatores microclimáticos e de solos, que ajudam a explicar as causas do comportamento das plantas de café em sistema agroflorestais. No trabalho também foi explorado o aporte potencial de nutrientes das árvores de *Senna macranthera* através da serrapilheira e da deposição de folhas frescas. Para isto foram realizados três experimentos, um realizado em estação experimental e dois, na propriedade de um agricultor familiar da região. No primeiro experimento foram simuladas condições de competição por radiação fotossinteticamente ativa e nutrientes, de um sistema agroflorestal durante seis anos, de 2001 a 2006. Foram realizadas avaliações do crescimento e da área foliar, no final da época de maior e menor crescimento dos cafeeiros durante o ano. A produção por planta foi avaliada durante os meses da safra. Ao longo dos anos não foi observado efeito dos níveis de adubação sobre nenhuma variável e crescimento, desenvolvimento vegetativo ou produção. As características de crescimento e desenvolvimento vegetativo apresentaram efeito dos níveis de sombreamento a partir de 2004. Entre 2004 e 2006 foi observado menor número de nós totais e maior área foliar de ramo e com o aumento do sombreamento. Também foi observada maior retenção de folhas durante a época fria e seca do ano, com o aumento do sombreamento. A bienalidade na produção das plantas de café diminuiu

com o aumento do sombreamento. Nos anos de alta produção foi observada diminuição na produção por planta com o aumento do sombreamento. As plantas sombreadas apresentaram menor número de frutos e mais pesados, que as plantas a pleno sol. As plantas de café sofreram modificações morfológicas associadas à adaptação às condições de baixa radiação. Apesar destas modificações houve queda na produção nas plantas sombreadas quando comparadas com as plantas a pleno sol. Nos experimentos realizados na área do agricultor foram marcadas quarenta plantas de café e determinados círculos concêntricos ao redor de cada cafeeiro em intervalos de distância de 0 a 3, 3 a 5 e 5 a 7m. Em cada intervalo de distância foram contados e identificados o número de indivíduos arbóreos de cada espécie. Em cada planta marcada foi avaliada a produção de 2005 e 2006. Na área ao redor de cada cafeeiro foram monitoradas a queda de serrapilheira, a incidência de RFA, a umidade do solo e o teor de P e K do solo. Foi observada diminuição da produção das plantas de café com o incremento do número de indivíduos de *Schizolobium parahyba* (Guapuruvu) presentes entre 0 e 7 metros de distância dos cafeeiros. O aumento do número de indivíduos de *Senna macranthera* (Fedegoso) entre 3 e 5m causou o incremento na produção das plantas de café, através do aumento da umidade do solo durante a época seca, causado pelo sombreamento. Os resultados indicam que nas condições locais a disponibilidade de água durante a época seca é determinante para a produção. *S. macranthera* depositou 12 Kg de MS indivíduo⁻¹ ano⁻¹ sendo que o período de maior queda de folhas foi entre novembro e fevereiro, quando o café demanda grandes quantidades de nutrientes. Houve efeito do aumento do número de indivíduos de *S. macranthera* sobre a quantidade de serrapilheira. A serrapilheira depositada no outono (0 a 3 m) e na primavera (0 a 5 m) causou aumento na produção média dos cafeeiros. As folhas frescas de *S. macranthera* apresentaram alto teor de N e P assim como de lignina e polifenóis. Apesar disto a metade da massa foi decomposta aos 25 dias e a metade do nitrogênio liberado em 29 dias. A chuva, a baixa relação C:N do material e o fato do material ter sido colocado em contato direto com o solo favoreceram a decomposição e a liberação de N e K. *S. macranthera* não apresentou evidências de fixação biológica de nitrogênio na época seca.

ABSTRACT

JARAMILLO BOTERO, Catalina, D.Sc, Universidade Federal de Viçosa, July, 2007.
Shade coffee plants behavior and litter fall dynamics under agroforestry systems conditions. Adviser: Ricardo Henrique Silva Santos. Co-Adviser: Herminia Emilia Prieto Martinez and Paulo Roberto Cecon.

The research aimed to study coffee plants behavior under conditions of competition for light and nutrients, and to assess the effect of tree presence on microclimatic and soil factors that help to explain coffee plant behavior in agroforestry systems. This work also explores the potential contribution of nutrients from *Senna macranthera* either through litter fall or green leaves deposition. Three experiments were carried out, one in experimental station and two in a coffee small farm. The first experiment consists in simulating the competition for photosynthetically active radiation (PAR) and nutrient in an agroforestry system along six years from 2001 to 2006. The plant development and leaf area were measured twice in a year, at the end of the highest and of the lowest period of growth. Coffee production was measured during the months of harvest. There was no effect of the fertilizer levels on the measured variables. Both development and production characteristics showed effect of the shade level since 2004. Between 2004 and 2006 the plants presented higher number of nodes and leaf area with the increase of the shading. There was also more leaf retention during the cold and dry season with shade increase. Shaded plants presented less biannual production than plants under full sun. On the years of high yield, the coffee production decreased with the shade increase. Shaded plants had less fruits and heavier fruits than plants under full sun. Shade plants suffered morphological modifications related to the adaptation to the low radiation conditions. Despite these modifications, shade plants were less productive than plants under full sun. On the experiments carried out on the coffee grower farm, forty coffee plants were marked and were determinate concentric circles around each coffee plant

from 0 to 3 m, 3 to 5 m and 5 to 7 m. In each circle band the tree individuals were counted and identified. Around each coffee plant the litter fall, PAR, soil moisture and P and K soil content were monitored. Coffee yield decreased with the increase of the number of individuals of *Schizolobium parahyba* (Guapuruvu) between 0 to 7 m from the coffee plants. The increase of the number of individuals of *Senna macranthera* (Fedegoso) between 3 to 5 m increased coffee yield through the enhance of soil moisture due to the shade. Under the local conditions the water availability during the dry season influenced the coffee yield. *S. macranthera* deposited 12 Kg of dry mass of leaves per individual per year. The period of highest leaf fall was between November and February, when the coffee plants demand for nutrients is higher. The increase of the number of *S. macranthera* individuals causes an increase of the litter fall mass. The litter fall deposited in the autumn (0 to 3 m) and in the spring (0 to 5 m) increased the coffee yield. Fresh leaves of *S. macranthera* have shown high N, P, lignin and polyphenol content. Nevertheless, a half of the mass was decomposed after 25 days and a half of the N was released after 29 days. The rain, the low rate C:N of the material and the fact that the residue was in direct contact with soil improved the decomposition and N and K release. Data of ^{15}N dilution suggests that *S. macranthera* did not present biological fixation of N, at least in the dry season.

1. INTRODUÇÃO GERAL

A produção de café em sistema agroflorestal oferece diversas vantagens aos agricultores interessados na produção de serviços ambientais como o aumento da biodiversidade local, diminuição da erosão, melhoramento da infiltração de água e regulação de extremos climáticos. Também pode resultar economicamente interessante pela geração de produtos adicionais ao café e pela possibilidade de explorar mercados alternativos, que oferecem preços mais altos e estáveis para cafés plantados em sistemas que favorecem a conservação da biodiversidade. Apesar dos benefícios que a implantação de árvores junto com os cafeeiros pode trazer, a grande maioria dos produtores no Brasil opta pela produção de café a pleno sol, devido à redução na produção observada nos cafeeiros. A associação com árvores é geralmente recomendada em regiões sub-ótimas para a produção dos cafeeiros, uma vez que o sombreamento pode amenizar as condições climáticas extremas de radiação, temperatura e baixa umidade. No Brasil os sistemas agroflorestais com café têm sido recomendados em regiões com presença de geadas, devido à diminuição do impacto destas sobre a lavoura e em regiões com solos propensos à erosão e pobres em nutrientes, como estratégia para a recuperação de solos degradados. A queda na produção observada nos cafeeiros sombreados, a falta de tecnologias apropriadas às condições locais e o desconhecimento das espécies arbóreas mais adequadas para consorciar com os cafeeiros, são algumas das razões pelas que este sistema ainda é pouco difundido. Os sistemas mais simples, constituídos por monocultura de sombra, apresentam os maiores níveis de produção. Na América Latina este sistemas são geralmente usadas árvores leguminosas (*Inga* spp. ou

Erythrina spp.), que sofrem podas drásticas, ou árvores madeiráveis (*Eucalyptus* spp. ou *Grevillea robusta*) usadas como fonte adicional de renda. Nestes sistemas os cafeeiros geralmente são adensados e são usados fertilizantes e mão-de-obra de forma intensiva. No outro extremo se encontram os sistemas rústicos, nos quais a mata nativa é enriquecida com plantas de café e a intensidade de manejo é mínima. Entre estes extremos se encontram todo tipo de sistemas agroflorestais, com diferentes combinações de espécies, espaçamento entre os cafeeiros e densidade de árvores. Somam-se a isso as diferenças de clima e solos entre regiões. Esta grande variação explica a dificuldade que os pesquisadores encontram quando tentam uma explicação geral para o comportamento produtivo dos cafeeiros. De forma geral se observa que, na medida em que existe mais intervenção no sistema, a produtividade dos cafeeiros aumenta e alguns serviços ambientais como o incremento da biodiversidade, diminuem. A escolha do tipo de sistema por parte do produtor depende do objetivo, das condições locais e das oportunidades do mercado.

Na Zona da Mata de Minas Gerais, onde foram desenvolvidos os experimentos relatados neste documento, os agricultores iniciaram as experiências com sistema agroflorestal com café em 1994. Devido à baixa produção de café, os sistemas implantados inicialmente foram modificados. Atualmente os sistemas têm menor número de espécies arbóreas e em menor adensamento que os iniciais, mas ainda apresentam baixa produtividade. Devido a este comportamento surgiu o interesse de conhecer melhor os fatores que causam a baixa produção do café em sistemas agroflorestais na região. Para isto foi conduzido um experimento de 2001 até 2007 em estação experimental e dois experimentos na propriedade de um agricultor da região. O objetivo geral das pesquisas foi avaliar o comportamento das plantas de café sob condições de competição de recursos e avaliar o efeito da presença das árvores sobre os principais fatores microclimáticos e de solos que ajudam a explicar esse comportamento. No trabalho também é explorado o aporte potencial de nutrientes das árvores a través da serrapilheira e da deposição de massa fresca.

Produção e desenvolvimento vegetativo de cafeeiros sob simulação de sombreamento e de disponibilidade de nutrientes

Resumo

O objetivo do experimento foi avaliar o efeito de níveis de radiação e nutrientes sobre a produção, o crescimento e o desenvolvimento vegetativo de cafeeiros (*Coffea arabica* L.). As plantas de café foram cobertas, na parte superior e lateral, por telas sombreadoras (0, 16, 32 e 48% de bloqueio da RFA) e adubadas com níveis de fertilizante (100, 80, 60 e 40% da recomendação). Não houve efeito da adubação sobre nenhuma das características avaliadas ao longo do tempo (2001-2007). Plantas a pleno sol apresentaram comportamento bianual com produção média de 44,1 sc ha⁻¹ café beneficiado. A bianualidade na produção foi atenuada na medida em que aumentou o nível de sombreamento. As plantas sob 48% de sombra apresentaram produção média de 34,9 sc ha⁻¹. Em 2005 e 2007, anos de alta produção, houve efeito negativo do sombreamento sobre a produção, e em 2006, ano de baixa produção, foi observado efeito positivo. Em 2005 as plantas sombreadas apresentaram menor número de frutos, frutos mais pesados e de maior tamanho, maior percentagem de renda e maturação mais tardia que as plantas a pleno sol. As plantas a pleno sol e sombreadas apresentaram o mesmo número de nós produtivos. A partir de 2004 foi observada maior área foliar na medida em que aumentou o sombreamento. Em 2005 as plantas sombreadas apresentaram folhas maiores e mais finas, maior área foliar por fruto e menor índice de ramos secos que as plantas a pleno sol. A menor formação de frutos nas plantas sombreadas foi compensado pela formação de frutos maiores permitindo que a produtividade se encontre dentro da média para a região. Quedas extremas de produção nos cafeeiros em sistema agroflorestal podem estar mais relacionadas com o conjunto de práticas de manejo e não exclusivamente com o sombreamento.

1. Introdução

Nos sistemas agroflorestais é freqüente observar relações de competição por recursos entre as diferentes espécies. As condições climáticas, as características intrínsecas das espécies envolvidas e as práticas de manejo afetam o tipo de relação desenvolvida entre as espécies. A escolha adequada do número de espécies e a densidade de árvores plantadas, o tipo de espécie arbórea associada, a adubação e a

utilização de podas, ajudam a reduzir a intensidade da competição entre a cultura e as árvores.

Uma das culturas mais comumente plantada sob sistema agroflorestal na América Central, no norte da América do Sul e em algumas regiões do nordeste do Brasil é o café devido principalmente a sua grande adaptação às condições de sombreamento.

As complexas interações entre as espécies e os componentes abióticos nos sistemas agroflorestais fazem com que, nos resultados das pesquisas, o comportamento das plantas de café apresente resultados extremamente variados. Na Costa Rica, sob condições climáticas de alta precipitação e solos com alto teor de matéria orgânica, as plantas de café apresentaram produção similar à de outros cafeeiros da região, sem ser observado efeito da competição entre as árvores de *Eucaliptus deglupta* Blume (Kamarere) e a cultura (Schaller et al., 2003). No entanto no estado de Ceará no Brasil, plantas de café consorciadas com *Inga ingoides* (Rich.) Willd. e bananeira apresentaram baixa produção, possivelmente pela alta densidade de plantio das bananeiras, o alto índice de sombreamento e a baixa fertilidade dos solos (Severino e Oliveira, 1999). Os autores relatam grande dificuldade na identificação de uma única causa, devido à interação entre fatores observada no sistema.

Apesar das plantas de café apresentarem grande capacidade de adaptação às condições de baixa luminosidade, a competição luz é uma das principais limitantes a produção em cafeeiros em sistema agroflorestal. Existem pesquisas nas quais as plantas de café, quando sombreadas, apresentam drástica queda na produção, de 0,488 kg de café beneficiado por planta para 0,128 kg (Campanha et al., 2004). Outras pesquisas relatam a ausência de diferenças entre os sistemas, com observado por Peeters et al. (2003) em plantas de café com média de 0,281 kg de café beneficiado por planta ou por Ricci et al. (2006), que observaram produção média de 0,227 – 0,237 kg de café beneficiado por planta. Em alguns casos tem sido observado o incremento na produção dos cafeeiros com o aumento do sombreamento até 38%. A produção se elevou de 0,375 kg para 0,750 kg de café beneficiado por planta (Soto-Pinto et al., 2000). Aumento da altura e da área foliar das plantas é frequentemente observado com o aumento do sombreamento (Morais et al., 2003; Ricci et al., 2005). No entanto, na maior parte das pesquisas não é medida a radiação fotossinteticamente ativa incidente sobre as plantas e algumas metodologias confundem sombreamento com cobertura. Os resultados contraditórios e os problemas metodológicos dificultam a interpretação e a extrapolação dos resultados obtidos em diversas regiões.

No presente trabalho de pesquisa foram simuladas as condições de competição por luz e nutrientes de um sistema agroflorestal para estudar o efeito destes fatores sobre os cafeeiros. O trabalho teve como objetivo avaliar o efeito do sombreamento e da disponibilidade de nutrientes sobre a produção, o crescimento e o desenvolvimento vegetativo de cafeeiros.

2. Material e Métodos

2.1 Características do local

O trabalho foi conduzido na área de pesquisa “Agronomia Aeroporto” na Universidade Federal de Viçosa, localizada no município de Viçosa (MG) (20° 45’ Sul e 42° 51’ Oeste; altitude de 693 m). A região apresenta inverno frio e seco e verão quente e chuvoso, com temperatura média (serie de 20 anos) de 19,4 °C (máxima 26,4 °C e mínima 14,8 °C); precipitação média de 1221 mm ano⁻¹ e radiação global média 1416 kJ m⁻² dia⁻¹.

Entre 2001 e 2007 a precipitação média anual foi de 1257 mm (2001 – 2007) temperatura média anual de 20,5 °C a mínima temperatura registrada foi de 4,9°C no mês de agosto de 2004 e a máxima foi 35,8°C em janeiro de 2006. A radiação solar média por hora em 2006 foi de 1716 kJ m⁻² com máxima de 2162 kJ m⁻² em abril e mínima de 1508 em janeiro kJ m⁻² dia⁻¹. As series de dados de precipitação, temperatura e radiação global foram obtidas no Setor de Agrometeorologia do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa.

O solo classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, com declividade de 40% e exposição nordeste apresentou, antes do início do experimento (setembro 2001): pH (H₂O) 5,1; Soma de bases trocáveis 3,84 cmol_c dm⁻³ e capacidade de troca efetiva (t) de 3,94 cmol_c dm⁻³; P e K de 36,4 e 134 mg dm⁻³ respectivamente; Ca 2,5 , Mg 1,0 cmol_c dm⁻³. O teor de alumínio foi 0,1 cmol_c dm⁻³ e H+Al 4,3 cmol_c dm⁻³.

As plantas *Coffea arabica* L., cultivar Catuaí Vermelho (CH 2077-2-5-99), foram plantadas em 1989 e recepdas em 1998. O espaçamento consistiu de 1m entre plantas e 3m entre fileiras, com densidade de 3333 plantas ha⁻¹.

2.2 Tratamentos e delineamento experimental

As plantas de café foram submetidas a quatro níveis de sombra (0%, 16%, 32% e 48% de bloqueio da Radiação Fotossinteticamente Ativa, RFA) e quatro níveis de adubação (100%, 80%, 60% e 40% da dose recomendada para cultivo a pleno sol). Foi seguido o esquema fatorial 4x4, no delineamento em blocos casualizados com 3 repetições. Os blocos foram estabelecidos de forma perpendicular à inclinação do terreno.

Cada parcela, formada por 12 plantas (10 plantas de bordaduras e 2 úteis na parte central da parcela), foi coberta e rodeada com telas sombreadoras, que permitiram o bloqueio da RFA nos níveis anteriormente mencionados. As parcelas foram distribuídas na área experimental, de acordo com a posição do sol ao longo do dia e do ano, evitando a interferência do sombreamento entre as parcelas. A adubação (Tabela 1) foi realizada com base na carga pendente de frutos e na análise de solo das parcelas cultivadas a pleno sol. As sub-amostras de solo foram tomadas, em novembro de cada ano, nas parcelas que se encontravam a pleno sol e sob 100% de adubação e formada uma única amostra composta. A recomendação de calagem foi realizada de acordo com as análises de solo para cada nível de adubação nas parcelas com plantas a pleno sol, segundo o método de elevação de saturação de bases para 60%.

Tabela 1. Estimativa da produtividade (carga pendente) e doses de fertilizante e calcário aplicadas nas parcelas a pleno sol com 100% da recomendação de adubação entre 2001 e 2007.

Ano	Carga pendente	N	P	K	Calcário dolomítico
	estimada				
	sc ha ⁻¹	kg ha ⁻¹			Mg ha ⁻¹
2001 - 2002	0,0	100	0	100	0,25
2002 - 2003	24,3	250	20	190	0,57
2003 - 2004	34,7	220	25	300	0,57
2004 - 2005	66,0	340	20	450	0,65
2005 - 2006	0,0	200	20	150	0,67
2006 - 2007	62,0	340	20	450	0,65

A primeira avaliação de crescimento e desenvolvimento das plantas foi realizada em outubro de 2001, antes da aplicação dos tratamentos. As doses de adubação foram

aplicadas a cada ano, fracionadas em três vezes nos meses de novembro, dezembro e janeiro. As telas sombreadoras foram colocadas em dezembro de 2001.

O controle de plantas espontâneas foi realizado quatro vezes por ano, sendo três deles realizados entre novembro e março. Foram utilizados métodos manuais de controle e em algumas ocasiões foi aplicado herbicida (Glyphosato). A incidência de Ferrugem (*Hemileia vastatrix*) e a infestação de Cochonilha (Coccinelidos) foram controladas no mês de fevereiro. Em caso de necessidade de controle foi aplicado oxiclureto de cobre ou óleo mineral, respectivamente.

2.3. Avaliações

2.3.1 Radiação Fotossinteticamente Ativa, precipitação e temperatura

Os níveis reais de sombra foram determinados pela porcentagem de Radiação Fotossinteticamente Ativa (RFA) bloqueada pela tela sombreadora, medida por meio do Ceptômetro de barra (Sunfleck ceptometer type CEP, Delta-T Devices Ltd, England) sobre a copa dos cafeeiros, no início do experimento. Os valores médios de radiação fotossinteticamente ativa incidente em dias ensolarados foi: 1050 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ em plantas a pleno sol, 882, 714 e 546 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ equivalente a 16, 32 e 48 % de sombreamento.

2.3.2 Crescimento, desenvolvimento vegetativo e produção das plantas de café

O desenvolvimento vegetativo das plantas de café foi avaliado em quatro ramos plagiotrópicos localizados no terço médio ou superior das plantas, orientados em direção norte, sul, leste e oeste. Nos ramos escolhidos foi medido o comprimento do ramo, o número de nós totais, número de nós produtivos, número de folhas (>8 cm), comprimento e largura de folha (>8 cm). Foi determinada a área de cada folha, a partir das dimensões do retângulo circunscrito aos limbos foliares, ajustada pela equação $Y = 0,667 X$, em que: $Y =$ Área estimada da folha (cm^2), $X =$ Área do seu retângulo circunscrito (cm^2), de acordo com o método de Barros et al. (1973), citado por Tavares-Júnior et al. (2002). Foram determinados, a área foliar do ramo multiplicando a área

média das folhas pelo número de folhas por ramo e o comprimento dos entrenós a partir da relação entre o comprimento do ramo e o número de nós totais.

Em 2003, os ramos escolhidos no início do experimento começaram a ocupar o terço inferior da planta. Em setembro deste ano, as observações passaram a ser feitas nos ramos localizados no terço superior da planta. No período compreendido entre setembro de 2003 e setembro de 2004, a avaliação da área foliar por ramo foi substituída pelo índice de área foliar, na procura de um melhor indicador de crescimento das plantas de café. Após esta experiência foi considerado mais apropriado continuar avaliando a área foliar por ramo.

O número de nós totais e a área foliar por ramo foram divididos em dois períodos, o primeiro compreendido entre 2001 e 2003 e o segundo 2004 e 2006. Neste trabalho o número de nós totais no primeiro período é chamado também de NN1, no segundo período NN2, a área foliar de ramo no primeiro período AFR1 e no segundo período AFR2.

Todas as avaliações de crescimento e desenvolvimento vegetativo foram realizadas no final da fase de maior (março) e menor (setembro) crescimento das plantas de café na região de Viçosa, segundo Silva et al. (2004). O crescimento dos cafeeiros foi medido a partir do número de nós totais observados no mês de maior crescimento (março). O desenvolvimento da área foliar do ramo foi determinada semestralmente, com medições realizadas no mês de área foliar máxima (março) e mínima (setembro).

Além das características de crescimento e desenvolvimento vegetativo medidas em todos os anos, em 2005 foi determinada a área foliar específica ($\text{cm}^2 \text{gr}^{-1}$). Para isto foram coletadas, em março, oito folhas do terceiro ou quarto par, localizadas no terço médio da planta. A área foliar por folha foi medida com o medidor de área foliar LICOR 3000® (Licor Inc., Lincon, Nebraska, US) e posteriormente foi determinada a massa seca por folha. Em 2006 foram contados o número de ramos secos, dos oito ramos avaliados por parcela (2 plantas x 4 ramos), para determinar o índice de ramos secos. Em 2007 foi contado o número de ramos plagiotrópicos totais de cada planta. Durante a safra foram colhidos os frutos em estágio de cereja nos meses de maio, junho e julho.

Os frutos colhidos foram pesados e determinada a produção por planta de café fresco. Posteriormente os frutos foram secos no terreiro até atingirem 12 a 13% de

umidade (côco). Uma amostra de frutos em côco foi pesada e contado o número de frutos, para a determinação do peso do fruto (g). A partir da relação entre o peso dos frutos frescos e os frutos em côco, foi calculado o fator de conversão (0,36), para determinar a produção por planta (g café em côco) (PPLA). O número de frutos por planta foi calculado a partir da relação entre a produção por planta e o peso de um fruto.

Foi calculado o índice de bienalidade a través da equação: $(\sqrt{(\text{prod } 2 - \text{prod } 1 / \text{prod } 1)^2} + \sqrt{(\text{prod } 3 - \text{prod } 2 / \text{prod } 2)^2} \dots \sqrt{(\text{prod } n - \text{prod } n-1 / \text{prod } n-1)^2}) / n$, em que : prod X = produção no ano X, n = número de anos, segundo Lunz (2006).

Em 2005 foram tomadas quatro amostras compostas de frutos de plantas sob cada nível de sombreamento. Nestes frutos foi determinada a qualidade da bebida, o tamanho do fruto (peneira 17/18) e a porcentagem de renda (porcentagem do fruto em côco correspondente à semente). Foi determinada a porcentagem de maturação de frutos por mês a partir da relação entre a produção total (g planta⁻¹) de frutos em estágio de cereja durante a safra e o peso dos frutos coletados a cada mês entre maio e julho.

2.4 Análise dos dados

Os dados das variáveis produção por planta e número de nós totais foram interpretados por meio de análise de variância, seguindo o modelo de parcela subdividida, sendo a sub-parcela o tempo em anos (T). Os dados de área foliar de ramo foram interpretados por meio da análise de variância, seguindo o modelo de parcela subdividida sendo a sub-parcela o tempo em meses (t). Os dados foram submetidos a análise de regressão. Posteriormente foi avaliado o efeito dos tratamentos sobre estas variáveis dentro de cada ano. As variáveis peso de fruto, número de frutos por planta, tamanho de entrenó, número de nós produtivos, área foliar por fruto, número de folhas e área foliar de folha foram interpretadas por meio de análises de variância, de forma independente para cada ano. Em 2005, as variáveis número de frutos por planta, tamanho de fruto, porcentagem de renda, porcentagem de frutos cereja em maio, junho e julho e área foliar específica e em 2006, índice de ramos secos foram também analisadas por meio de análise de variância seguido de regressão. Os modelos foram escolhidos baseados na significância dos coeficientes de regressão, utilizando o teste “F”, no coeficiente de determinação (SQ regressão / SQ tratamento) e do fenômeno em estudo.

3. Resultados

O resumo da análise de variância do número de nós totais no primeiro e no segundo período se encontra na Tabela 2. A variável número de nós totais durante o primeiro período foi influenciada pelo tempo. No segundo período, o número de nós totais apresentou efeito unicamente do tempo, da sombra e da interação entre tempo e sombra.

Tabela 2. Resumo da análise de variância das variáveis número de nós totais no primeiro (NN1) (2001 - 2003) e no segundo período (NN2) (2004 – 2006) e produção por planta (PPLA) (2002-2007) em cafeeiros (*Coffea arabica*) sob níveis de sombra e adubação.

F.V	GL	QM		GL	QM
		NN1	NN2		
Bloco	2	707,3	21,3	2	371883
Adubo (A)	3	104,9	22,9	3	297413
Sombra (S)	3	53,9	118,2*	3	1367067*
A x S	9	62,4	16,4	9	547984
Resíduo (a)	30	169,9	18,5	30	397878
Tempo (T)	2	15002,7*	2488,6*	5	71195350*
T x A	6	4,8	22,1	15	124040
T x S	6	73,2	65,3*	15	1070221*
T x S x A	18	18,2	10,1	45	181285
Resíduo (b)	64	62,1	13,2	160	242942
CV % Parcela		42,5	24,4		44,4
CV % Subparcela		25,7	20,7		34,7

* F significativo ao nível de 5% de probabilidade

As equações ajustadas para o comportamento destas variáveis se encontram na Tabela 3.

Tabela 3. Equações de regressão ajustadas para o número de nós totais no primeiro (NN1) e segundo período (NN2) em função do tempo (T) em anos e no segundo período a área foliar de ramo (AFR2), em função do tempo (t) em meses, em cafeeiros (*Coffea arabica*) sob níveis de sombra.

Variável	Equação Ajustada	R ² / r ²
NN1	$\hat{Y} = 4,163 + 17,411 * T$	95,08
NN2		
Sombra (%)		
0	$\hat{Y} = 0,843 + 9,651 * T$	84,17
16	$\hat{Y} = 0,596 + 5,752 * T$	86,74
32	$\hat{Y} = 4,728 + 6,384 * T$	85,39
48	$\hat{Y} = 6,111 + 4,946 * T$	90,14
AFR2		
Sombra (%)		
0	$\hat{Y} = - 1656,7 + 3069,6 t - 1416,9 t^2 + 193,6 * t^3$	0,53
16	$\hat{Y} = - 1338,5 + 2689,4 t - 1263,5 t^2 + 175,5 * t^3$	0,47
32	$\hat{Y} = - 1842,6 + 3632,2 t - 1706,1 t^2 + 236,0 * t^3$	0,67
48	$\hat{Y} = - 2372,3 + 4555,6 t - 2088,9 t^2 + 284,6 * t^3$	0,73

* F significativo ao nível de 5% de probabilidade

O número de nós totais por ramo aumentou rapidamente durante o primeiro período (2001 - 2003), quando as plantas tiveram entre três e seis anos após recepa. No segundo período de avaliação (2004 - 2006), foi observado aumento do número de nós totais com o tempo, sendo este aumento maior nas plantas a pleno sol (Figura 1). O incremento de número de nós entre 2001 e 2003 variou entre 197 – 287% para os níveis de sombreamento de 48 e 0 % respectivamente. Entre 2004 e 2006 o incremento foi de 83,7% para as plantas sob 48% de sombra e 149% para as plantas a pleno sol (0% sombra) (Figura 1).

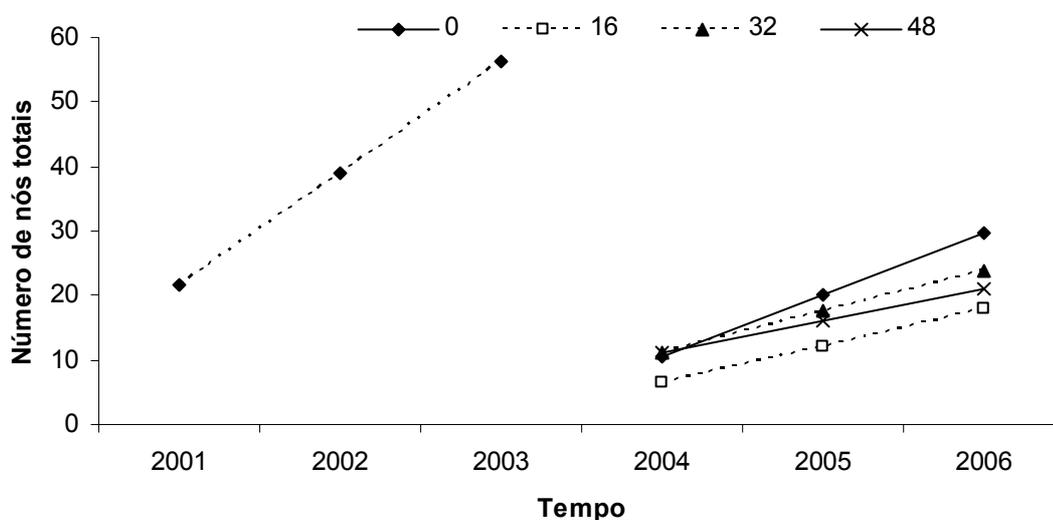


Figura 1. Número de nós totais em função do tempo (anos) para cada nível de sombra (0, 16, 32, 48%) em plantas de café (*Coffea arabica*) no primeiro período (2001 – 2003) e no segundo período (2004 – 2006) de avaliação. Viçosa, MG.

O comprimento do entrenó não foi afetado pelos níveis de sombra nos anos compreendidos entre 2001 e 2004 nem em 2006 (Tabela 4).

Tabela 4. Valores médios de produção de café em côco por planta (g), peso de um fruto (g), número de frutos por planta, comprimento de entrenó (cm), área foliar por fruto (cm²) e área foliar máxima (março) e mínima (setembro) por ramo (cm²) em cafeeiros (*Coffea arabica*) sob níveis de sombra e adubação entre 2001 e 2004 .

Variável	Ano	Valor médio
Nós produtivos	2001	$\hat{Y} = 8,02$
	2002	$\hat{Y} = 6,70$
	2003	$\hat{Y} = 8,65$
Comprimento entrenó	2001	$\hat{Y} = 3,31$
	2002	$\hat{Y} = 3,34$
	2003	$\hat{Y} = 2,81$
	2004	$\hat{Y} = 3,04$
Área foliar máxima por ramo	2002	$\hat{Y} = 1061,9$
	2003	$\hat{Y} = 1345,9$
Área foliar mínima por ramo	2001	$\hat{Y} = 733,4$
	2002	$\hat{Y} = 205,6$
	2003	$\hat{Y} = 398,7$
Produção por planta	2002	$\hat{Y} = 441,5$
	2003	$\hat{Y} = 1422,0$
	2004	$\hat{Y} = 628,8$
Peso Fruto	2002	$\hat{Y} = 0,59$
	2003	$\hat{Y} = 0,44$
	2004	$\hat{Y} = 0,44$
Área foliar por fruto	2002	$\hat{Y} = 27,4$
	2003	$\hat{Y} = 137,0$

Houve aumento do comprimento do entrenó proporcionalmente com o aumento do sombreamento em 2005 (Tabela 5).

Tabela 5. Equações de regressão ajustadas das variáveis produção por planta (g café em côco por planta), peso de um fruto (g), frutos por planta, tamanho de fruto, número de nós totais, tamanho de entrenó (cm), área foliar específica (cm²g⁻¹), tamanho de fruto (% peneira 17/18) e renda (%) em função da sombra (0, 16, 32 e 48%) em cafeeiros (*Coffea arabica*) entre 2005 e 2007.

Variável	Ano	Equação Ajustada	R ² /r ²
Nós produtivos	2005	$\hat{Y} = 6,15$	-
	2006	$\hat{Y} = 1,44$	-
Comprimento entrenó	2005	$\hat{Y} = 2,79 + 0,01 * S$	0,81
	2006	$\hat{Y} = 67,70$	-
Produção por planta	2005	$\hat{Y} = 3479,2 - 27,9 * S$	0,78
	2006	$\hat{Y} = 11,3 + 9,1 * S$	0,64
	2007	$\hat{Y} = 3550,2 - 22,5 * S$	0,75
Peso Fruto	2005	$\hat{Y} = 0,44 + 0,001 * S$	0,59
	2006	$\hat{Y} = 0,021 + 0,003 * S$	0,83
Frutos por planta	2005	$\hat{Y} = 7789,75 - 73,10 * S$	0,83
	2006	$\hat{Y} = 67,97 + 50,63 * S$	0,58
Tamanho de fruto	2005	$\hat{Y} = 47,6 + 0,42 * S$	0,91
Renda	2005	$\hat{Y} = 52,3 + 0,04 * S$	0,86
Ramos planta	2007	$\hat{Y} = 408,05$	-
Área foliar por fruto	2005	$\hat{Y} = 10,12 - 0,193S + 0,006 * S^2$	0,63
	2006	$\hat{Y} = 1,06 + 2,74 * S$	0,59
Área foliar específica	2005	$\hat{Y} = 120,4 + 0,36 * S$	0,76

* F significativo ao nível de 5% de probabilidade

O sombreamento não afetou o número de ramos totais por planta em 2007, que apresentou valor médio de 408,0, variando entre 392,8 (nas plantas a pleno sol) e 435,5 (nas plantas sob 48% de sombra). Durante os seis anos de avaliação do crescimento dos cafeeiros não houve efeito do sombreamento sobre o número de nós produtivos (Tabelas 4 e 5).

O resumo da análise de variância da área foliar de ramo se encontra na Tabela 6. Não foi observado efeito das fontes de variação sobre a área foliar de ramo no primeiro período, com exceção do tempo. Não houve ajuste de nenhum modelo testado para o comportamento desta variável. A área foliar de ramo no segundo período (AFR2) foi

influenciada pelo tempo e pela sombra. As equações ajustadas se encontram na Tabela 3.

Tabela 6. Resumo da análise de variância a variável área foliar de ramo no primeiro (AFR 1) (2001-2003) e segundo período de avaliação (AFR 2) (2004-2006) em cafeeiros (*Coffea arabica*) sob níveis de sombra e adubação.

F.V	GL	QM	
		AFR1	AFR2
Bloco	2	862640*	11151
Adubo (A)	3	210063	10548
Sombra (S)	3	290253	473753*
A x S	9	184804	31400
Resíduo (a)	30	260913	18489
Tempo (T)	4	10469750*	1614900*
T x A	12	53612	9579
T x S	12	32014	21298
T x S x A	36	58078	16246
Resíduo (b)	128	80521	17078
CV % Parcela		68,2	40,6
CV % Subparcela		37,9	39,1

* F significativo ao nível de 5% de significância

Ao longo dos anos o comportamento da área foliar por ramo apresentou ciclos de decréscimo, durante a estação fria e seca do ano e incremento durante a estação quente e chuvosa. No primeiro período de crescimento, esta variação foi mais acentuada do que no segundo período. Entre 2004 e 2006, houve efeito do sombreamento sobre a área foliar de ramo nos meses em que foram realizadas as avaliações (Figura 5). As equações ajustadas para o comportamento destas variáveis se encontram na Tabela 3.

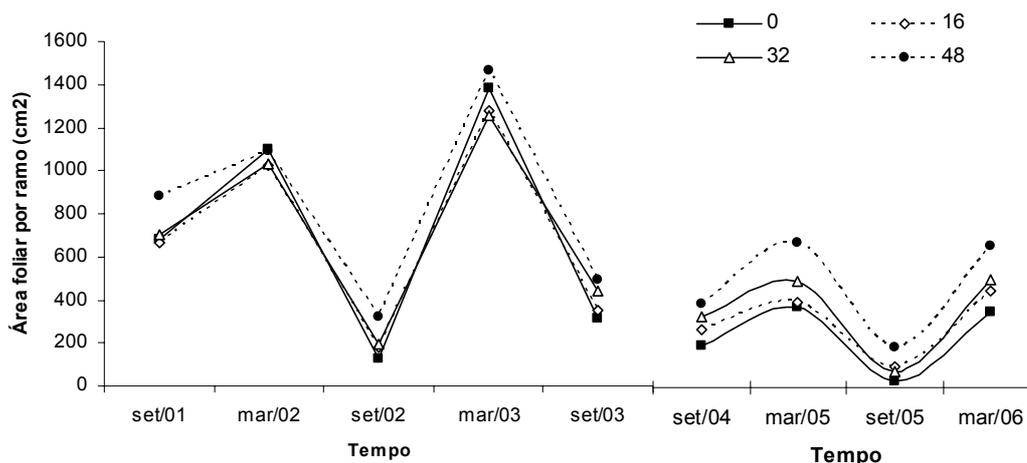


Figura 2. Valores médios de área foliar por ramo (cm^2) observados no primeiro período (2001-2003) e regressões ajustadas no segundo período de avaliação (2004-2006), para cada nível de sombra (0, 16, 32, 48%), em função do tempo (t), em cafeeiros (*Coffea arabica*). Viçosa, MG.

Em 2005, a área foliar por ramo aumentou proporcionalmente com o aumento do sombreamento tanto na época de máximo quanto na de mínimo crescimento (Figura 8). As equações ajustadas se encontram na Tabela 7.

Tabela 7. Equações de regressão ajustadas para a área foliar máxima e mínima por ramo (cm^2), número de folhas, área foliar máxima e mínima de folha (cm^2) (março e setembro respectivamente); área foliar por fruto (cm^2), área foliar específica (cm^2g^{-1}) em 2005; em 2006 para o número de ramos secos, em função da porcentagem de sombreamento (0, 16, 32 e 48%), em cafeeiros (*Coffea arabica*).

Variável	Equação ajustada	R^2 / r^2
Área foliar por ramo		
Máxima	$\hat{Y} = 327,27 + 6,15 * S$	0,81
Mínima	$\hat{Y} = 29,59 + 2,70 * S$	0,67
Número de folhas		
Máximo	$\hat{Y} = 10,37$	-
Mínimo	$\hat{Y} = 1,35 + 0,049 * S$	0,56
Área de folha		
Máxima	$\hat{Y} = 34,91 + 0,42 * S$	0,91
Mínima	$\hat{Y} = 20,75 + 0,47 * S$	0,72
Área foliar por fruto	$\hat{Y} = 10,12 - 0,19 S + 0,0064 * S^2$	0,63
Área foliar específica	$\hat{Y} = 120,45 + 0,36 * S$	0,76
Número de ramos secos	$\hat{Y} = 1,06 + 2,74 * S$	0,59

* F significativo ao nível de 5% de probabilidade

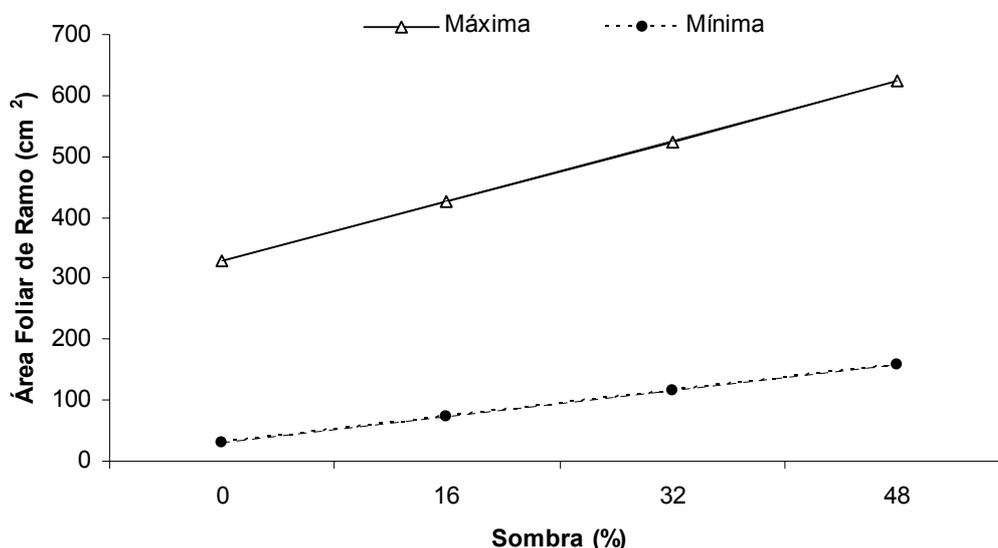


Figura 3. Área foliar máxima e mínima por ramo (cm^2) (março e setembro respectivamente) em função da porcentagem de sombra em plantas de café (*Coffea arabica*) (2005). Viçosa, MG.

Em 2005 a área das folhas e o número de folhas na época de máximo e mínimo crescimento aumentaram na medida em que aumentou o sombreamento (Figura 4). Na época de mínimo crescimento a área das folhas diminuiu entre 42,7 e 21,6 e 42,7 % e o

número de folhas diminuiu 86,6 e 68,5. As menores reduções da área foliar e de número de folhas foram observadas nas plantas sob 48% de sombra (Tabela 7).

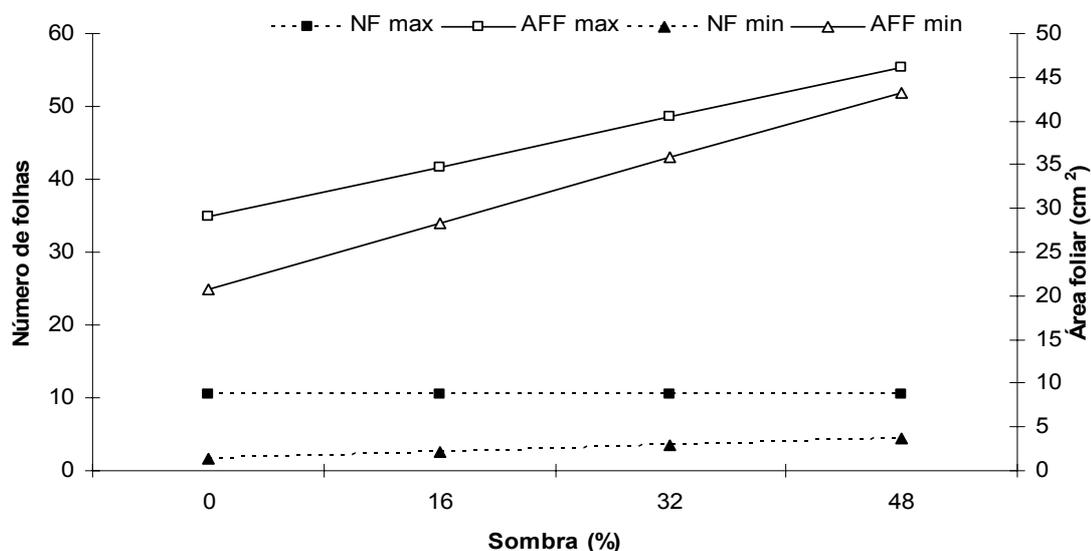


Figura 4. Número de folhas máximo (NF max) e mínimo (NF min) por ramo e área foliar por folha máxima (AFF max) e mínima (AFF min) em função da porcentagem de sombra em plantas de café (*Coffea arabica*) (2005).

O resumo da análise de variância da variável produção por planta encontra-se na Tabela 2. Foram observados efeitos do tempo, da sombra e da interação entre tempo e sombra sobre a produção por planta.

A produção por planta apresentou comportamento bianual com maior flutuação entre os valores a partir do ano 2004 (Figura 5).

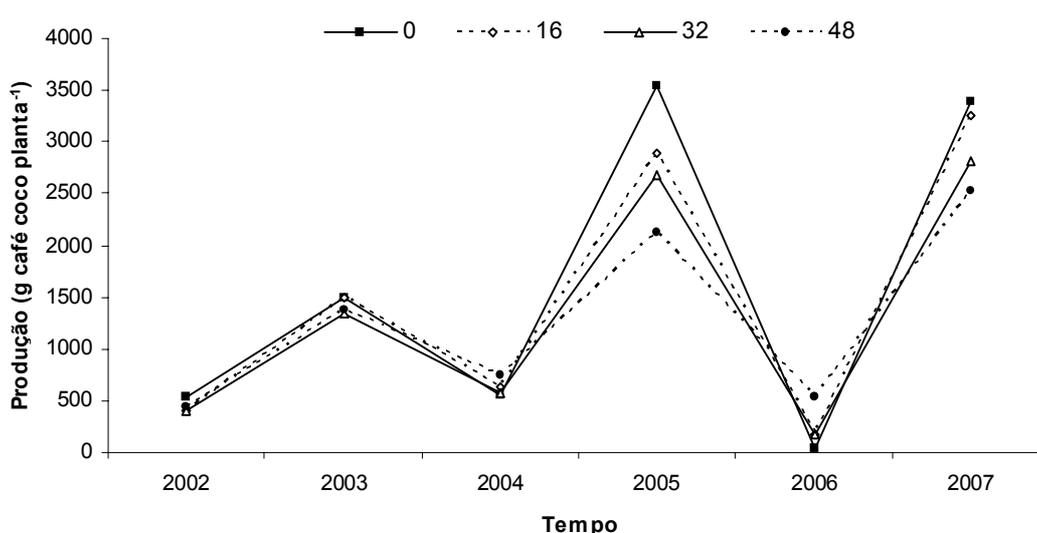


Figura 5. Valores médios de produção por planta (g café em côco) para cada nível de sombra (0, 16, 32, 48%) em plantas de café (*Coffea arabica*) (2002-2007). Viçosa MG.

O comportamento da produção por planta sob os níveis de sombreamento ao longo do tempo, não se ajustou aos modelos linear, quadrático, nem cúbico. Na análise individual para cada ano, não foi observado efeito da sombra sobre a produção por planta, durante os quatro primeiros anos do experimento (2001-2004) (Tabela 4).

Na análise de variância realizada dentro de cada ano não houve efeito do adubo nem da interação entre sombra e adubo sobre nenhuma das variáveis avaliadas.

Em 2005 a produção por planta diminuiu com o sombreamento de 1,739 kg para 1,069 kg de café beneficiado (96 e 59 sc ha⁻¹ de café beneficiado respectivamente). Em 2007, que junto com 2005 foram anos de alta produção, a produção também diminuiu com o sombreamento de 1,775 para 1,234 kg de café beneficiado (98 e 68 sc ha⁻¹ respectivamente). No entanto em 2006, ano de baixa produção, a produção das plantas aumentou com o aumento do sombreamento (Figura 6). As equações ajustadas se encontram na Tabela 4.

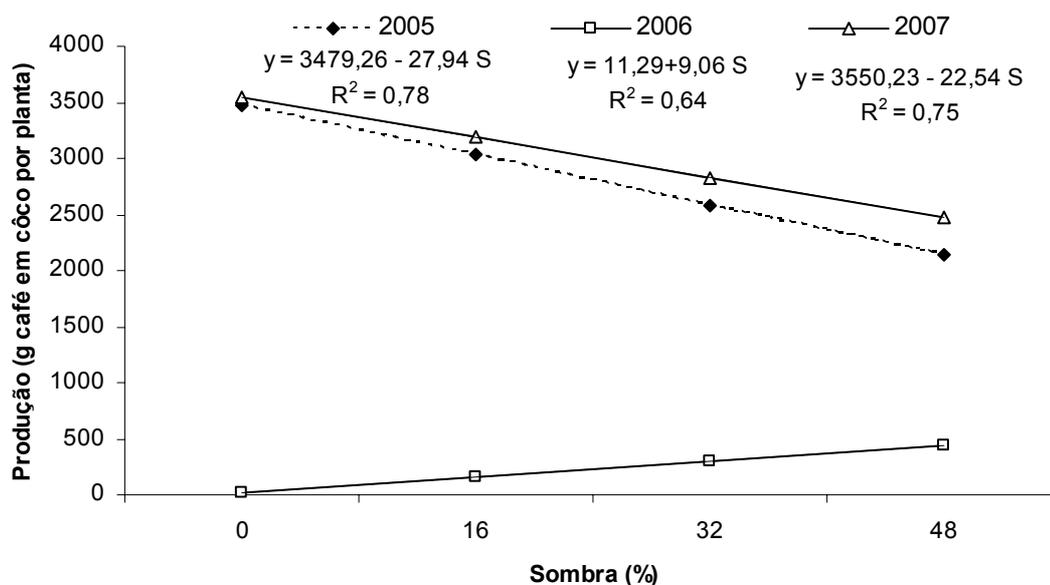


Figura 6. Produção por planta (g café em côco) em função da porcentagem de sombra em cafeeiros (*Coffea arabica*) (2005-2007). Viçosa MG.

Em 2005, a queda na produção das plantas mais sombreadas foi de 38,5% e em 2007, 30,5%. Em 2006, a diminuição na produção das plantas a pleno sol com relação às submetidas a 48% de sombreamento foi de 97,5%. Em 2006, a produção das plantas a pleno sol foi equivalente a 0,31 sc ha⁻¹ e a das plantas sob 48% de sombra 12,4 sc ha⁻¹. A produção média ao longo dos seis anos foi 44,1 sc ha⁻¹ nas plantas a pleno sol e 34,9 sc ha⁻¹ nas plantas submetidas ao maior nível de sombreamento.

Entre 2001 e 2004 não houve efeito do sombreamento sobre o peso do fruto (Tabela 4). Em 2005 foi observado incremento no peso do fruto com o aumento do sombreamento, enquanto o número de frutos por planta diminuiu (Figura 7). Em 2006 tanto o número de frutos por planta quanto o peso do fruto aumentou com o aumento do sombreamento, apresentando valores muito inferiores que os observados em 2005 (Tabela 5).

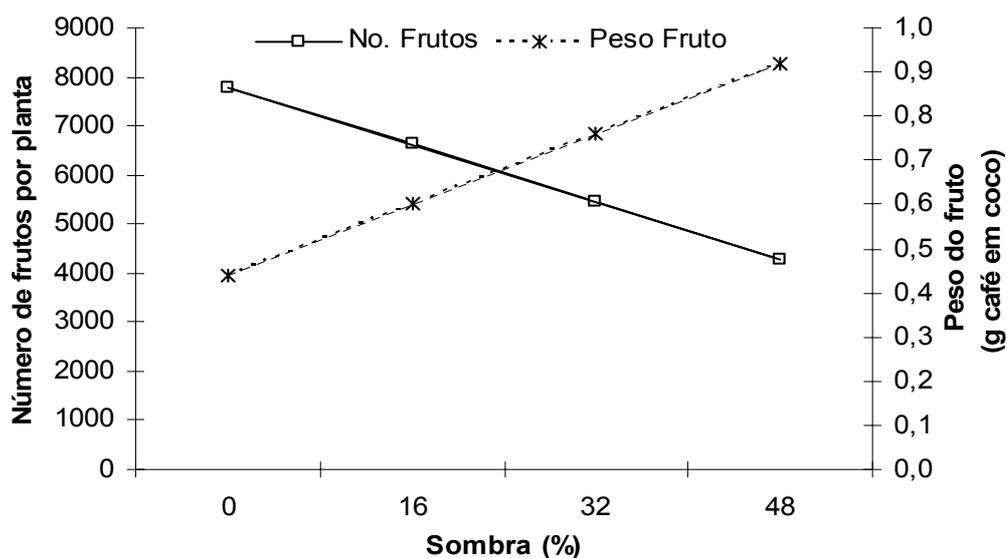


Figura 7. Número de frutos por planta e peso do fruto (g café em coco) em função da porcentagem de sombra em cafeeiros (*Coffea arabica*) (2005). Viçosa, MG.

Em 2005 os frutos apresentaram qualidade de bebida que variou entre dura e apenas mole. Em frutos provenientes de plantas submetidas a pleno sol uma amostra das quatro avaliadas, apresentou frutos com bebida apenas mole, enquanto os frutos das plantas sombreadas (16 – 48%) apresentaram este tipo de bebida em duas das quatro amostras. O tamanho dos frutos foi maior nas plantas sob 48% de sombra que apresentaram 67,8% dos frutos com tamanho de peneira 17/18. Estas plantas também apresentaram frutos com a maior porcentagem de renda (54,6%) (Figura 8).

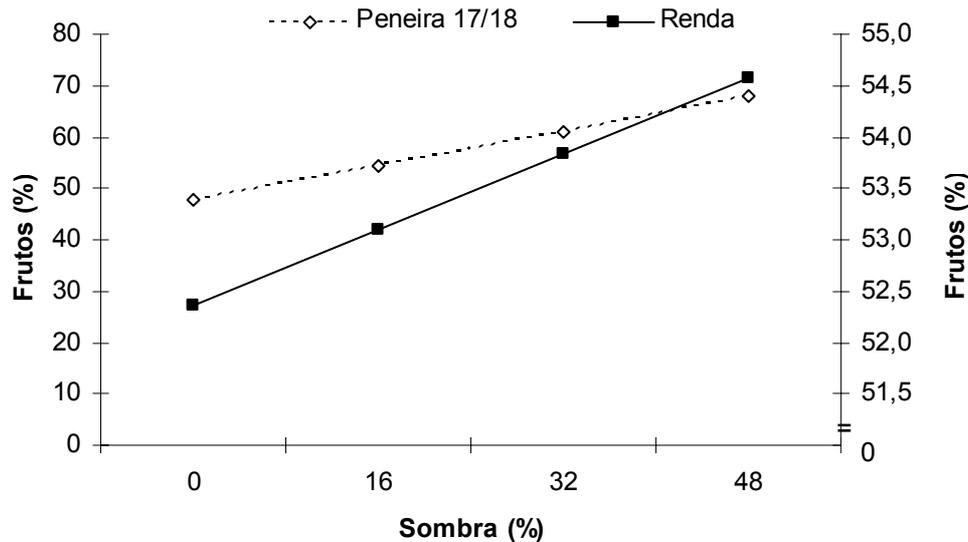


Figura 8. Porcentagem de frutos com tamanho de peneira 17/18 e renda (%) de frutos em função da porcentagem de sombra em cafeeiros (*Coffea arabica*)(2005) ($p < 0,05$). Viçosa, MG.

Em 2005 a maturação dos frutos de café foi mais tardia nas plantas sob 48% de sombra. A maior parte dos frutos das plantas a pleno sol apresentou estágio de cereja no mês de maio (63%), enquanto os frutos das plantas sob 48% de sombra, apresentaram mais frutos em estágio de cereja em junho (68%) (Tabela 8).

Tabela 8. Equações de regressão ajustadas das variáveis porcentagem de frutos em estado de cereja em abril, maio, junho e julho em função de níveis de sombra (0, 16, 32 e 48%) em cafeeiros (*Coffea arabica*) em 2005.

Mês	Equação Ajustada	R ² / r ²
Abril	$\hat{Y} = 9,82 - 0,45 S + 0,0058* S^2$	0,59
Maio	$\hat{Y} = 60,32 - 0,77* S$	0,67
Junho	$\hat{Y} = 25,82 + 0,84* S$	0,74
Julho	$\hat{Y} = 7,84$	-

* F significativo ao nível de 5% de significância

Houve desuniformidade de maturação nas plantas sob 16 e 32% de sombreamento (Figura 9). O índice de bienalidade foi 13,49 nas plantas a pleno sol e 4,12, 3,73, 1,32 nas plantas sob 16, 32 e 48% de sombra respectivamente.

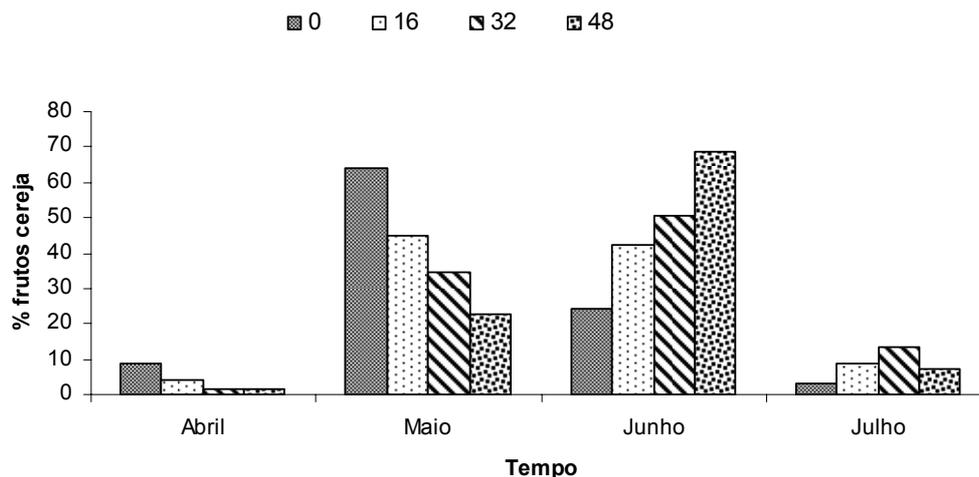


Figura 9. Porcentagem de frutos em estádio de cereja nos meses de abril, maio, junho e julho de 2005 em plantas de café (*Coffea arabica*) submetidas a níveis de sombra (0, 16, 32, 48%). Viçosa, MG.

Em 2005 a relação entre a área foliar e o número de frutos por ramo variou entre 10,1 cm² por fruto nas plantas sombreadas e 16,0 cm² por fruto nas plantas sob sombra de 48%. Em 2006 houve aumento do número de ramos secos com a diminuição do sombreamento (Figura 10).

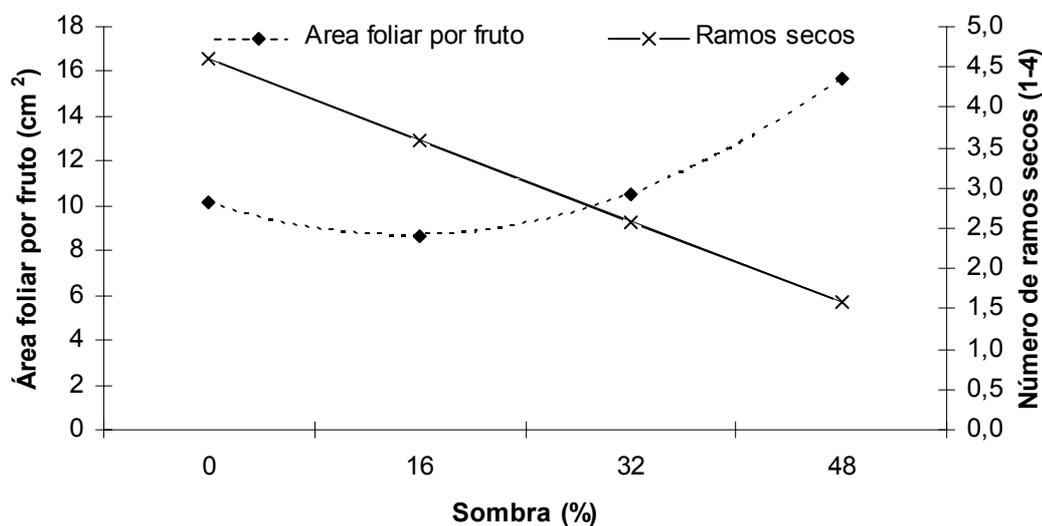


Figura 10. Área foliar de ramo por fruto (cm²) (2005) e número de ponteiros secos (0-8) (2006) em função da porcentagem de sombra, em plantas de café (*Coffea arabica*). Viçosa, MG.

4. Discussão

A ausência de efeito das doses de adubação sobre as variáveis selecionadas para medir crescimento, desenvolvimento vegetativo e produção, pode ser explicada em parte, pela grande variabilidade de resposta observada nas plantas de café quando se encontram em condições de campo. Em diferentes pesquisas tem sido relatada a ausência de efeito da aplicação de doses de adubação, principalmente sobre a produção, como observado na Colômbia, em plantas de café associadas com *Inga edulis* por Farfan e Mestre. (2004) e no Brasil (estado de Espírito Santo), em cafeeiros altamente adensados (Prezotti e Rocha, 2004). No caso do experimento, a alta variabilidade de resposta normalmente observada nas plantas de café foi mais marcante, devido ao baixo número de plantas avaliadas por parcela (duas).

Outra possível causa da ausência de efeito da adubação no experimento foi a presença de reservas de nutrientes no solo das plantas sombreadas que apresentaram menor carga de frutos. Nestas plantas, devido à menor demanda de nutrientes a quantidade de adubo fornecida não foi usada completamente, deixando resíduos para o ciclo seguinte. Este aspecto que não foi considerado nas adubações subsequentes pelo que as doses de fertilizante aplicadas podem ter excedido a quantidade de nutrientes que se esperava disponibilizar para a planta. Este fato foi observado após a safra de 2005 (safra de alta produção), quando foi observado teor médio de K de 62 mg dm^{-3} no solo das parcelas a pleno sol, enquanto nas parcelas sob 48% de sombra o teor médio de K foi de 94 mg dm^{-3} . A presença de reservas de nutrientes no solo, principalmente K, pode ser um indicativo de que a recomendação de adubação para plantas de café sob condições de pleno sol excede a dose necessária para as plantas sombreadas.

A ausência de efeito do sombreamento sobre as variáveis de crescimento, desenvolvimento vegetativo e produção observada entre 2002 e 2004 sugere que, sob as condições do experimento, as plantas de café precisaram no mínimo de três anos para manifestar as mudanças morfológicas, decorrentes das condições de baixa disponibilidade de radiação. As folhas, que são órgãos mais sensíveis a mudanças na radiação incidente (Cannell, 1985), apresentaram efeito do sombreamento mais rapidamente.

O rápido incremento do número de nós e os altos valores de área foliar por ramo observados entre 2002 e 2004 sugerem que, as plantas de café em fase de crescimento apresentaram grande alocação de fotoassimilados para a formação de órgãos vegetativos. Nas condições do experimento, este comportamento mudou a partir de

2005, quando as plantas apresentaram grande carga de frutos que causou a diminuição do crescimento e desenvolvimento vegetativo no ciclo seguinte. A partir deste ano o ganho das plantas em número de nós e área foliar por ramo foi menor que o observado nos anos anteriores. Também foi observado efeito significativo dos níveis de sombreamento sobre a maioria das variáveis avaliadas. Parte deste efeito pode ser devido ao aumento do autosombreamento entre as plantas de café devido ao crescimento das plantas durante os anos anteriores.

Em 2005 as plantas sombreadas apresentaram maior número de nós totais, ramos maiores e com maior comprimento de entrenó que as plantas a pleno sol. Campanha et al. (2004) observaram maior comprimento de ramo e número de nós nas plantas sombreadas. A alta variabilidade destas características em plantas sob sombra faz necessário que o crescimento seja medido tomando em conta tanto o comprimento quanto o número de nós por ramo. Segundo Rena e Maestri (1986) o crescimento relevante é aquele que está relacionado com a formação de nós e não com o comprimento de entrenó. Outras características comumente utilizadas como parâmetros de crescimento são a altura das plantas e o diâmetro do caule. Cafeeiros sombreados com guadu (*Cajanus cajan* L.) no estado de Paraná apresentaram maior crescimento em altura que as plantas a pleno sol (Morais et al., 2003). Ramos mais compridos, maior diâmetro de caule e maior número de ramos por planta foram observados em plantas sombreadas em Cuba (Rodríguez et al., 2001). No entanto é possível que as plantas a pleno sol apresentem maior acúmulo de massa seca, uma vez que a alta carga de frutos estimula a fotossíntese e a formação de fotoassimilados, que são investidos na formação de massa seca (Cannell, 1985).

No experimento, os ciclos de queda e formação de folhas nos cafeeiros foram claramente observados ao longo dos anos. As folhas apresentaram menor área ao final da época fria e seca e a maior área no fim da época quente e chuvosa. Na região de Viçosa os cafeeiros apresentam rápido crescimento até o mês de março, seguido de uma fase de restrição de crescimento entre maio e setembro, causado principalmente pelas baixas temperaturas e a seca (Barros et al., 1997).

Em 2005, a área foliar máxima por ramo foi influenciada pela área das folhas, enquanto a área foliar mínima por ramo foi influenciada tanto pela área, quanto pelo número de folhas. Isto evidencia a maior retenção de folhas nas plantas sombreadas que nas plantas a pleno sol, durante a época fria e seca do ano. Campanha et al. (2004) também observaram menor desfolha e maior área foliar nas plantas sombreadas que nas

plantas a pleno sol. A menor perda de folhas nas plantas sombreadas durante a estiagem pode indicar menor estresse por água nestas plantas. A queda de folhas durante a época fria e seca do ano é causada pelo incremento na produção de etileno e a redução da concentração de auxinas, como resposta ao estresse hídrico. Altos níveis de etileno promovem a formação de enzimas que hidrolisam os polissacarídeos e as proteínas das células da parede causando a perda da parede celular, a separação das células e finalmente a abscisão das folhas (Taiz e Zeiger, 1991). Em plantas de café sob condições de sistema agroflorestal tem sido observada menor taxa de transpiração que em plantas sob condições de pleno sol. No entanto, o efeito benéfico da sombra das árvores sobre a conservação da água no sistema, pode ser diminuído pela alta taxa de transpiração de algumas espécies arbóreas, como observado por Kanten e Vaast. (2006).

Em 2005 foi observado que as folhas de maior tamanho presentes nas plantas sombreadas foram mais finas que as das plantas a pleno sol, como indicam os valores de área foliar específica observados. O estiolamento, junto com a formação de folhas maiores e mais finas, faz parte dos mecanismos de adaptação às baixas condições de radiação, que permitem a maior captura da radiação disponível (Fahl et al., 1994). Folhas grandes, com parênquimas paliádico e lacunar finos e com abundantes espaços intercelulares, facilitam a absorção de radiação e aumentam a probabilidade de que esta seja absorvida pelos cloroplastos. Plantas que crescem a pleno sol apresentam folhas pequenas, grossas e com maior número de estômatos que as plantas sombreadas (Morais et al., 2004).

Foi observada redução do comportamento bienal na produção das plantas de café com o aumento do sombreamento, evidenciado pela diminuição do índice de bienalidade nas plantas sombreadas. Nas condições do experimento, é possível que a baixa radiação disponível para as plantas sombreadas tenha limitado o estímulo para a diferenciação das gemas florais. O menor número de frutos, decorrente da menor formação de flores foi compensada com a formação de frutos maiores nas plantas sombreadas, resultando em valores de produção dentro da média para a região. Apesar disto, devido a o maior tamanho dos frutos nas plantas sombreadas, estes devem ter atuado como forte dreno, causando picos de alta e baixa produção apesar de serem menos acentuados que nas plantas a pleno sol. Em plantas de café com grande carga de frutos Vaast et al. (2005) que registraram quatro vezes mais alocação de carboidratos nos frutos que nos ramos. No experimento, a alta carga de frutos em 2005 diminuiu a

disponibilidade de carboidratos destinados à formação e crescimento de ramos e de área foliar no ciclo subsequente, que por sua vez, causou baixa produção de frutos em 2006.

Baseados no comportamento fisiológico da planta após alta produção de frutos, DaMatta e Rena (2001) afirmam que os cafeeiros sombreados apresentam menor bienalidade na produção. Segundo estes autores a superprodução de frutos, causada pelo estímulo de numerosas gemas florais nas plantas submetidas à alta radiação solar, leva ao esgotamento das reservas da planta e compromete o crescimento naquele ano e produção do ano seguinte. Desta forma a baixa produção que segue ao ano de alta produção permite a recuperação de reservas e o crescimento necessário, para sustentar a alta carga de frutos do próximo ciclo produtivo, seguindo um padrão bienal (DaMatta e Rena, 2001).

A resposta produtiva dos cafeeiros ao sombreamento apresenta grande variação dependendo das condições de solo, clima e do manejo em cada local. Na Colômbia, o aumento do número de árvores associados aos cafeeiros de 70 a 278 árvores por hectare causou decréscimo na produção, que esteve entre 1,033kg (76,5 sc ha⁻¹) e 0,047 kg (3,4 sc ha⁻¹) de café beneficiado por planta (Farfan e Mestre, 2004). No México, foi observado aumento da produção de 0,375 kg de café beneficiado por planta até 0,750 kg sob sombreamento de 48%. A partir deste nível de sombreamento foi observada queda na produção, no entanto nesta pesquisa não é fornecida informação sobre a produtividade por hectare dos cafeeiros (Soto-Pinto et al., 2000). Por outro lado, também no México, foi observada produção similar entre os cafeeiros a pleno sol e os sombreados, com valores médios de 0,281 kg planta⁻¹ de café beneficiado (9,3 sc ha⁻¹) (Peeters et al., 2003). É provável que parte da diferença entre as respostas dos cafeeiros ao sombreamento esteja relacionada com as práticas de manejo. Em sistemas de produção com baixa intensidade de intervenção, a capacidade produtiva dos cafeeiros a pleno sol pode não ser completamente explorada, atingindo valores de produção similares ou ainda menores que os dos cafeeiros sombreados. Segundo Romero-Alvarado et al. (2002) a variação da produção dos cafeeiros sombreados está mais influenciada por fatores como práticas de manejo, o objetivo do agricultor, ou a intensidade do uso de insumos do que pela radiação disponível para as plantas.

O fato das plantas sombreadas terem o mesmo número de nós totais e de nós produtivos que as plantas a pleno sol e menos frutos por planta, indica que a diferença na produção foi devida à formação de menos frutos por nó produtivo. Existe grande controvérsia sobre o efeito do sombreamento na diminuição na taxa fotossintética das

plantas de café sombreadas. Experimentos realizados em folhas isoladas reportam menor taxa de fotossíntese líquida nas folhas sombreadas que em folhas a pleno sol (Morais et al., 2004). No entanto não existe informação sobre o comportamento fotossintético da planta inteira ou o comportamento da fotossíntese ao longo do dia em varias estações. Segundo Kumar e Tieszen (1980), reportado por DaMatta (2004), as plantas sombreadas podem duplicar a taxa fotossintética das plantas a pleno sol, em dias chuvosos e nublados. Isto é de extrema importância nas condições do experimento, uma vez que a maior demanda de nutrientes por parte dos frutos na fase de rápido enchimento acontece durante a estação quente e chuvosa do ano. Por outro lado, em plantas sob condições de pleno sol foi observado acentuado decréscimo na taxa fotossintética por efeito das baixas temperaturas (DaMatta et al., 1997). O dossel das árvores no sistema agroflorestal gera condições microclimáticas que reduzem os extremos de temperatura (Lin, 2007). Desde este ponto de vista, as plantas sombreadas teriam uma vantagem em termos de fotossínteses, frente às plantas a pleno sol durante a época fria do ano. A redução da taxa fotossintética das plantas sombreadas pode estar mais relacionada com a menor formação de frutos, que demandam menos fotoassimilados causando a redução da taxa fotossintética (Franck et al., 2006).

Cafeeiros sombreados apresentam, com frequência, maturação tardia e desuniforme. Neste experimento a maior porcentagem de frutos maduros nas plantas sob 48% de sombreamento foi observada um mês depois que nas plantas a pleno sol, contudo a sua maturação foi tão uniforme quanto à das plantas a pleno sol. A principal causa da desuniformidade na maturação dos frutos de café é a alternância de períodos curtos de estiagem e chuva, como observado com frequência em regiões com clima equatorial onde a época de floração pode variar entre 12 e 15 semanas (Arcila et al., 1993 citado por Arcila-Pulgarin et al., 2002). No presente experimento, o sombreamento pode ter reduzido o efeito do estresse hídrico sobre as plantas, limitando a sincronia na abertura dos botões florais. Por outro lado, o lento amadurecimento nas plantas sob 48% de sombra pode ter compensado este efeito, permitindo que a maior parte dos frutos se encontrasse em estado de cereja no mês de junho. Em pesquisa realizada na Costa Rica também foi observado florescimento tardio e frutos maiores nas plantas sombreadas (Angrand et al., 2004). O amadurecimento tardio dos frutos das plantas de café sob 48% de sombreamento pode indicar o retardamento do ciclo fenológico, como consequência da diminuição da temperatura das folhas das plantas sombreadas (Bernardes et al., 1999).

Os frutos de plantas a pleno sol que amadurecem mais rapidamente podem ter maturação incompleta. Vaast et al. (2006) verificaram maturação incompleta em frutos com rápido amadurecimento, apresentando alto nível de sacarose, ácido clorogênico e trigonelina, que aumentaram a adstringência da bebida. O alto conteúdo de sacarose, presente nos frutos de plantas que encontram sob condições de sombra, ou plantadas em locais de maior altitude, é responsável do melhoramento da qualidade dos frutos de *C. arábica* var. Catuaí (Guyot et al., 1996).

Nas plantas a pleno sol a competição por carboidratos entre os frutos pode ter afetado a sua qualidade, tanto em termos de tamanho como de qualidade de bebida. O maior tamanho dos frutos e a maior renda, observados nas plantas sob 48% de sombra, indicaram a formação de frutos de maior qualidade. Também foi observada uma pequena melhora na qualidade de bebida com o sombreamento. No entanto, esta característica pode estar mais relacionada com o manejo pós-colheita dos frutos que com o manejo da lavoura. O efeito benéfico do sombreamento sobre a qualidade dos frutos é particularmente evidente em cafezais plantados em regiões com clima sub-ótimo para a produção, nas quais a sombra promove o lento enchimento dos frutos e a sua maturação balanceada e uniforme (Muschler, 2001).

Houve baixo valor da relação da área foliar por fruto em todas as plantas em 2005. As plantas a pleno sol em 2005 apresentaram 10,12 cm² de área foliar por fruto e as plantas sob 48% de sombra 15,82 cm² por fruto, quando tem sido calculado que são necessários 20cm² de folha para suportar um fruto, sem comprometer o crescimento vegetativo do ciclo posterior (Cannell, 1985). Possivelmente esta tenha sido a principal causa da morte de ponteiros em 2006, que foi menor nas plantas a 48% de sombra. A morte de ponteiros geralmente é consequência da sobre carga de frutos nas plantas devido à formação de fotoassimilados insuficientes para sustentar os frutos (Cannell, 1985). O depauperamento das plantas em 2006 também se viu refletido na formação de menor número de frutos e mais leves que os observados em 2005 em todos os tratamentos.

Conclusões

- Um período de três anos de adaptação foi necessário para que as plantas de café, sob as condições do experimento, apresentassem alterações sobre as características vegetativas e sobre a produção.
- Os cafeeiros sombreados produzem menos que as plantas a pleno sol. Mesmo assim o nível de produtividade por hectare depende do conjunto das práticas de manejo da lavoura.
- As plantas de café sombreadas produzem frutos maiores e de melhor qualidade que as plantas a pleno sol.
- Os cafeeiros que crescem sob condições de pleno sol apresentam ramos curtos, com menor área foliar por ramo e folhas menores e mais grosas que são características de adaptação as condições de alta radiação solar incidente.

Referências

ANGRAND, L.; VAAST, P.; BENJAMIN, T. Comportamiento vegetativo y productivo de *Coffea Arabica* a pleno sol y en tres sistemas agroforestales en condiciones subóptimas en Costa Rica. **Agroforesteria en las Americas**, Turrialba, v. 41-42, p. 77-82, 2004.

ARCILA-PULGARIN, J.; BUHR, L.; BLEIHOLDER, H.; HACK, H.; MEIER, E; WICKE, H. Application of the extended BBCH scale for the description of the growth stages of coffee (*Coffea* spp.). **Annals of Applied Biology**, Oxford, v.142, p.19-27, 2002.

BAGGIO, A.J; CARAMORI, P.H.; ANDROCIOLI FILHO, A.; MONTOYA, L. Productivity of southern Brazilian coffee plantations shaded by different stockings of *Grevillea robusta*. **Agroforestry Systems**, Dordrecht, v.37, p. 111-120, 1997.

BARROS, R.S.; MOTA, J.W. Da S.; Da MATTA, F.; MAESTRI, M. Decline of vegetative growth in *Coffea arabica* L. in relation to leaf temperature, water potential and stomatal conductance. **Field Crops Research**, Amsterdam, v.54, p. 65-72, 1997.

BERNARDES, M.S.; CÂMARA, G.M.S.; CASTRO, D.S. Modificações morfológicas e fenológicas em soja provocadas por sombreamento em sistema agroflorestal com seringueiras. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SOJA, Londrina, 1999. **Anais**. Londrina, Embrapa Soja, 1999. p.389.

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, Brazil. **Agroforestry Systems**, Dordrecht, v.63, p. 75-82, 2004.

CANNELL, M.G.R. Physiology of the coffee crop. In: COFFEE: BOTANY, BIOCHEMISTRY AND PRODUCTION OF BEANS AND BEVERAGE. (Ed.) **Clifford, M.N., Willson, K.C.** London: Croom Helm, 1985, p. 108-134.

Da MATTA, F.M.; MAESTRI, M.; MOSQUIM, P.; BARROS, R.S. Photosynthesis in coffee (*Coffea Arabica* and *C. canephora*) as affected by winter and summer conditions. **Plant Science**, Dordrecht, v. 128, p.43-50, 1997.

Da MATTA, F.M.; RENA, A.B. Ecofisiologia de cafezais sombreados e a pleno sol. In: O ESTADO DA ARTE DE TECNOLOGIAS NA PRODUÇÃO DE CAFÉ. (Ed.) **Zambolim, L.** Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2001, p. 93-135.

Da MATTA, F.M. Ecophysiological constraints on the production of shaded and unshaded coffee : a review. **Field Crop Research**, Dordrecht, v.86, p.99-114, 2004.

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

FARFAN V.F.; MESTRE, E.A. Respuesta del café cultivado en un sistema agroflorestal a la aplicación de fertilizantes. **Cenicafé**, Manizales, v.55, n.2, p.161-174, 2004.

FRANCK, N.; VAAST, P.; GÉNARD, M.; DAUZAT, J. Soluble sugars mediate sink feedback down-regulation of leaf photosynthesis in field-grown *Coffea Arabica*. **Tree Physiology**, v.26, p.517-525, 2006.

GUYOT, B.; GUEULE, D.; MANEZ, J.C.; PERRIOT, J.J.; GIRON, J.; VILLAIN, L. Influence de l'altitude et de l'ombrage des cafés Arábica. **Plantations, recherché, développement**. Montpellier, v.3, p.272:280, 1996.

KANTEN, R. van; VAAST, P. Transpiration of arabica coffee and associated shade tree species in sub-optimal, low-altitude conditions of Costa Rica. **Agroforestry systems**, Dordrecht, v.67, p.187-202, 2006.

LEAL, A.C.; SOARES, R.V.; CARAMORI, P.H.; BATISTA, A.C. Arborização de cafeeiros com bracatinga (*Mimosa scabrella* Bentham). **Floresta**, Curitiba, v.35, n.1, p.23-32, 2005.

LIN, B.B. Agroforestry management as an adaptive strategy against potential microclimate extremes in coffee agriculture. **Agricultural and Forest Meteorology**, Dordrecht, v.114, p.85-94, 2007.

LUNZ, A.M.P. **Crescimento e produtividade do cafeeiro sombreado e a pleno sol**. 2006 94p. Tese (Doutorado em Fitotecnia)- Universidade de São Paulo. Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 2006.

MENDONÇA, E.S.; STOTT, D.E. Characteristics and decomposition rates of pruning residues from a shaded coffee system in Southeastern Brazil. **Agroforestry Systems**, Dordrecht, v.57, p.117-125, 2003.

MORAIS, H., MARUR., C.J., CARAMORI, P.H., RIBEIRO, A.M. DE A., GOMES, J.C.. Características fisiológicas e de crescimento de cafeeiro sombreado com guandu e cultivado a pleno sol. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v.38, n.10, p.1131-1137, 2003.

MORAIS, H.; MEDRI, M.E.; MARUR, C.J.; CARAMORI, P.H.; RIBEIRO, A.M. DE A., GOMES, J.C. Modifications on leaf anatomy of *Coffea arabica* caused by shade of pigeonpea (*Cajanus cajan*). **Brazilian Archives of Biology and Technology**, Curitiba, v. 47, n. 6, p.863 -871, 2004.

MUSCHLER, R.G. Shade improves coffee quality in a sub-optimal coffee-zone of Costa Rica. **Agroforestry systems**, Dordrecht, v. 51, n.2, p. 131-139, 2001.

PEETERS, L.Y.K.; SOTO-PINTO, L.; PERALES, H.; MONTOYA, G.; ISHIKI, M. Coffee production, timber, and firewood in traditional and *Inga* – shaded plantations in Southern Mexico. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v.95, p.481-493, 2003.

PERFECTO, I.; VANDERMEER, J.; MASS, A.; SOTO-PINTO, L. Biodiversity, yield and shade certification. **Ecological Economics**, Amsterdam, v. 54, p. 435-446, 2005.

PREZOTTI, L.C.; ROCHA, A.C. da. Nutrição do cafeeiro arábica em função da densidade de plantas e da fertilização com NPK. **Bragantia**, Campinas, v.63, n.2, p.239-251, 2004.

RENA, A.B.; MAESTRI, M. Fisiologia do cafeeiro. In: CULTURA DO CAFEEIRO; FATORES QUE AFETAM A PRODUTIVIDADE. (Ed.) **Rena, A.B.; Malavolta, E.; Rocha, M.; Yamada, T.** Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1986, p. 16-66.

RICCI, M dos SF.; ALVES, B.J.R.; MIRANDA, S.C.; OLIVEIRA de, F.F. Growth rate and nutritional status of na organic coffee cropping system. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.62, n.2, p. 138-144, 2005.

RICCI, M dos S.F.; COSTA, J.R.; PINTO, A.N.; SANTOS V.L da S. Cultivo orgânico de cultivares de café a pleno sol e sombreado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.41, n.4, p.569-575, 2006.

RODRÍGUEZ, L.; VALDÉS, R.; VERDECIA, J.; ARIAS, L.; MEDINA, R.; VELASCO, E. Growth, relative water content, transpiration and photosynthetic pigment content in coffee trees (*Coffea Arabica* L.) growing at different sunlight regimes. **Cultivos tropicales**, La Habana, v. 22, n. 4, p. 37-41, 2001.

ROMERO-ALVARADO, Y.; SOTO-PINTO, L.; GARCIA-BARRIOS, L.; BARRERA-GAYTÁN, F. Coffee yields and soil nutrients under the shades of *Inga* sp.

Vs multiple species in Chiapas, México. **Agroforestry Systems**, Dordrecht, v. 54, p. 215-224, 2002.

SCHALLER, M.; SCHROTH, G.; BEER, J.; JIMÉNEZ, F. Species and site characteristics that permit the association of fast-growing trees with crops: the case of *Eucalyptus deglupta* as coffee shade in Costa Rica. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v.175, p. 205-215, 2003.

SEVERINO, L.S.; OLIVEIRA, T.S. Sistema de cultivo sombreado do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) no maciço de Baturité, Ceará. **Revista Ceres**, Viçosa, v.46, p. 635-652, 1999.

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, Mexico. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v.80, p. 61-69, 2000.

SILVA, E.A.; DaMATTA, F.M.; DUCATTI, C.; REGAZZI, A.J.; BARROS, R.S. Seasonal changes in vegetative growth and photosynthesis of Arabica coffee trees. **Field Crops Research**, Dordrecht, v.89, p.349-357, 2004.

TAVARES-JUNIOR, J.E.; FAVARIN, J.L.; DOURADO-NETO D.; MAIA, A, de H.N.; FAZUOLI, L.C.; BERNARDES, M.S. Análise comparativa de métodos de estimativa de área foliar em cafeeiro. **Bragantia**, Campinas, v. 61, n.2, 199-203, 2002.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Plant physiology**. (Ed.) The Benjamin/Cummings Publishing Company, Inc. California, 1991, p. 565

VAAST, P.; ANGRAND, J.; FRANCK, N.; DAUZAT, J.; GÉNARD, M. Fruit load and branch ring-barking effect carbon allocation and photosynthesis of leaf and fruit of *Coffea Arabica* in the field. **Tree Physiology**, Victoria, v. 25, n.6, p.753-760, 2005.

VAAST, P.; BERTRAND, B.; PERRIOT, J.; GUYOT, B.; GENARD, M. Fruit thinning and shade improve bean characteristics and beverage quality of coffee (*Coffea Arabica* L) under optimal conditions. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, Chichester, v. 82, n. 2. p. 197-204, 2006.

Interação entre a densidade e a distribuição espacial do componente arbóreo, características abióticas e produção de plantas de café em sistema agroflorestal

Resumo

Foi estudado o efeito da distância e do número de indivíduos arbóreos de duas espécies nativas de mata atlântica, *Schizolobium parahyba* (Guapuruvu) e *Senna macranthera* (Fedegoso), sobre a produção de cafeeiros (*Coffea arabica*) e sobre as condições ambientais em um sistema agroflorestal. A pesquisa foi realizada na propriedade de um agricultor, localizada na área de amortecimento do Parque Estadual da Serra do Brigadeiro (Zona da Mata – MG. Brasil). Foram marcadas quarenta plantas de café e determinados círculos concêntricos ao redor de cada cafeeiro, em intervalos de distância de 0 a 3, 3 a 5 e 5 a 7m. Em cada intervalo de distância foram contados e identificados o número de indivíduos arbóreos de cada espécie. Em cada planta marcada foi avaliada a produção (2005 e 2006) e na área ao redor de cada cafeeiro foi determinado o bloqueio da radiação fotossinteticamente ativa (sombra), a serrapilheira acumulada, a umidade do solo na época seca e o teor de P e K no solo. Os dados foram analisados através de análise de trilha. O número de indivíduos de *S. parahyba* entre 0 e 7m afetou negativamente a produção dos cafeeiros. O número de indivíduos de *S. macranthera* entre 3 e 5m causou aumento da umidade do solo através do sombreamento, beneficiando indiretamente a produção. A presença de *S. macranthera* entre 0 e 7m aumentou o teor de K no solo, sem afetar a produção. Os resultados indicaram que nas condições locais a disponibilidade de água durante a época seca foi determinante para a produção dos cafeeiros. *S. macranthera* beneficia a produção dos cafeeiros quando se encontra entre 3 e 5m. Não recomendada-se a utilização de *S. parahyba* a menos de 7m das plantas de café.

Palavras chave Análises de trilha, *Coffea arabica*, Café sombreado, Distância, Microclima, Pesquisa “in situ”.

1. Introdução

A grande adaptabilidade das espécies nativas às condições locais é uma vantagem interessante para ser explorada pelos agricultores nos sistemas agroflorestais. Características como a alta produção de serrapilheira e a grande capacidade de ciclagem de nutrientes também são vantajosas. Na Etiópia, espécies nativas como *Cordia africana* e *Albizia gummifera* têm apresentado alta taxa de decomposição e aporte de nutrientes em sistemas agroflorestais com café (Tesfay e Malmer, 2004). No México, o gênero *Inga* é altamente difundido nos sistemas agroflorestais com café, por sua eficiência de fixação de N atmosférico e nodulação (Grossman, 2005). Espécies madeiráveis de rápido crescimento também são de grande utilidade por incrementar o ganho econômico dos agricultores (Schaller et al., 2002). No Brasil, a espécie introduzida *Grevillea robusta* tem apresentado ótimos resultados econômicos e de proteção da cultura frente à geadas, sem reduzir significativamente a produção (Baggio et al., 1997).

No Brasil, produtores de café que possuem lavouras vizinhas ao Parque Estadual da Serra do Brigadeiro, na Zona da Mata de Minas Gerais, vêm trabalhando desde 1994 na procura de sistemas mais sustentáveis de produção de café. Os sistemas agroflorestais com café implantados na região, têm conseguido melhorar as condições dos solos e incrementar a participação e organização dos agricultores (Cardoso et al., 2001). Nos sistemas agroflorestais da região, inicialmente foram usadas espécies arbóreas introduzidas, como *Inga edulis*, e nativas de rápido crescimento como *Anandeanthera* sp. e *Senna macranthera* em altas densidades. A produção de café neste tipo de sistemas agroflorestais foi extremamente baixa (Campanha et al., 2004) sendo insustentável para os agricultores. Após esta experiência os agricultores decidiram reduzir tanto o número de indivíduos quanto as espécies associadas com os cafeeiros. Atualmente, predominam as espécies arbóreas nativas, pela fácil adaptação às condições locais e a produção de madeira e frutas. A seleção de espécies e o adensamento, junto com práticas de manejo como poda e adubação, podem reduzir a competição por recursos (Schroth et al., 2001). No entanto, existe pouco conhecimento sobre a resposta dos cafeeiros associados com espécies arbóreas nativas sob as condições de produção dos agricultores. Além disso, a alta complexidade das inter-relações entre os componentes do sistema dificulta a identificação dos fatores responsáveis pela baixa produção.

A simplificação dos sistemas agroflorestais é uma forma rápida de resolver a baixa produção dos cafeeiros, mas pode resultar na redução da biodiversidade local. Alguns sistemas simplificados podem apresentar produção de café similar à dos sistemas altamente diversificados, em compensação diminuem a geração de subprodutos, a biodiversidade e a conservação do solo (Romero-Alvarado et al, 2002). Inclusive o manejo intensivo dos cafeeiros pode chegar a causar a extinção de espécies florestais (Senbeta e Denich, 2006). É importante encontrar o equilíbrio entre produção e o número de indivíduos e espécies associadas aos cafeeiros, para otimizar os benefícios do sistema tanto ecológica como economicamente.

O presente trabalho faz parte de um esforço dos pesquisadores para contribuir com a geração de conhecimento sobre o desempenho dos cafeeiros e as árvores em um sistema agroflorestal. A equipe de trabalho acredita que a pesquisa *in situ* facilita a participação dos agricultores e a construção conjunta de estratégias viáveis, para melhorar os sistemas agroflorestais locais. O objetivo da pesquisa foi avaliar o efeito da distância, do número de indivíduos e das espécies arbóreas sobre os fatores ambientais e sobre a produção de cafeeiros em sistema agroflorestal.

2. Material e métodos

2.1 Características do local

O experimento foi conduzido entre agosto de 2005 e julho de 2006, na propriedade do agricultor Ilson José de Medeiros Lopes. A área experimental está localizada no município de Araçuaia (MG, Brazil), dentro da área de amortecimento do parque estadual da Serra do Brigadeiro, a 20°40'11,9" Sul e 42°33'11,8" Oeste, com altitude de 808m. O terreno tem 45 % de declividade e situa-se na face norte.

A temperatura média anual é de 19,4°C, com média de 16 °C no inverno (julho até agosto) e 23 °C no verão (dezembro até março). A precipitação média anual é de 1221 mm com um período seco entre os meses de abril a setembro.

Os cafeeiros (*Coffea arabica* cv. catuaí vermelho), foram plantados em 1994 com espaçamento de 3 x 1,50m (2222 plantas ha⁻¹) e diversas espécies arbóreas nas entrelinhas dos cafeeiros (Figura1).

O solo, classificado como Latosolo Vermelho Amarelo, apresenta as seguintes características: pH (H₂O) 5,6; P⁺ 3,7 mg kg⁻¹; K⁺ 62 mg kg⁻¹; Ca⁺⁺ 3,2 cmol kg⁻¹; Mg⁺⁺ 0,8 cmol kg⁻¹, CTC (t) 4,16 cmol kg⁻¹, na profundidade de 0-20cm.

Segundo informação do agricultor, ao longo de 12 anos, a plantação tem sido adubada com esterco ou adubo mineral. O ano anterior ao início da pesquisa as plantas foram adubadas com 100g cova⁻¹ de adubo mineral 20-0-20 (N-P-K).

As espécies arbóreas foram identificadas e os indivíduos marcados. Foram escolhidas e marcadas quarenta plantas de café, em função das diferentes distâncias das árvores.

2.2 Determinação dos componentes ambientais

A radiação fotossinteticamente ativa (RFA) disponível para os cafeeiros foi medida com Radiômetro (Li-cor, inc. Model LI-185 B) em quatro pontos ao redor de cada planta. As medições foram realizadas mensalmente, durante um ano, entre as 11h e as 14h. A porcentagem de bloqueio da RFA (sombra) foi determinada a partir do valor de RFA medido a pleno sol e o valor médio das medições realizadas em cada planta de café.

A umidade do solo (%) foi medida durante a época seca, aos 40 e 55 dias após a última chuva. As amostras foram coletadas entre 0 a 20 e 20 a 40 cm sob a saia das plantas de café marcadas e determinada a umidade do solo segundo a metodologia descrita por Gardner (1986).

Para determinar o teor de potássio (K) e fósforo (P) no solo, em agosto, foram tomadas amostras de solo na projeção da copa de cada planta, na profundidade de 0 a 20cm. As amostras foram tomadas no mês de julho de 2005 após a colheita. Nas amostras coletadas foi realizada análise de rotina. Para a determinação do teor de P foi utilizada a técnica de absorção espectrofotométrica e para o K fotometria de chama (Jackson, 1958).

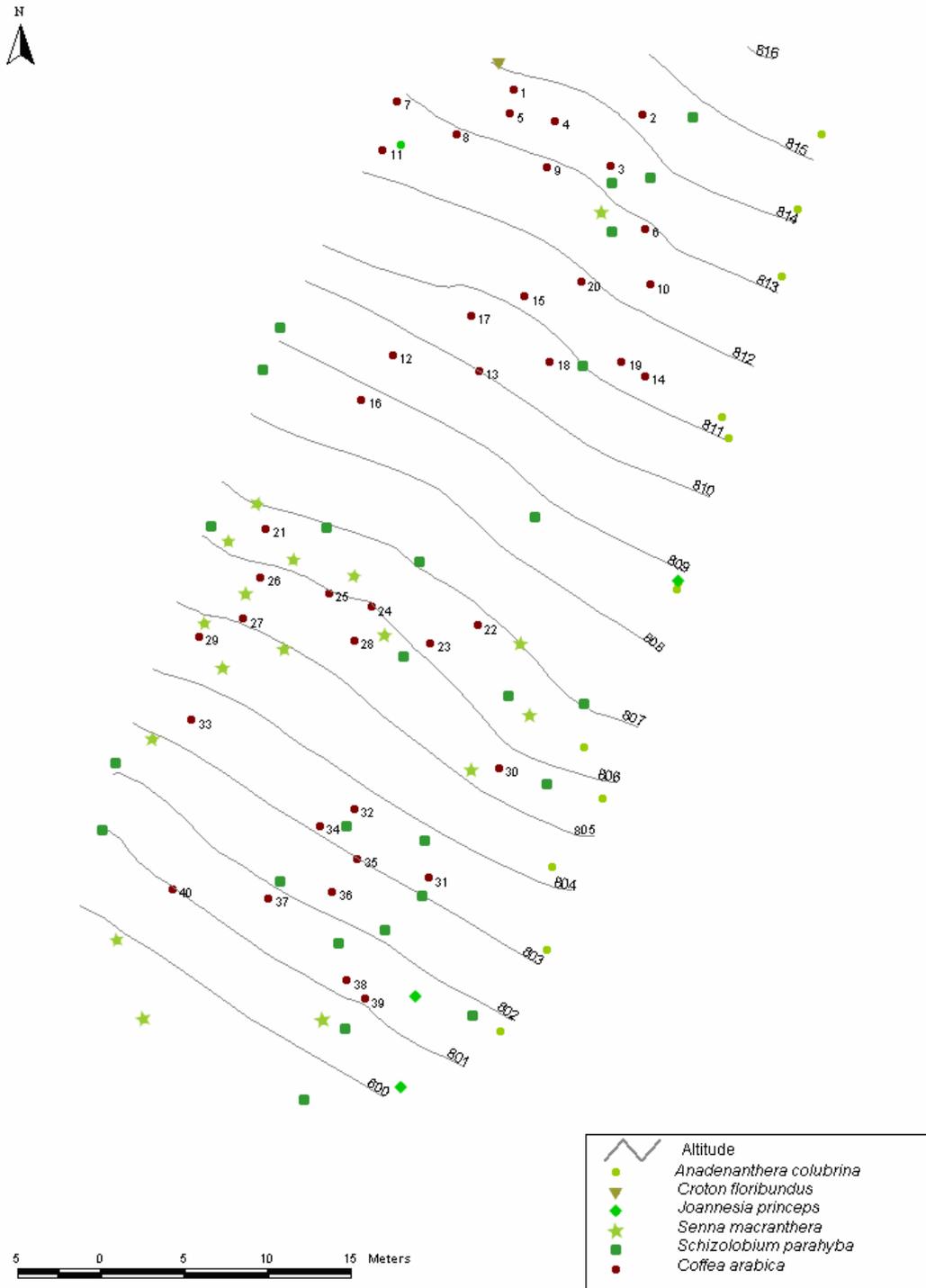


Figura 1. Localização de espécies arbóreas e plantas de café (1-40) na área do experimento. Araçuaia, MG.

2.3 Componente arbóreo e a cultura

As espécies presentes no sistema agroflorestal foram: *Schizolobium parahyba* (Vell.) Toledo (guapuruvu), *Senna macranthera* (Colladon) Irwin & Barneby (fedegoso), *Joannesia princeps* Vell. (cutieira), *Anadenanthera colubrina* (Vell.) Brena (angico) e *Croton floribundus* Spreng. (capixingui). Em julho de 2005 foram marcadas as árvores com perímetro de caule a 1,30m (PAP) maior de 10 cm e determinado o número de indivíduos por espécie. A densidade relativa foi calculada segundo Martins (1991) da seguinte forma: $DR = 100ni/N$ [%], onde DR = Densidade relativa; *ni* = Número de indivíduos da espécie em estudo; *N* = número total de indivíduos arbóreos presentes na área. Foi medido o PAP dos indivíduos marcados e determinada a altura média dos indivíduos por espécie arbórea (Tabela 1).

Tabela 1. Densidade relativa, Perímetro do caule a 1,30m (PAP) e altura média dos indivíduos por espécie, em sistema agroflorestal com café. Araponga, MG.

Nome científico	Densidade Relativa	PAP cm	Altura m
<i>Schizolobium parahyba</i>	47,2	74	10
<i>Senna macranthera</i>	33,3	85	7
<i>Anadenanthera columbrina</i>	8,3	41	7
<i>Joannesia princeps</i>	8,3	92	8
<i>Croton floribundus</i>	2,8	56	8

A altura e a distribuição das árvores e das plantas de café no terreno foram determinadas por meio do levantamento topográfico planialtimétrico, utilizando a estação total Topcon gts 212®. Os dados foram georeferenciados e determinadas as distâncias de todas as árvores a todos os cafeeiros com ajuda do programa ArcView® (Figura 1).

Devido à alta densidade relativa de *S. parahyba* e de *S. macranthera* e o interesse dos agricultores, estas espécies foram estudadas mais detalhadamente. Em reuniões prévias ao início da pesquisa, os agricultores indicaram *S. parahyba* como espécie não adequada para consorciar com os cafeeiros e *S. macranthera* como vantajosa nos sistemas agroflorestais com café.

Foram determinadas três faixas de distância concêntricas em torno a cada cafeeiro marcado. Essas faixas foram de 0 a 3 m, 3,1 a 5 m e 5,1 a 7m. Em cada faixa de distância foi determinado o número de indivíduos de cada espécie arbórea (Figura 2).

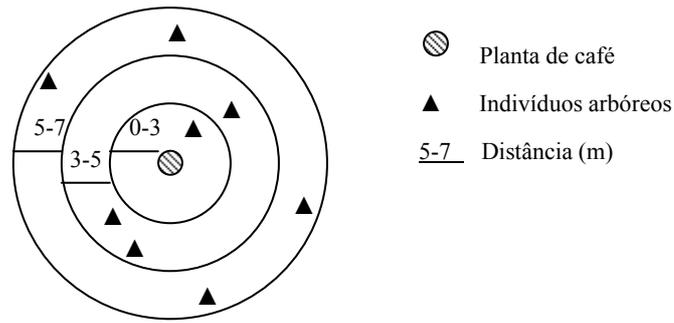


Figura 2. Distribuição das faixas de distância estabelecidas ao redor de cada planta de café marcada. Araponga, MG.

A queda de serrapilheira das árvores foi determinada por coletas mensais segundo a metodologia modificada por Campanha et al., (2004). Telas de nylon de 0,25m² foram colocadas sobre o solo nas entrelinhas, próximas a cada cafeeiro marcado. Mensalmente foi retirada a massa de folhas das telas e separado o material por espécie. Posteriormente o material foi submetido a secagem em estufa de ventilação forçada de ar à 70°C até massa constante. Foi calculada a massa seca de serrapilheira depositada, acumulada ao longo do ano.

O teor de nitrogênio na serrapilheira foi determinado em folhas recém caídas de cada espécie arbórea. As folhas foram secas em estufa de ventilação forçada de ar à 70°C, até massa constante. O material foi moído para a determinação de nitrogênio total pela metodologia de Kjenldhal (Bremmer e Mulvaney, 1982). O teor de nitrogênio nas folhas foi multiplicado pela massa de serrapilheira produzida ao longo do ano para determinar o conteúdo de nitrogênio na serrapilheira por ano (N serra).

A produção por planta foi determinada a partir da média de produção durante as safras de 2005 e 2006 (durante os meses de junho e julho). Os frutos foram secos até umidade de 13% e calculada a produção de café beneficiado em gramas por planta.

2.4 Procedimento estatístico

Inicialmente, através de modelos de regressão simples, foi relacionada a produção das plantas de café com número de indivíduos de cada espécie arbórea presente nas faixas de distância estabelecida, de acordo com Zar (1999). Posteriormente, para contornar o efeito da colinearidade entre variáveis, foi realizada análise de trilha, seguindo o procedimento inicialmente desenvolvido por Wright (1921) e apresentado em Zar (1999). À análise de trilha foi realizada para estabelecer as relações de causa existentes entre as variáveis do modelo, que representa as interações entre elementos

avaliados no sistema agroflorestral. A função principal desta análise é exploratória e portanto, os resultados não podem ser considerados conclusivos.

Na análise de trilha foi estudado o efeito do incremento do número de indivíduos de *S. parahyba* e *S. macranthera*, em cada intervalo de distância, sobre a produção da plantas de café. De acordo com o conhecimento teórico dos processos foram elaborados diagramas causais, que mostraram o inter-relacionamento das variáveis analisadas. Na análise de trilha foi incluída unicamente a umidade do solo nos primeiros 20 cm de profundidade, 40 dias após chuva, devido à alta colinearidade entre esta variável e a umidade do solo de 20-40cm 40 dias após chuva e 0-20 e 20-40cm 55dias após chuva. A serrapilheira acumulada e o conteúdo nitrogênio na serrapilheira também apresentaram alta colinearidade, sendo retirado da análise o conteúdo de nitrogênio na serrapilheira.

O número de indivíduos de *S. parahyba* e *S. macranthera* presentes em cada faixa de distância foi estabelecido como variável preditora. Esta variável foi relacionada com seis variáveis de resposta: quantidade de serrapilheira acumulada, umidade do solo, sombra e teores de P e K no solo. A produção das plantas de café foi estabelecida como variável endógena dependente. Os coeficientes de trilha foram obtidos por meio de equações de regressão com significância de 5% para o teste t de Student.

3. Resultados

As regressões simples, que estimam o comportamento da produção com relação ao número de indivíduos de cada espécie arbórea em cada intervalo de distância, confirmaram a influência de algumas espécies de árvores sobre a produção dos cafeeiros (Tabela 2).

Tabela 2. Efeito do número de indivíduos de *Schizolobium parahyba*, *Senna macranthera*, *Joannesia princeps*, *Anandenanthera columbrina* e *Croton floribundus* sobre a produção de café, em intervalos de distância de 0 e 3m, 3,1 a 5m e 5,1 a 7m.

Distância (m)	Espécie	Intercepto	Inclinação	t	GL	p	r ²
0 a 3	<i>S. parahyba</i>	330,7	-92,9*	-2,764	38	0,008	0,167
	<i>S.macranthera</i>	301,6	-19,1	-0,555	38	0,582	0,080
	<i>A.columbrina</i>	283,4	67,1	1,057	38	0,297	0,028
	<i>J.princeps</i>	294,3	-15,2	-0,147	38	0,886	0,000
	<i>C.floribundus</i>	288,6	196,4	1,365	38	0,180	0,046
3,1 a 5	<i>S. parahyba</i>	351,3	-60,5*	-2,823	34	0,007	0,189
	<i>S.macranthera</i>	309,2	19,3	0,623	33	0,537	0,112
	<i>A.columbrina</i>	285,6	17,4	0,216	34	0,830	0,001
	<i>J.princeps</i>	289,7	175,2	1,187	36	0,243	0,037
	<i>C.floribundus</i>	278,3	202,1*	2,039	37	0,048	0,101
5,1 a 7	<i>S. parahyba</i>	401,3	-81,9*	-2,826	32	0,008	0,199
	<i>S.macranthera</i>	323,6	-25,7	-0,851	34	0,401	0,021
	<i>A.columbrina</i>	306,3	-39,5	-1,032	32	0,309	0,032
	<i>J.princeps</i>	284,6	94,4	0,889	35	0,380	0,022
	<i>C.floribundus</i>	275,0	60,0	0,639	35	0,526	0,011

* t significativo ao nível de 5% de probabilidade

O aumento do número de indivíduos de *S. parahyba*, em todos os intervalos de distância, afetou negativamente a produção dos cafeeiros. A produção média diminuiu com a redução da distância entre os cafeeiros e as árvores dessa espécie. O aumento do número de indivíduos de *C. floribundus* entre 3,1-5m teve efeito positivo sobre a produção, enquanto *S. macranthera*, *J. princeps*, *A. columbrina* não influenciaram a produção dos cafeeiros (Tabela 3).

Durante o experimento os valores médios das variáveis avaliadas foram: produção por planta, 293,5 g (\pm 143,6) de café beneficiado; umidade do solo quarenta dias após chuva, nos primeiros 20 cm do solo, 21,9 % (\pm 1,0). Porcentagem de sombra, 65 % (\pm 16,8), equivalente a 228,018 $\mu\text{mol fotons m}^{-2}\text{s}^{-1}$ (\pm 114,081). Serrapilheira acumulada, 4,12 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ (\pm 2,69); P no solo, 7,4 mg dm⁻³ (\pm 6,2) e K no solo, 79,2 mg dm⁻³ (\pm 48,1).

Na análise de trilha foi observado o efeito direto negativo da presença de árvores de *S. parahyba* em todos os intervalos de distância estabelecidos (Figuras 3, 4 e 5). O número máximo de indivíduos de *S. parahyba* no intervalo de distância de 0 a 3m foi dois, de 3,1 a 5m foi quatro e de 5,1 a 7m três.

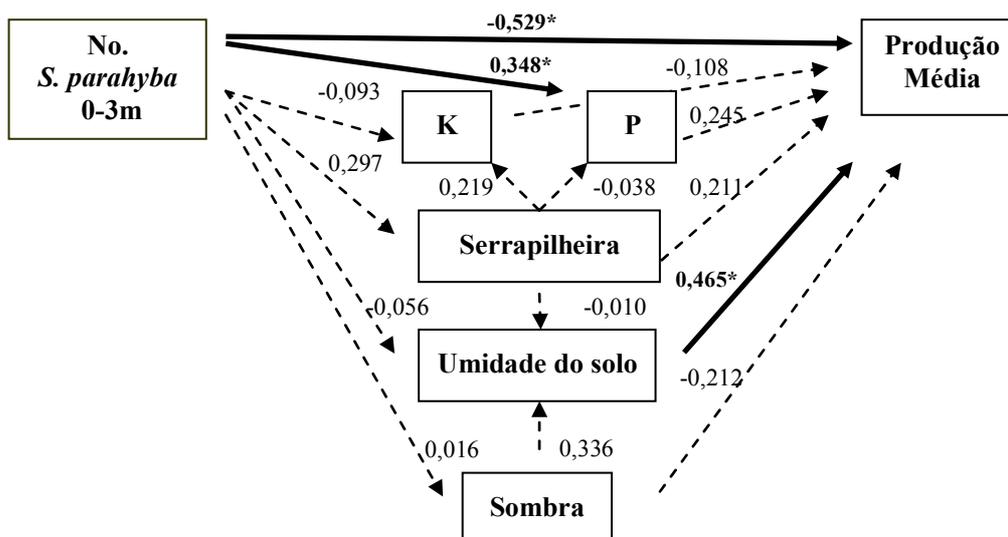


Figura 3. Efeito do número de indivíduos de *Schizolobium parahyba*, localizados de 0 a 3m dos cafeeiros, sobre a produção de café (2005-2006) e sobre as condições ambientais do sistema agroflorestal. Setas contínuas (→) representam efeito significativo e setas pontilhadas (---) ausência de efeito. Araponga, MG.

O efeito negativo direto das árvores de *S. parahyba* representa a influência das árvores desta espécie sobre algum fator não contemplado pelo modelo, que afeta de forma negativa a produção dos cafeeiros.

A umidade do solo apresentou efeito positivo sobre a produção em todos os intervalos de distância (0 a 7 m), sem ser influenciada pela presença das árvores de *S. parahyba* (Figuras 3, 4 e 5). A quantidade de serrapilheira acumulada ao longo do ano não apresentou efeito sobre a produção em nenhum dos intervalos de distância estabelecidos. Também não foi observado efeito de *S. parahyba* sobre esta característica (Figuras 3, 4 e 5).

O número indivíduos de *S. parahyba* presentes entre 0 e 3 m dos cafeeiros apresentou efeito positivo sobre o teor de P no solo (Figura 3).

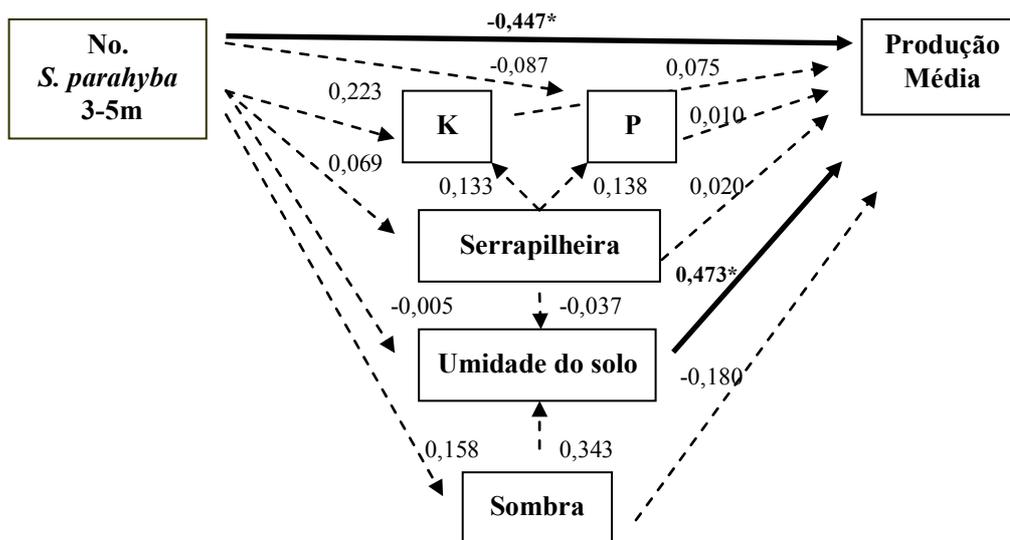


Figura 4. Efeito do número de indivíduos de *Schizolobium parahyba*, localizados de 3,1 a 5m dos cafeeiros, sobre a produção de café (2005-2006) e sobre as condições ambientais do sistema agroflorestral. Setas contínuas (→) representam efeito significativo e setas pontilhadas (---) ausência de efeito. Araponga, MG.

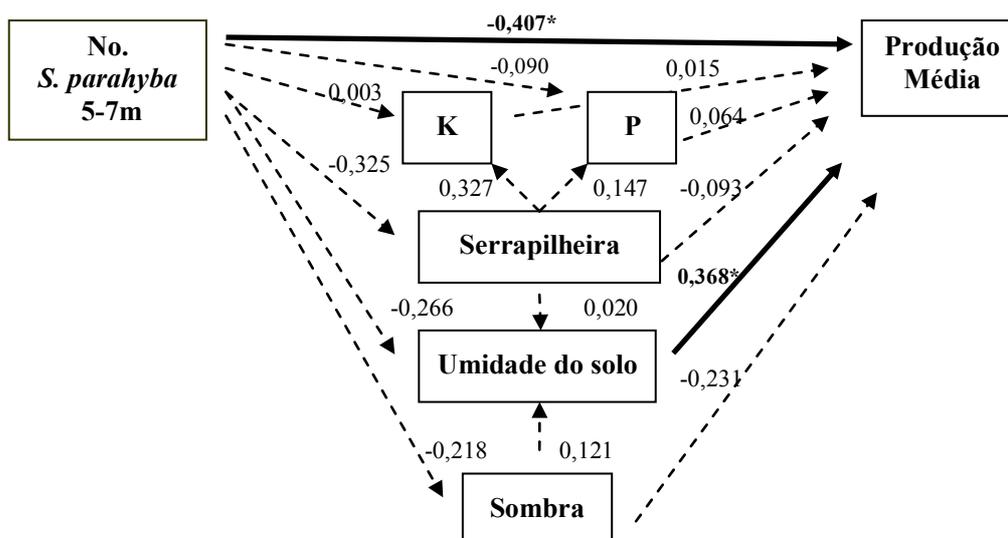


Figura 5. Efeito do número de indivíduos de *Schizolobium parahyba*, localizados de 5,1 a 7m dos cafeeiros, sobre a produção de café (2005-2006) e sobre as condições ambientais do sistema agroflorestral. Setas contínuas (→) representam efeito significativo e setas pontilhadas (---) ausência de efeito. Araponga, MG.

A magnitude da influência direta do número de indivíduos de *S. parahyba* (representada pelo valor do coeficiente de trilha) sobre a produção diminuiu com o aumento da distância das árvores (Figuras 3, 4 e 5).

Diferente do *S. parahyba*, o número de indivíduos de *S. macranthera* não apresentou efeito direto sobre a produção dos cafeeiros em nenhuma das faixas de distância estabelecidas (Figura 6, 7 e 8). O número máximo de indivíduos de *S.*

macranthera no intervalo de distância de 0 a 3 foi dois, de 3,1 a 5 três e de 5,1 a 7 m, dois.

O número de indivíduos de *S. macranthera* presentes em todas as faixas de distância afetaram positivamente o teor de K no solo (Figuras 6, 7 e 8).

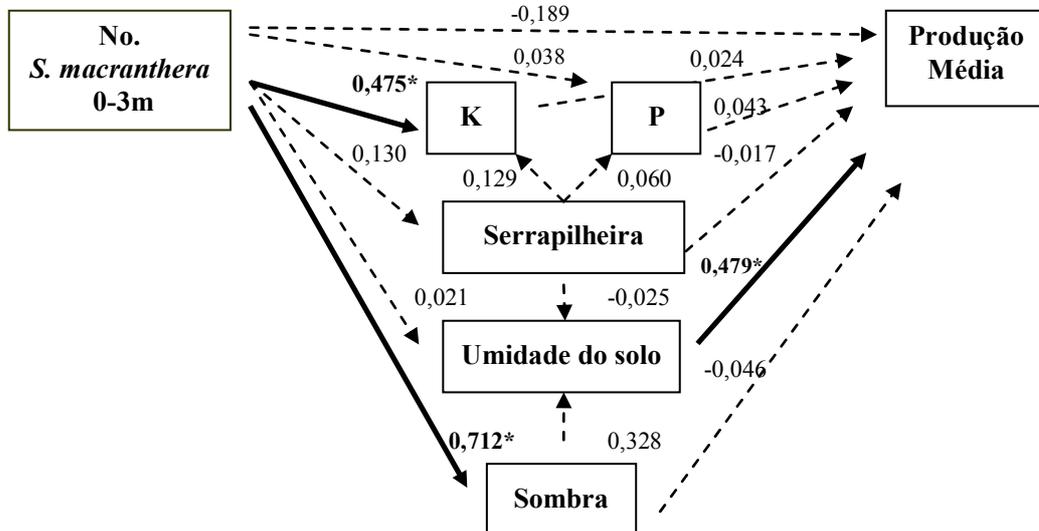


Figura 6. Efeito do número de indivíduos de *Senna macranthera*, localizados de 0 a 3m dos cafeeiros, sobre a produção café (2005-2006) e sobre as condições ambientais do sistema agroflorestal. Setas contínuas (→) representam efeito significativo e setas pontilhadas (---) ausência de efeito ($p < 0,05$). Araponga, MG.

Com o aumento do número de indivíduos de *S. macranthera* entre os 0 a 3 m aumentaram o teor de potássio no solo e a sombra (Figura 6). A umidade do solo afetou positivamente a produção sem ser afetada pelo número de indivíduos de *S. macranthera* presentes nesta faixa de distância.

O número de árvores de *S. macranthera* presente entre 3 e 5 m afetou positivamente a produção dos cafeeiros através do efeito da sombra, que afetou a umidade do solo e por sua vez afetou positivamente a produção (Figura 7).

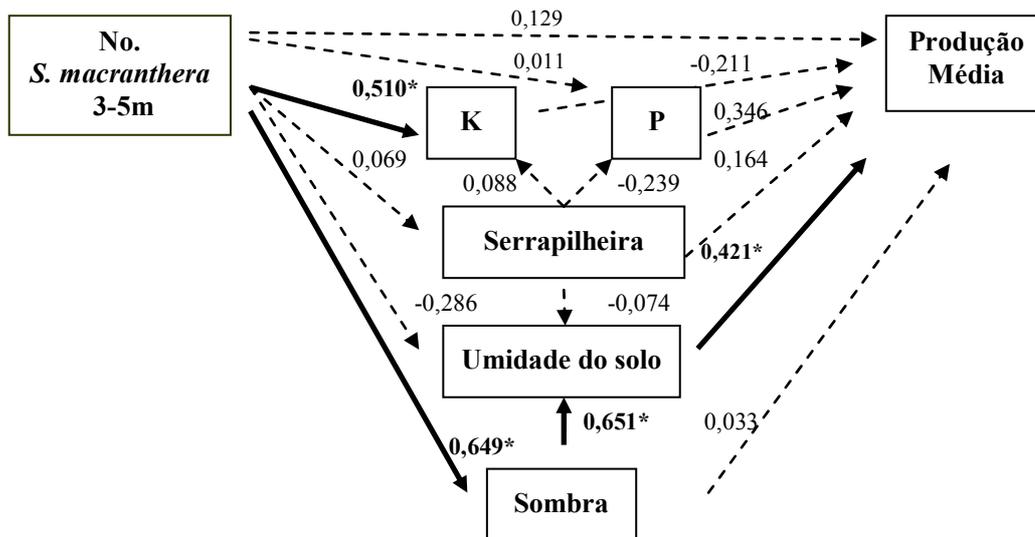


Figura 7. Efeito do número de indivíduos *Senna macranthera*, localizados de 3,1 a 5m dos cafeeiros, sobre a produção de café (2005-2006) e sobre as condições ambientais do sistema agroflorestal. Setas contínuas (→) representam efeito significativo e setas pontilhadas (---) ausência de efeito. Araponga, MG.

Para o intervalo de distância de 5,1 a 7 m o número de indivíduos de *S. macranthera* causou o aumento no sombreamento, que afetou positivamente a umidade do solo. Neste intervalo de distância a umidade do solo não afetou a produção (Figura 8).

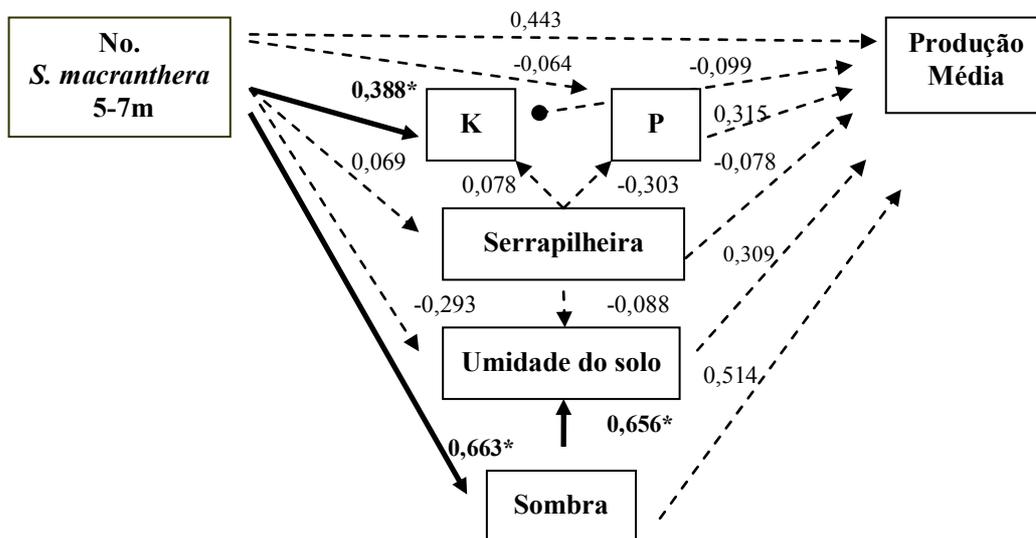


Figura 8. Efeito do número de indivíduos de *Senna macranthera*, localizados de 5,1 a 7m dos cafeeiros, sobre a produção de café (2005-2006) e sobre as ambientais do sistema agroflorestal. Setas contínuas (→) representam efeito significativo e setas pontilhadas (---) ausência de efeito. Araponga, MG

4. Discussão

Nos modelos de regressão linear simples observa-se o efeito negativo do aumento do número de indivíduos de *S. parahyba* sobre a produção das plantas de café em todas as faixas de distância estabelecidas. Este comportamento foi confirmado na análise de trilha. O baixo coeficiente de determinação observado nos modelos é característico dos sistemas multiespecíficos, nos quais existem efeitos aditivos entre elementos que devem ser estudados no longo prazo, uma vez que o tempo também afeta a magnitude das interações entre eles.

A produção de café observada (10 sc ha^{-1}) é considerada baixa para o estado de Minas Gerais. No entanto, se encontra entre os valores médios registrados no México, em sistemas tradicionais ($9,55 \text{ sc ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$) ou com sombra de *Inga* spp. ($12,09 \text{ sc ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$) (Peeters et al., 2003).

S. parahyba é uma espécie pioneira típica de mata atlântica (Pariona et al., 2003), que pelo seu rápido crescimento, pode ser altamente competitiva durante a fase inicial de crescimento. Apesar destas características, nas condições do experimento não foi observada competição por nutrientes (P e K) nem por água. Árvores adultas geralmente desenvolvem raízes profundas, que permitem a utilização de água de camadas profundas do solo. O desenvolvimento de raízes profundas é freqüente em árvores que crescem em regiões secas, como um mecanismo para ter acesso à água disponível no subsolo (Lehmann, 2003).

O efeito negativo de *S. parahyba* sobre a produção de café pode estar relacionado com a liberação de substâncias alelopáticas. Em sementes desta espécie, têm sido observada a presença de proteínas inibidoras de protease (*Schizolobium parahyba* chymotrypsin inhibitor-SPCI-), que interferem a transcrição e no ciclo celular e são produzidas pelas árvores como mecanismo de defesa ao ataque de pragas (Teles et al., 2003; Souza et al., 2000).

Os resultados do experimento indicam a existência de uma estreita relação entre a manutenção da umidade do solo durante a época seca e o aumento da produção das plantas de café. O sombreamento proporcionado pelo número de indivíduos de *S. macranthera* entre 3,1 e 5 m permitiu conservar a umidade do solo durante a época da estiagem. Isto resultou em uma vantagem produtiva para os cafeeiros que se encontraram nesta faixa de distância. Em distâncias menores as raízes de *S. macranthera* podem ter absorvido parte da água disponível, diminuindo o efeito benéfico do sombreamento. Em distâncias maiores (5,1 a 7 m), o efeito sobre umidade

do solo foi insuficiente para afetar a produção. Em sistemas agroflorestais tem sido observado que o sombreamento pode reduzir a transpiração da cultura e a evaporação da água do solo, fazendo mais eficiente o uso da água (Wallace et al., 1999). No entanto, este efeito depende da acertada escolha das espécies arbóreas, já que algumas espécies apresentam alta taxa de transpiração na estação seca e podem aumentar o consumo de água no sistema (Kanten et al., 2006).

Da Matta, (2004) afirma que em regiões com longa estiagem e alta taxa de evaporação, o déficit de pressão de vapor é o fator mais limitante na produção dos cafeeiros. Em sistemas agroflorestais com café têm se observado o efeito das árvores na diminuição de extremos climáticos (temperatura, umidade relativa e radiação solar) e regulação da umidade do solo (Lin, 2007). Temperaturas mais amenas reduzem a evaporação da água do solo e favorecem a diminuição do déficit de pressão de vapor nas folhas das plantas de café, reduzindo a sua taxa de transpiração (Kanten et al., 2006).

Nas condições do experimento não foi observado efeito do sombreamento sobre a produção. No local do experimento o valor anual médio de radiação incidente foi de 228 μmol de ftons $\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$, próximo a o valor de saturação de radiação estabelecido para plantas de café sombreadas (300 μmol de ftons $\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$) (DaMatta, 2004). Isto pode indicar disponibilidade de radiação suficiente para manter os níveis de fotossínteses necessários para o desenvolvimento e produção das plantas de café. Segundo estes resultados, a porcentagem de sombra observada no experimento (65%) não foi limitante para a cultura. No México, foi observada diminuição da produção a partir de sombreamento de 48% (Soto-Pinto et al., 2000).

A baixa produção de frutos na lavoura pode estar mais relacionada com a redução da diferenciação das gemas florais por efeito da sombra, que leva a formação de menor número de flores e portanto, de frutos por planta. O aumento do nível de giberelinas observado nas plantas sombreada também pode causar inibição da formação de gemas florais (Kumar, 1979)

O enriquecimento do teor de K no solo por influência de *S. macranthera*, pode ter a sua origem na lavagem das folhas das árvores pela chuva. Este mesmo comportamento foi observado por Giraldo e Jaramillo (2004), em árvores de *Inga edulis*. Apesar do aumento do teor de K no solo, este não foi suficiente para afetar a produção dos cafeeiros. O teor médio de potássio observado no experimento foi aproximadamente a metade do adequado para plantas em produção que demandam entre 117 e 156 mg kg^{-3}

por ano. No entanto isto não diminui a importância do papel das árvores na ciclagem de nutrientes que beneficia outros elementos do sistema visto de forma integral.

5. Conclusões

- A disponibilidade de água durante a época seca é determinante para elevar a produção dos cafeeiros, no local de realização do experimento.
- *S. parahyba* em distâncias menores a sete metros das plantas de café causa queda na produção.
- O aumento do número de indivíduos de *S. macranthera* entre 3,1 e 5 metros das plantas de café aumentam o sombreamento, que por sua vez permite conservar a umidade do solo por mais tempo durante a estiagem e favorece a produção de café.
- Apesar do incremento de potássio causado por *S. macranthera* em distâncias de até 7m e de *S. parahyba*, entre 0 e 5m este efeito não foi refletido no aumento da produção de café.

Referências

- Baggio A.J., Caramori P.H., Androcioli Filho A., Montoya L (1997). Productivity of southern Brazilian coffee plantations shaded by different stockings of *Grevillea robusta*. *Agrofor Syst* 37:111-120.
- Bremner J.M, Mulvaney C.S. Nitrogen total (1982) In: Page A.L. (Ed) *Methods of soil analysis, Part 2*. 2 ed. Soil Science Society of America, Madison, pp 595-624.
- Cardoso I.M., Guijt I., Franco F.S., Carvalho A.F., Ferreira Neto P.S (2001) Continual learning for agroforestry system design: university, NGO and farmer partnership in Minas Gerais, Brazil. *Agricult Syst* 69:235-257.
- Campanha M.M., Santos R.H. S., Freitas G.B., Martinez E.P., Garcia S., Finger F.L (2004) Growth and yield of coffee plants in agroforestry and monoculture systems in Minas Gerais, Brazil. *Agrofor Syst* 63: 75-82.
- DaMatta M.F (2004) Ecophysiological constraints on the production of shaded and unshaded coffee: a review. *Field Crops Res* 86:99-114.
- Gardner W.H (1986), Water content. In Klute A (ed) *Methods of Soil Analysis: Part I--Physical and mineralogical methods: Soil Science Society of America Book Series No. 5*. Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin, p 493-544.

- Giraldo J.J.F., Jaramillo R.A (2004) Ciclo hidrológico y transporte de nutrientes en cafetales bajo diferentes densidades de sombrero de guamo. *Cenicafé*, 55(1):52-68.
- Grossman J M, Sheaffer C, Wyse D, Graham P H (2005) Characterization of slow-growing root nodule bacteria *Inga oerstediana* in organic coffee agroecosystems in Chiapas, Mexico. *Appl Soil Ecol* 29 (3):236-251.
- Jackson M L (1958) Soil chemical analysis. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ.
- Kumar D (1979) Some aspects of the physiology of *Coffea Arabica* L. A review. *Kenya Coffee* 44: 9-47.
- Lehmann J (2003) Subsoil root activity in tree-based cropping systems. *Plant Soil* 255:319-331.
- Lin B B (2007) Agroforestry management as an adaptive strategy against potential microclimate extremes in coffee agriculture. *Agr For Met* 114:85-94.
- Martins F R (1991) Estrutura de uma floresta mesófila. Campinas: Ed. UNICAMP 246p.
- Pariona W., Fredericksen T.S., Licona J.C (2003). Natural regeneration and liberation of timber species in logging gaps in two Bolivian tropical forest. *For Ecol Manage* 181:313-322.
- Peeters L.Y.K., Soto-Pinto L., Perales H., Montoya G., Ishiki, M (2003) Coffee production, timber, and firewood in traditional and *Inga*-shaded plantations in Southern Mexico. *Agric Ecosyst and Environ* 95:481-493.
- Romero-Alvarado Y., Soto-Pinto L., García-Barrios L., Barrera-Gaytán J.F (2002) Coffee yields and soil nutrients under the shades of *Inga* sp. vs. Multiple species in Chiapas, México. *Agrofor Syst* 54: 215-224.
- Schaller M., Schroth G., Beer J., Jiménez F (2002) Species and site characteristics that permit the association of fast-growing trees with crops: the case of *Eucalyptus deglupta* as coffee shade in Costa Rica. *For Ecol Manage* 175(1-3):206-215.
- Schroth G., Lehmann J., Rodrigues M.R.L., Barros E., Macêdo L.V (2001) Plant-soil interactions in multistrata agroforestry in the humid tropics. *Agrofor Syst* 53:85-102.
- Senbeta F, Denich M (2006) Effects of wild coffee management on species diversity in the afro-montane rainforest in Ethiopia. *For Ecol Manage* 232 (1-3): 68-74
- Soto-Pinto L., Perfecto I., Castillo-Hernandez J., Caballero-Nieto J (2000) Shade effect on the coffee production at the northern Tzeltal zone of the state of Chiapas, Mexico. *Agric Ecosyst Environ* 80:61-63.

Souza De E.M.T., Teles R.C.L., Siqueira De A.E.M., Freitas De, S.M (2000) Effects of denaturing and stabilizing agents on the inhibitory activity and conformational stability of *Schizolobium parahyba* chymotrypsin inhibitor. J Prot Chem 19(2):507-513.

Tesfay T., Malmer A (2004) Decomposition of leaves from two indigenous trees of contrasting qualities under shaded-coffee and agricultural land-uses during the dry season at Wondo Genet, Ethiopia. Soil Biol Biochem 36: 777-786.

Teles R.C.L., Souza de E.M.T., Calderon L de A, Freitas de S.M (2004) Purification and pH stability characterization of chymotrypsin inhibitor from *Schizolobium parahyba* seeds. Phytochem 65:793-799.

Wallace J.S., Jackson C.K., Ong C.K (1999) Modelling soil evaporation in an agroforestry system in Kenya. Agric For Meteorol 94:189-202.

Wright, S (1999) Correlation and causation. J Agric Res 34(4):603-613

Zar J.H (1999) Biostatistical Analysis. New Jersey, Prentice Hall.

Deposição de serrapilheira de *Senna macranthera*, efeito sobre a produção de plantas de café em sistema agroflorestal e dinâmica de liberação de nutrientes

Resumo

O aporte de biomassa e nutrientes assim como a qualidade da serrapilheira proveniente do componente arbóreo do sistema agroflorestal, são características extremamente importantes para a escolha das espécies arbóreas associadas à cultura. Os objetivos do trabalho foram: a) Descrever e quantificar a deposição de serrapilheira de *Senna macranthera* e avaliar sua influência, em cada estação, sobre a produção de café e sobre os fatores ambientais. b) Caracterizar a composição de folhas frescas. c) Avaliar a dinâmica de decomposição e liberação de nutrientes. Foi quantificada a queda de serrapilheira mensalmente e avaliado o efeito da queda de serrapilheira em cada estação do ano, sobre a produção dos cafeeiros e sobre variáveis ambientais do sistema agroflorestal. Folhas senescentes e frescas foram caracterizadas e foi avaliada a dinâmica de decomposição e liberação de nutrientes em material fresco. Foi determinada a quantidade de nitrogênio fixado biologicamente por esta espécie. *S. macranthera* produziu 12 Kg de MS indivíduo⁻¹ano⁻¹, sendo que o período de maior queda foi entre novembro e fevereiro, época em que as plantas de café demandam grandes quantidades de nutrientes. A serrapilheira depositada no solo foi influenciada pelo número de indivíduos de *S. macranthera* presentes entre 0 e 3 metros dos cafeeiros. Houve efeito da serrapilheira depositada no outono (0 a 3 m) e na primavera (0 a 5 m) sobre a produção média dos cafeeiros. A serrapilheira não afetou significativamente o teor de P e K do solo, nem a umidade do solo. As folhas frescas apresentaram alto teor de N e P assim como de lignina e polifenóis. A metade da massa foi decomposta aos 25 dias e a metade do nitrogênio liberado em 29 dias. A chuva, a baixa relação C:N do material e o fato do material ter sido colocado em contato direto com o solo podem ter favorecido a rápida decomposição e liberação de N e K. *S. macranthera* apresentou evidências de fixação biológica de nitrogênio. Apesar do potencial da espécie de fornecer nutrientes ao sistema, este pode ser insuficiente para suprir alta demanda de nutrientes dos cafeeiros com alta produção

Palavras chave: Fixação de nitrogênio, Produção de biomassa, Sistema agroflorestal, Teor de nutrientes, Umidade do solo, Velocidade de decomposição,

1. Introdução

Nos sistemas agroflorestais são bem conhecidos os benefícios da incorporação de diversas espécies arbóreas ao sistema. Existem vantagens econômicas, pela redução do uso de fertilizantes minerais e a produção de alimentos e madeira (Ayuk et al., 1999) e ecológicas por permitir o incremento da diversidade local (Senbeta e Denich, 2006) e a conservação do solo (Hairiah et al., 2006). Em terrenos declivosos com solos degradados, como os da Zona da Mata de Minas Gerais, têm sido recomendada a implantação de sistemas agroflorestais como estratégia para a recuperação dos solos (Mendonça e Stott, 2003). Grande parte do aporte das árvores para a recuperação do solo vem dos nutrientes e da cobertura proporcionados pela serrapilheira. As folhas depositadas no solo favorecem o desenvolvimento da macro e microfauna, que por sua vez ajuda a melhorar a porosidade e a ciclagem de nutrientes (Hairiah et al., 2006).

Algumas espécies leguminosas como *Gliricidia sepium*, *Erythrina poeppigiana* e *Inga edulis* têm sido bem estudadas e são amplamente usadas pelo seu alto teor e a rápida liberação de nitrogênio, e pela rápida produção de biomassa após os cortes (Schroth et al., 2001; Schwendener et al., 2005).

Mais recentemente têm surgido pesquisas orientadas à avaliação das características de espécies nativas, para determinar o seu potencial de melhorar as condições do solo de acordo com as necessidades de cada local (Craven et al., 2007; Vaieretti et al., 2005; Albuquerque et al., 2005). As espécies nativas têm a grande vantagem de serem altamente adaptadas às condições de clima e solos locais, o que aumenta a sua chance de sobrevivência (Piotto et al., 2004).

Produtores de café em sistema agroflorestal na Zona da Mata de Minas Gerais vêm trabalhando na escolha de espécies, consideradas vantajosas para a produção de café, e para a recuperação dos solos pobres da região. *Senna macranthera* (Colladon) Irwin & Barneby (fedegoso) foi apontada pelos agricultores como uma espécie que produz abundante massa de folhas para cobertura do solo, cresce espontaneamente nos cafezais e aparentemente não apresenta efeito negativo sobre a produção dos cafeeiros. Esta espécie apresenta grande adaptação a solos pobres em fósforo (Flores-Aylas et al., 2003), é classificada como pioneira, de rápido crescimento, é muito freqüente em formações secundárias de regiões de altitude e considerada ideal para plantio em áreas degradadas.

Os objetivos do trabalho foram: a) Descrever e quantificar a deposição de serrapilheira de *S. macranthera* e avaliar sua influência, em cada estação, sobre a produção de café e sobre os fatores ambientais. b) Caracterizar a composição de folhas frescas. c) Avaliar a dinâmica de decomposição e liberação de nutrientes.

2. Material e métodos

2.1 Características do local

O experimento foi conduzido entre julho de 2005 e julho de 2006, em um sistema agroflorestal com café com 14 anos de idade, na propriedade do agricultor Ilson José de Medeiros Lopes. A área experimental está localizada no município de Araçuaia (MG, Brazil), dentro da área de amortecimento do Parque Estadual da Serra do Brigadeiro, a 20°40'11,9" Sul e 42°33'11,8" Oeste, com altitude de 808m. O terreno tem 28,5 % de declividade está voltado para o norte. A temperatura média anual entre agosto de 2005 e julho de 2006 foi de 19,4°C, com média de 16 °C no inverno (junho até setembro) e 23 °C no verão (janeiro até março). A precipitação média anual foi de 1221 mm, com um período seco entre os meses de abril a setembro que apresentou precipitação média de 29 mm. O solo, classificado como Latossolo Vermelho Amarelo, apresentava as seguintes características: pH (H₂O) 5,6; P⁺ 3,7 mg kg⁻¹; K⁺ 62 mg kg⁻¹; Ca⁺⁺ 3,2 cmol kg⁻¹; Mg⁺⁺ 0,8 cmol kg⁻¹, CTC (t) 4,16 cmol kg⁻¹, na profundidade de 0-20cm.

2.2 Produção de serrapilheira e características do sistema agroflorestal

A distribuição das árvores e das plantas de café no terreno foram determinadas por meio do levantamento topográfico planialtimétrico, utilizando a estação total Topcon gts 212®. Os dados foram georeferenciados e determinadas as distâncias de todos as árvores a 40 cafeeiros selecionados.

O espaçamento entre cafeeiros (*Coffea arabica* cv. Catuaí vermelho) é 3 x 1,50m e as espécies arbóreas se encontram plantadas nas suas entrelinhas. No ano anterior ao início da pesquisa e durante o período avaliado, os cafeeiros foram adubados com 100g cova⁻¹ da formulação 20-0-20 (N-P-K).

As árvores de *Senna macranthera* estudadas possuíam em média sete metros de altura e perímetro a 1,30m de 0,85 m. A densidade relativa (DR= 100ni/N [%]); onde DR = Densidade relativa; ni = Número de indivíduos da espécie em estudo; N= número total de indivíduos arbóreos presentes na área) das espécies encontradas no sistema agroflorestal

onde foi desenvolvida a pesquisa foram, 33,3% para *S. macranthera*, 47,4% para *Schizolobium parahyba* (Vell.) Toledo), 8,3% *Joannesia princeps* Vell., 8,3% para *Anadenanthera colubrina* (Vell.) Brenan e 2,8% para *Croton floribundus* Spreng. A alta densidade de *S. macranthera* no local, sua grande produção de serrapilheira e o fato de que os agricultores da região a classifiquem como uma espécie benéfica para consorciar com os cafeeiros, fez com que o trabalho de pesquisa se concentrasse no estudo do potencial desta espécie arbórea.

A queda de serrapilheira de *Senna macranthera* e de folhas de café foi determinada por coletas mensais segundo a metodologia modificada por Campanha et al. (2004). Telas de nylon de 0,25m² foram colocadas sobre o solo nas entrelinhas a 50 cm dos cafeeiros avaliados. Mensalmente foi retirada a massa de folhas e o material submetido à secagem em estufa de ventilação forçada a 70°C até massa constante. A produção média mensal de serrapilheira foi dividida pelo número de indivíduos presentes no sistema agroflorestal e somadas as quantidades observadas ao longo de um ano. A produção de serrapilheira no sistema foi expressa em kg de massa seca por indivíduo⁻¹ ano⁻¹.

A produção de serrapilheira em cada estação do ano foi calculada somando a produção mensal em cada ponto de amostragem naquele período. O inverno incluiu a serrapilheira depositada em julho, agosto e setembro; a primavera, outubro, novembro e dezembro; o verão, janeiro, fevereiro e março; o outono, abril, maio e junho.

Para avaliar o efeito da serrapilheira sobre a produção de café foram determinadas três faixas de distância concêntricas até sete metros, em torno a cada cafeeiro marcado. Em cada faixa de distância foi determinado o número de indivíduos de *S. macranthera*. Neste documento foram apresentadas unicamente as faixas de 0 a 3 e 3,1 a 5 m, uma vez que na faixa de 5,1 a 7m foi observado o mesmo comportamento da faixa de 3,1 a 5m.

A produção de cada cafeeiro foi obtida com a colheita dos frutos nas safras de 2005 e 2006 (durante os meses de junho e julho). Os frutos foram secos até umidade de 13% e calculada a produção de café beneficiado em gramas por planta.

A radiação fotossinteticamente ativa (RFA) disponível para cada planta de café marcada foi medida com Radiômetro (Li-cor, inc. Model LI-185 B) em quatro pontos ao redor de cada planta. As medições foram realizadas mensalmente, durante um ano, entre as 11h e 13h. A porcentagem de bloqueio da RFA (sombra) foi determinada a partir do valor de RFA medido a pleno sol e o valor médio das medições realizadas em cada planta de café.

A umidade do solo (%) foi medida durante a época seca, aos 40 e 55 dias após a última chuva e as amostras foram coletadas de 0 a 20 e de 20 a 40 cm sob a saia das plantas de café marcadas.

Para determinar o teor de K e P no solo foram tomadas amostras na projeção da copa de cada cafeeiro marcado, na profundidade de 0 a 20cm. As amostras foram tomadas no mês de julho de 2005 após a colheita. Para a determinação do teor de fósforo no solo foi utilizada a técnica de absorção espectrofotométrica e para o potássio fotometria de chama.

2.3 Caracterização e decomposição do material

Para avaliar o aporte potencial de nutrientes das árvores através da deposição de material fresco proveniente de podas, foram coletadas folhas frescas *S. macranthera* em agosto, época em que o agricultor poda alguns galhos baixos destas árvores. Foram colocados 100 g de folhas frescas (equivalente a 38,3 g massa seca) sobre o solo e posteriormente cobertas com malhas de nylon de 0,25 x 0,25m (2 x 4 mm). O material foi colocado nas entrelinhas da plantação de café o dia 9 de agosto de 2005. Foram estabelecidos 5 blocos completamente casualizados com 8 parcelas cada um, para serem coletadas em 9 datas, incluindo a amostragem inicial. As amostras foram colhidas aos 0, 3, 6, 8, 12, 16, 25, 35 e 50 dias após colocadas sobre o solo. Também foram coletadas folhas senescentes, ainda presas às árvores, para determinação da porcentagem de translocação dos nutrientes durante a senescência. Esta porcentagem foi calculada a partir da relação entre o teor de nutrientes das folhas frescas e das folhas senescentes.

Após a coleta o material foi submetido a secagem em estufa de ventilação forçada à 70°C até massa constante e posteriormente determinadas a massa seca e o teor de macro nutrientes. No material colhido no tempo zero foi determinado o teor de massa seca e posteriormente o teor de lignina, celulose e hemicelulose seguindo o método de fibra detergente ácido e o de polifenóis solúveis totais extraídos com metanol (50%) e determinados por colorimetria, utilizando-se o reagente de Folin-Denis (Goreing e Soest, 1970). Para determinar os teores de nutrientes foi realizada digestão nitricoperclórica e determinado o teor de P e K por colorimetria e fotometria de chama respectivamente. O teor de Ca e Mg foi determinado por espectrofotometria de absorção atômica. O teor N total foi determinado pelo método de destilação Kjeldahl. O conteúdo de nutrientes foi calculado multiplicando o teor de cada nutriente pela massa seca de serrapilheira em cada data de coleta.

A estimativa de fixação biológica de nitrogênio (FBN) por *S. macranthera* foi obtida pela técnica da abundância natural de ^{15}N . Foram coletadas amostras de folhas frescas de *S. macranthera* (leguminosa) e *Cróton floribundus* (planta de referência) do mesmo sistema agroflorestral, na mesma época. A FBN (%Ndfa) foi calculada a partir da equação: $\%Ndfa = 100 (\delta^{15}\text{N planta referência} - \delta^{15}\text{N leguminosa} - B)$. O valor de B (-1,30) foi tomado de *Prosopis glandulosa*, usado por Teixeira et al. (2006), por ser uma típica leguminosa arbórea forrageira.

2.4 Análise dos dados

Foi utilizada estatística descritiva para caracterizar o material vegetal. Os resultados de perda de massa e nutrientes foram submetidos à análise de variância usando o teste “t” ao nível 5% de significância.

A constante de decomposição foi gerada ajustando a perda de massa no tempo ao modelo exponencial negativo: $Y = Y_0 \cdot e^{-kt}$, em que Y é a percentagem de massa seca ou n nutriente remanescente no tempo “t”, em dias, “k” é a constante decomposição e Y_0 é a massa ou o teor inicial de nutriente (Thomas e Asakawa, 1993).

O tempo de meia vida da massa seca ($T_{0,50}$) e dos nutrientes foi calculado a partir da equação $T_{0,50} = \ln(2)/k$, em que $T_{0,50}$ é o tempo requerido para reduzir à metade a massa ou o conteúdo inicial do nutriente nas folhas de *S. macranthera*.

A influência da serrapilheira depositada em cada estação do ano sobre os fatores ambientais e a produção de café foi avaliada por meio da análises de trilha ($p < 0,05$). Na análise foram consideradas a presença dos indivíduos de *S. macranthera* e as variáveis teor de K e P, umidade do solo e o sombreamento dos cafeeiros. Para isto foram realizados diagramas de causa e calculados os coeficientes de trilha que quantificam a intensidade da relação entre as variáveis. Todos os dados foram analisados usando STATISTICA Version 6 (StatSoft).

As variáveis que apresentaram alta colinearidade foram eliminadas da análise de trilha seguindo o procedimento inicialmente desenvolvido por Wright (1999) e apresentado em Zar (1999). Por esta razão na análise de trilha não foram incluídas a umidade do solo na profundidade de 20-40 cm 40 dias após chuva, nem a umidade do solo 55 dias após chuva (em ambas as profundidades amostradas), que apresentaram alta correlação com a umidade do solo 40 dias após chuva, nos primeiros 20 cm de profundidade. Também não foi incluído o teor de N na serrapilheira por estar altamente correlacionado com a quantidade de serrapilheira depositada no solo.

3. Resultados

3.1 Massa de serrapilheira e efeito sobre a produção de café

Em média cada indivíduo de *S. macranthera* produziu 12,046 kg MS por ano. A época de maior queda de serrapilheira foi entre os meses de novembro e fevereiro, durante a estação quente e chuvosa do ano. Nestes meses, as árvores depositaram 52,8% do total depositado ao longo do ano (Figura 1). Por outro lado, as plantas de café apresentaram a maior queda de folhas durante o período frio e seco, sendo a queda mais acentuada no mês de junho (Figura 1).

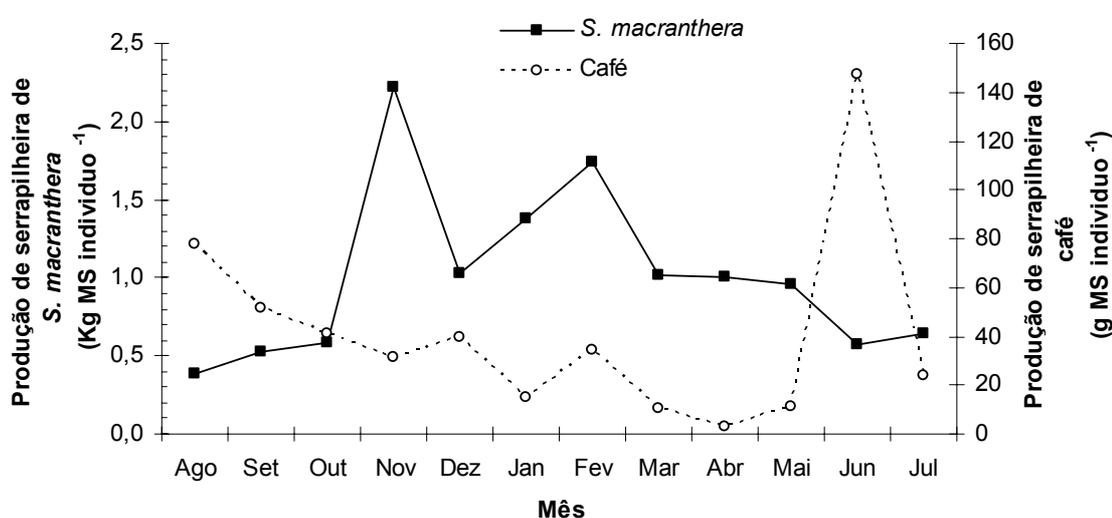


Figura 1. Distribuição da queda de serrapilheira de *Senna macranthera* e de café *Coffea arabica* ao longo do período de estudo (2005 – 2006).

O aumento do número de indivíduos de *S. macranthera* entre os 0 a 5 metros das plantas de café afetou de forma direta a massa de serrapilheira depositada e a sombra, em todas as estações (Figura 2). Durante o inverno o número de indivíduos localizados entre 0-3m de distância dos cafeeiros afetou o teor de potássio no solo, que por sua vez afetou positivamente a produção (Figura 2).

A produção média de café foi afetada positivamente pela massa de serrapilheira depositada pelos indivíduos de *S. macranthera* localizados entre 0-3 e 3,1-5 m no inverno e entre 0-3 no outono. Não foi observada influência da massa de serrapilheira sobre o teor de P e K do solo, nem sobre a umidade do solo. Apesar disto, a umidade do solo no inverno e no outono apresentou efeito positivo sobre produção das plantas de café (Figura 2).

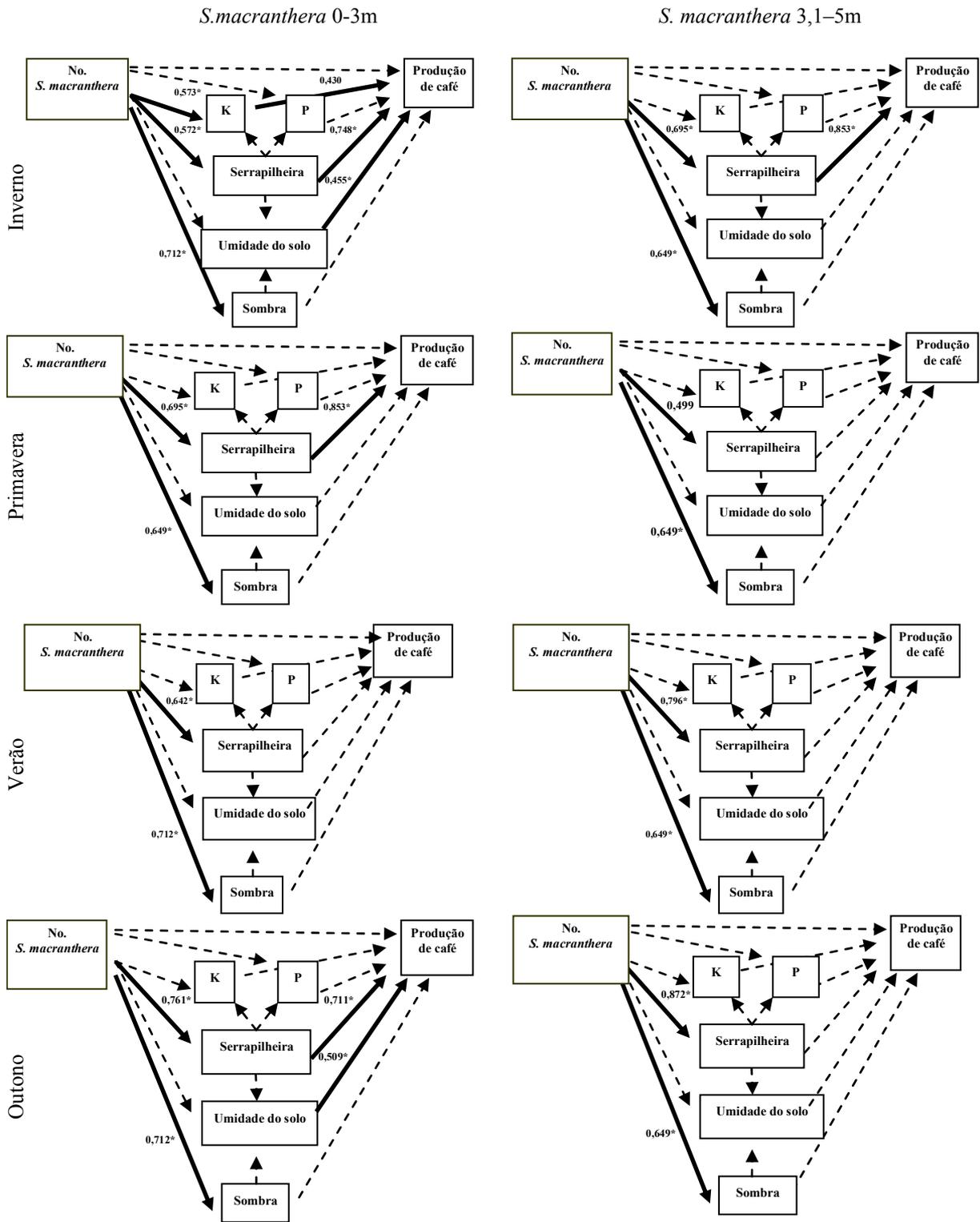


Figura 2. Efeito do número de indivíduos de *S. macranthera* localizados de 0-3 m e 3,1-5 m das plantas de café sobre, a serrapilheira depositada em cada estação do ano, o teor de P e K do solo, a umidade do solo, a sombra e a produção de café (média 2005-2006). Setas contínuas (→) representam efeito significativo e setas pontilhadas (---) ausência de efeito. São apresentados unicamente os coeficientes de análises de trilha significativos.

3.2 Caracterização e decomposição do material

As folhas frescas de *S. macranthera* apresentaram alto teor de hemicelulose, lignina e carbono assim como alto teor de nitrogênio e potássio. A relação lignina:N e C:N foi baixa (Tabela 1).

Tabela 1. Composição química inicial de folhas frescas de *Senna macranthera* (médias e desvio padrão) (n=5).

Composição	% Massa Seca
Lignina	19,04 ± 0,36
Celulose	11,63 ± 0,66
Hemicelulose	13,18 ± 1,22
Polifenóis	7,67 ± 0,96
C	49,67 ± 0,39
N	2,96 ± 0,15
P	0,28 ± 0,01
K	0,99 ± 0,13
Ca	0,98 ± 0,50
Mg	0,26 ± 0,07
C:N	16,77 ± 0,25
C:P	173,83 ± 0,16
Lignina:N	6,44 ± 0,34

As folhas senescentes de *S. macranthera* apresentaram 1,96 % de N, 0,14% de P e 0,72% de K, equivalente a 33,7 % N, 50,0% de P e 27,0% de K translocado a outros órgãos da planta, antes da queda das folhas.

O material vegetal depositado sobre o solo apresentou rápida velocidade de decomposição com 25,6 % de massa seca remanescente após 50 dias. A perda de massa foi mais acentuada entre os 8 – 12 dias, seguida de uma fase de pouca perda de massa (Figura 3).

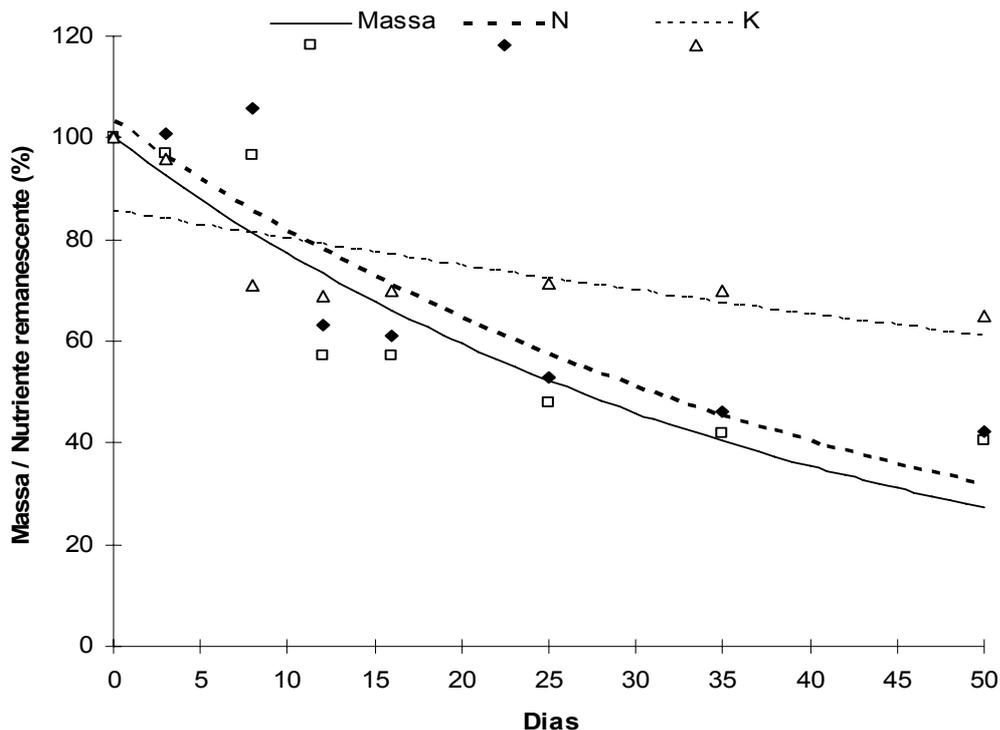


Figura 3. Massa, nitrogênio e potássio remanescente (%) em folhas de *Senna macranthera* e em decomposição, em função dos dias. Araponga, MG.

A velocidade de liberação dos nutrientes seguiu a ordem $N > K > Mg > Ca > P$. O N apresentou o maior valor de k e, portanto, o menor $T_{0,50}$ entre todos os nutrientes avaliados (Tabela 2). A metade do nitrogênio contido nas folhas de *S. macranthera* foi liberado após 29,5 dias. Segundo o modelo ajustado que descreve o comportamento da liberação de potássio, a metade do nutriente contido nas folhas seria liberado após 101 dias (Tabela 2). Os modelos quadrático e exponencial não se ajustaram ao comportamento de liberação de P, Ca e Mg (Tabela 2).

Tabela 2. Tempo de vida médio ($T_{0,50}$) e modelos ajustados que descrevem a porcentagem de perda de massa e a liberação de nutrientes de folhas de *Senna macranthera*. Araponga, MG

	$T_{0,50}$	Modelo ajustado	R^2/Γ^2
Massa seca	25,65	$\hat{Y} = 100,196 e^{-0,026t}$	0,83
N	29,48	$\hat{Y} = 103,517 e^{-0,023t}$	0,81
P	-	$\hat{Y} = 106,78$	-
K	101,91	$\hat{Y} = 85,732 e^{-0,006t}$	0,72
Ca	-	$\hat{Y} = 136,15$	-
Mg	-	$\hat{Y} = 94,70$	-

Inicialmente a decomposição apresentou uma fase de imobilização de N (durante os primeiros oito dias) seguida do rápido incremento de sua liberação entre os 8-12 dias

(Figura 3). O potássio apresentou rápida liberação durante os oito primeiros dias, seguido de um período de lenta liberação do nutriente em que a taxa de liberação se tornou quase constante. Após cinquenta dias foi liberado 61,01% do K total (Figura 3).

Durante a decomposição a frequência de chuvas foi baixa. Dez dias após iniciado o experimento a precipitação foi de 15,6 mm e entre os 47 a 49 dias 63,5mm (Figura 4).

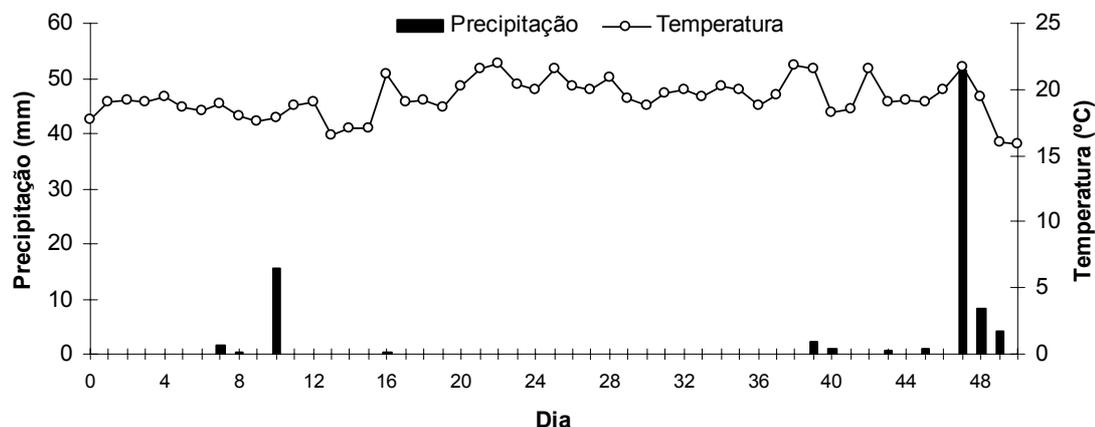


Figura 4. Variação da precipitação e a temperatura da região durante o período de realização do experimento de decomposição (9 agosto 2005 – 28 setembro 2005). Araçuaia, MG.

Não houve decréscimo no conteúdo de P no material de folhas decomposto de *S. macranthera* durante os 50 dias de duração do experimento (Figura 4).

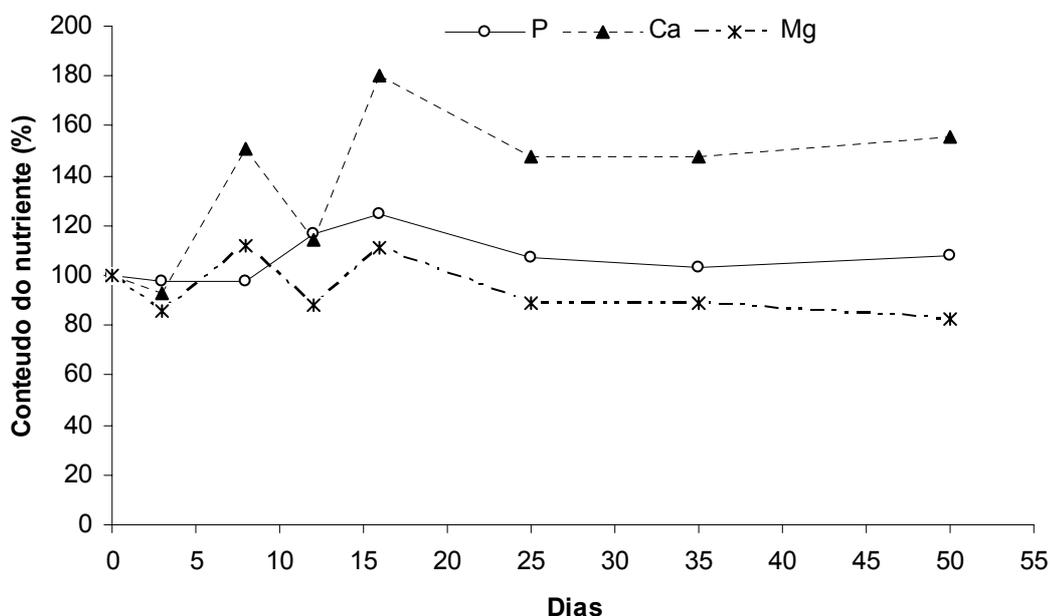


Figura 5. Porcentagem de fósforo, cálcio e magnésio contido nas folhas de *Senna macranthera* em decomposição, ao longo de 50 dias. Araçuaia, MG.

O cálcio e o magnésio apresentaram intervalos de liberação seguidos de imobilização durante os primeiros 16 dias. Após os 50 dias do experimento o conteúdo de cálcio nas folhas de *S. macranthera* foi de 82,8 % (Figura 5).

O valor médio de $\delta^{15}\text{N}$ em folhas de *S. macranthera* foi de 17,93‰ enquanto nas plantas de referência foi 16,66 ‰. A proporção de N derivado de fixação biológica contido nas folhas de *S. macranthera* (Ndfa) foi 7,07%

4. Discussão

4.1 Massa de serrapilheira e efeito sobre a produção de café

Os indivíduos de *S. macranthera* apresentaram valores de deposição de serrapilheira muito superiores aos observados em *Centrolobium tomentosum*, espécie de floresta semidecídua no Estado de São Paulo, que apresentou 4,2 kg MS indivíduo⁻¹ ano⁻¹ incluindo folíolos, raques, flores e frutos (Aidar e Joly, 2003).

A época de maior queda de folhas dos indivíduos de *S. macranthera* coincidiu com a estação chuvosa e quente do ano. Este padrão de comportamento é diferente do comumente observado nas espécies típicas de florestas estacionais semidecíduas, que apresentam perda de folhas durante a estação fria e seca do ano (Paula e Lemos Filho, 2001; Arato et al., 2003). A maior queda de folhas das plantas de café, observada durante o inverno seco e frio, é típica na região. Este comportamento é um mecanismo de defesa dos cafeeiros que evita a perda excessiva de água causada pela transpiração.

O efeito significativo do número de indivíduos de *S. macranthera* sobre a serrapilheira do sistema, reflete a grande contribuição de massa de folhas senescentes desta espécie. Este fato permitiu estabelecer o tipo de relação existente entre quantidade de serrapilheira de *S. macranthera* presente no sistema e a produção dos cafeeiros, apesar do sistema agroflorestal estar conformado por diversas espécies arbóreas.

É possível que exista um efeito acumulativo da serrapilheira depositada durante o outono e o inverno, sobre a produção dos cafeeiros. As folhas senescentes acumuladas durante a época fria e seca se caracterizam por terem baixo teor de nitrogênio e alta relação C: N e lignina: nitrogênio. Estas características, junto com as condições climáticas, retardam a decomposição do material e a liberação de nutrientes, que pode ser acelerada com chegada das chuvas freqüentes e o incremento da temperatura na primavera e no verão, época em que as plantas de café apresentam as maiores demandas nutricionais. Desta forma, o sincronismo entre os períodos de queda de folhas entre *S. macranthera* e os

cafeeiros, associada à dinâmica de decomposição de folhas, pode representar uma vantagem da presença desta espécie em sistemas agroflorestais com café.

O efeito da serrapilheira como cobertura do solo não foi suficiente para alterar a umidade. O aporte de nutrientes das folhas senescentes depositadas, também não foi suficiente para afetar o teor de P e K do solo.

É importante lembrar que a massa de serrapilheira apresentou alta colinearidade com o teor de nitrogênio na serrapilheira. Isto significa que o efeito positivo da massa de serrapilheira, também pode ser interpretado como o teor de nitrogênio na serrapilheira. Com isto, o aporte de nitrogênio de *S.macranthera* através da serrapilheira depositada durante o outono e o inverno, teria afetado positivamente a produção dos cafeeiros.

Contudo é preciso ressaltar que, apesar do potencial da espécie, os resultados são válidos para os baixos níveis de produtividade das plantas de café (10 sc ha⁻¹) observados. O aumento da produtividade implica maior demanda por recursos e exportação de nutrientes.

É importante não superestimar a capacidade de aporte da serrapilheira, já que no momento da queda das folhas, 27 a 50% do teor de N, P, K já foi translocado a outros órgãos da planta. O aporte natural de serrapilheira de 12,04 kg MS indivíduo⁻¹ ano⁻¹ de *S.macranthera* equivale a 0,23 kg de N; 0,08 kg de P e 0,01 de K por ano. Valores muito inferiores aos demandados por plantas de café em produção, que para produzir 20 – 30 sc ha⁻¹ (valor médio observado em Minas Gerais) precisa de 175 kg N ha⁻¹, 40 kg P₂O₅ ha⁻¹ e 250 kg K₂O ha⁻¹. Para o fornecimento destes nutrientes seria necessário plantar 760 indivíduos ha⁻¹ de *S.macranthera* (9120 kg MS ha⁻¹ ano⁻¹). Esta densidade de plantio pode aumentar a competição por recursos com as plantas de café.

4.2 Caracterização e decomposição do material

Geralmente material usado para adubação verde é considerado de alta qualidade quando apresenta teor de N maior que 20 mg g⁻¹ de MS, P maior que 2,5 mg g⁻¹ de MS, lignina menor que 15% e polifenóis totais menores de 4% (Mafongoya et al., 1998; Palm et al., 2001). Os teores de N e P presentes nas folhas de *S. macranthera* se encontram dentro dos limites estabelecidos para o material vegetal de alta qualidade, contudo o teor de lignina e polifenóis totais superam os valores estabelecidos dentro deste limite.

O teor de N de *S. macranthera* foi maior que o observado em outras leguminosas como *Albizzia lebbek* (2,62%) (Senwal et al., 2003), *Flemingia congesta* (2,26%),

Eupatorium innulifolium (2,68%) e menor que o de leguminosas reconhecidas pelo seu alto conteúdo de nitrogênio nas folhas como *G. sepium* (3,75%) *Senna spectabilis* (3,5%) e *Calliandra calothyrsus* (3,87%) (De Costa e Atapattu, 2001).

O teor de P de *S. macranthera* foi similar ao observado na leguminosa *Leucaena leucocephala* (0,20%) no Haiti (Bossa et al., 2005), superior ao observado em *Pinus silvestris* L. (0,14%) no Canada (Domisch et al., 2006) e em pastagens nativas da Argentina, como *Poa linguaris* (0,06%) considerada de alta qualidade e *Stipa gynerioides* (0,03%) considerada de baixa qualidade (Moretto e Distel, 2003).

O teor de Ca e Mg nas folhas de *S. macranthera* foi similar ao observado em *Cajanus cajan* (0,8% Ca e 0,20% Mg) e *Piptadenia gonoacantha* (0,9 % Ca e 0,3% Mg) leguminosas que crescem na mesma região em que foi realizado o experimento (Mendonça e Stott, 2003). Comparado com as folhas de *Pinus sylvestris* (Domisch et al., 2006), *S. macranthera* apresenta teor de cálcio três vezes menor e teor de magnésio cinco vezes menor.

Além da composição do material, as condições de clima, ecossistema e solos, determinam a velocidade e a capacidade de aporte de nutrientes dos diferentes materiais vegetais ao solo. Material vegetal, com alto teor de lignina, sob condições de alta precipitação e temperatura pode apresentar rápida taxa de decomposição. Na região central do Himalaya, sob condições de clima monçônico, *Alnus nepalensis* (15,11% lignina) apresentou rápida decomposição, quando comparada com outras espécies multipropósito da região e foi sugerida como espécie promissória para ser usada como adubo verde neste local (Semwal et al., 2003). Comparada com outras leguminosas, *S. macranthera* apresentou relação lignina: N similar a observada em *Gliricidia sepium* (4,7) e menor que *Acacia karro* (11,4), que apresentaram rápida decomposição nas condições climáticas da África subsahariana (Mafongoya et al., 2000).

Espécies arbóreas que crescem em solos pobres em nutrientes, principalmente P e N, como as observadas no experimento, apresentam com frequência alto teor de polifenóis na serrapilheira. Esta é uma característica de adaptação que influencia a disponibilidade de nutrientes do solo, criando curtos ciclos de liberação e retenção de nutrientes em benefício das plantas (Chapin, 1995; Hättenschwiler et al., 2003). Outra forma de economia de nutrientes é a sua alta translocação antes da queda das folhas, como observado por Lodhiyal and Lodhiyal (2003), em árvores de *Dalbergia sissoo* em floresta do Himalaya central, com porcentagem de translocação de nutrientes similares às observadas no experimento.

O padrão de decomposição das folhas frescas de *S. macranthera* seguiu o modelo exponencial negativo, comumente observado na fase inicial de decomposição de diferentes tipos de material vegetal. Em floresta montana na Argentina, Vaiaretti et al. (2005), observaram este comportamento durante os primeiros 70 dias, seguido da diminuição da velocidade de decomposição, que apresentou tendência assintótica. Segundo estes autores a primeira fase de decomposição, determina a decomposição anual do material.

As folhas de *S. macranthera* apresentaram rápida taxa de decomposição, com 27,8% de massa seca remanescente após 50 dias. Em outras espécies comumente usadas nos sistemas agroflorestais da região, como *C. cajan*, *Solanum variable*, *Cassia fermugines*, *P.gonoacantha*, *Croton urucurana* e *Melinis multiflora*, a massa seca remanescente variou entre 72,0 e 82,2% após 120 dias (Mendonça and Stott, 2003). Segundo os autores, a baixa velocidade de decomposição destes materiais pode ser explicada pelo alto teor de polifenóis, lignina, alta C:N e C:P e baixos teores de Ca, Mg e K. O fato do material de *S. macranthera* ter sido colocado em contato direto com o solo, pode ter favorecido o acesso dos organismos decompositores, enquanto na pesquisa relatada por Mendonça e Stott (2003), o uso de sacolas de nylon pode ter dificultado o acesso ao material.

A rápida velocidade de decomposição é uma característica frequentemente encontrada em espécies típicas dos primeiros estados de sucessão, como *S. macranthera*. Espécies arbóreas pioneiras em florestas tropicais, com alto teor de nitrogênio foliar e baixa relação C:N têm grande potencial de reciclagem e enriquecimento do solo com nutrientes em florestas secundárias (Xuluc-Tolosa et al., 2003).

A rápida decomposição das folhas de *S. macranthera* foi comparável com a de espécies como *Senna spectabilis*, *Gliricidia sepium* e *Tithonia diversifolia* em Sri Lanka, que apresentaram $T_{0,50}$ de 29,4, 29,96 e 34,1 dias respectivamente (De Costa e Atapattu, 2001). Segundo estes autores, a rápida decomposição deste material foi devida a sua rica composição e a alta precipitação da região.

No caso de *S. macranthera* tanto a chuva, quanto a temperatura amena para os microorganismos (média de 20°C), observada em alguns períodos do experimento, podem ter acelerado o processo de decomposição de massa seca e a liberação de nutrientes.

É possível que o alto teor de lignina observado nas folhas de *S.macranthera*, não tenha causado redução significativa na taxa de decomposição do material vegetal sob as condições climáticas locais. A coincidência entre a presença de chuvas com a diminuição da porcentagem de massa remanescente, entre os 8 e 12 dias, indica a importância da chuva sobre a decomposição, nas condições do experimento.

Alguns autores sustentam que sob condições tropicais, os fatores climáticos podem chegar a ter mais influência sobre a decomposição do material vegetal, que a sua própria composição (Liu et al., 2005). Sob condições de clima monçônico, no Norte de Tailândia, foi observada baixa taxa de decomposição do material vegetal de duas espécies arbóreas durante a estação seca. Durante este período, a atividade de microorganismos e térmitas foi mínima devido à pouca disponibilidade de água (Torreta e Takeda, 1999). De forma similar, em floresta secundária tropical no México, Xuluc-Tolosa et al. (2003), observaram o aceleração da velocidade de decomposição do material vegetal por efeito das chuvas.

Em *S.macranthera* a decomposição da massa da serrapilheira foi acompanhada pela liberação mais rápida de N, como também foi observado por Domisch et al. (2006). É possível que a chuva tenha lavado o material vegetal e carregado os compostos solúveis em água e ricos em celulose, enquanto a lignina, mais dificilmente degradada, pode ter permanecido por mais tempo.

A imobilização de nitrogênio observada por curto período de tempo na fase inicial do experimento, pode indicar o aumento da atividade microbiana do solo. A deposição de material vegetal rico em N em solos pobres neste nutriente, pode causar a imobilização deste elemento, devido ao incremento da população de microorganismos e da sua atividade (Bayala et al., 2005).

O alto conteúdo de polifenóis geralmente está relacionado com a lenta decomposição do material vegetal e a imobilização de N (Mafongoya et al., 2000). Estas substâncias têm grande capacidade de se ligar ao N ou as proteínas das paredes celulares, dificultando o acesso dos decompositores (Mafongoya et al., 1998). No entanto, isto depende do tipo de polifenóis presentes no material. Polifenóis solúveis podem ser facilmente lixiviados evitando sua ligação com o N, como observado em material proveniente de *Senna siamea*, caracterizado pelo alto conteúdo de polifenóis solúveis e baixo nível de taninos condensados, e que apresentou rápida liberação de nitrogênio (Mafongoya et al., 1998). A coincidência entre liberação do nitrogênio e a presença de chuvas, observada durante a decomposição de *S. macranthera*, pode estar

relacionada com a solubilização de polifenóis, pode ter permitido a posterior liberação de N. Folhas frescas de *Cordia africana* e *Albizia gummifera*, com alto teor de polifenóis solúveis e taninos condensados, também foi observada rápida decomposição em clima tropical no sul da Etiópia (Teklay e Malmer, 2004).

Tem sido observada uma relação estreita entre o baixo teor de P nas folhas e a baixa velocidade de liberação do nutriente (Teklay e Malmer, 2004; Bossa et al., 2005). Isto explica em parte, a lenta liberação de P observada durante o experimento.

O K apresentou rápida lixiviação, com 28,9 % do conteúdo liberado em oito dias, seguida de uma fase de lenta liberação. O K nas folhas é um elemento altamente móbil que é rapidamente liberado quando não se encontra limitado por ação dos microorganismos (Teklay e Malmer, 2004). Os microorganismos do solo podem ter interferido na velocidade de liberação do K das folhas de *S. macranthera* após a rápida lixiviação inicial. Em Haiti, folhas de *Leucaena leucocephala* com teor de K de 1,04%, apresentaram teor remanescente de potássio entre 50 e 76% (Bossa et al., 2005), valores próximos aos observados nas folhas de *S. macranthera*, tanto para o teor de K quanto para a velocidade de liberação deste elemento.

A concentração do Mg no material em decomposição teve tendência a se manter constante. Este mesmo comportamento foi observado por Liu et al. (2000) em folhas em decomposição de *Lithocarpus xylocarpus*, *Lithocarpus chintungensis* e *Castanopsis wattii* no sudeste da China.

Existe a possibilidade de que os valores extremamente altos de Ca observados tenham sido causados por contaminação das folhas com o solo do local. No entanto, a presença de altos valores de teor de Ca também foi observada por Yavitt et al. (2004), em material proveniente de folhas de floresta tropical em Panamá. Segundo estes autores a elevação do teor de cálcio é devido ao efeito acumulativo do nutriente, como consequência da atividade de fungos na superfície do solo das florestas, que precisam deste elemento para manter o balanço osmótico.

O baixo valor de Ndf_a calculado para as folhas de *S. macranthera* indica a baixa capacidade de fixação de N desta espécie. Em outras espécies do mesmo gênero, como *S. reticulata*, *S. spectabilis*, *S. siamea* não tem sido registrada fixação biológica de N (Mafongoya et al., 1998). No entanto, o baixo valor de Ndf_a também pode estar relacionado com a época de amostragem das folhas, que foi realizada durante a época seca do ano. Tem sido observado que o déficit hídrico pode limitar a capacidade de

nodulação de algumas espécies de leguminosas, reduzindo a sua capacidade de fixação de N biológico (Teixeira et al., 2006).

No caso do uso de folhas frescas de *S.macranthera* como adubo verde no sistema agroflorestal estudado, seria necessária a produção de 5912 kg de MS ha⁻¹ ano⁻¹. O material fresco seria decomposto rapidamente e disponibilizado o nitrogênio para as plantas em 25 dias. As necessidades de P, K e Mg teriam que ser complementadas com outra fonte de adubo. Deve ser tomado em conta que a rápida decomposição e liberação de nitrogênio em solos pobres pode causar a desaparecimento da camada orgânica do solo (Tateno et al., 2007). Considerando os resultados apresentados, acredita-se que estudos de arranjos espaciais, formas de manejo e densidade de plantas poderiam explorar melhor o potencial de *S.macranthera* em sistemas agroflorestais com café nas condições ambientais descritas.

5. Conclusões

- *S.macranthera* produz grandes quantidades de serrapilheira comparáveis com as de outras árvores pioneiras.
- A época de maior produção de serrapilheira é durante a estação úmida e quente do ano e coincide com a época de maior demanda de nutrientes dos cafeeiros na região.
- O alto teor de nitrogênio de *S.macranthera* e as condições de chuva e alta temperatura do local permitem a rápida decomposição do material fresco.
- Existe efeito positivo da quantidade de serrapilheira depositada durante o outono e o inverno sobre a produção de café.

Referências

- Aidar, M., e Joly, C., 2003. Dinâmica da produção e decomposição da serrapilheira do araribá (*Centropogon tomentosum* Guill. Ex Benth- Fabaceae) em uma mata ciliar, Rio Jacaré-Pepira, São Paulo. Rev. Brás. Bot., 26 (2), 193 – 202.
- Albuquerque, U.P., Andrade, L.H.C., Caballero, J., 2005. Structure and floristics of homegarden Brazil. Journal of Arid Environments. 62(3), 491-506.
- Arato, H. D., Venâncio, S., Ferrari, S.H., 2003. Produção e decomposição de serrapilheira em um sistema agroflorestal implantado para recuperação de área degradada em Viçosa-MG. Rev. Árvore. 27 (5), 715-721.

Ayuk, E.T., Duguma, B., Franzel, S., Kengue, J., Mollet, M., Tiki-Manga, T., Zenkeng, P., 1999. Uses, managements and economic potential of *Irvingia gabonensis* in the humid lowlands of Cameroon. *For. Ecol. Manage.* 113 (1), 1- 9.

Bayala, J., Mando, A., Teklehaimanot, Z., Ouedraogo, S. J., 2005. Nutrient release from decomposing leaf mulches of karité (*Vitellaria paradoxa*) and neré (*Parkia biglobosa*) under semi-arid conditions in Burkina Faso, West Africa. *Soil. Biol. Biochem.* 37, 533-539.

Bossa, J.R., Adams, J.F., Shannon, D.A., Mullins, G.L., 2005. Phosphorus and potassium release pattern from leucaena leaves in three environments of Haiti. *Nutrient Cycling in Agroecosystems.* 73, 25-35.

Chapin, F.S. III, 1995. New cog in the nitrogen cycle. *Nature*, 377, 199-200.

Campanha M.M., Santos R.H. S., Freitas G.B., Martinez E.P., Garcia S., Finger F.L., 2004. Growth and yield of coffee plants in agroforestry and monoculture systems in Minas Gerais, Brazil. *Agroforestry Systems* 63: 75-82.

Craven, D., Braden, D., Ashton, M.S., Berlyn, G.P., Wishnie, M., Dent, D., 2007. Between and within-site comparisons of structural and physiological characteristics and foliar nutrient content of 14 tree species at wet, fertile site and dry, infertile site in Panama. *For. Ecol. Manage.* 238 (1-3), 335-346.

De Costa, W.A.J.M., Atapattu, A.M.L.K., 2001. Decomposition and nutrient loss from prunings of different contour hedgerow species in tea plantations in the sloping highlands of Sri Lanka. *Agrofor. Syst.* 51, 201-211.

Domisch, T., Finér, L., Laine, J., Laiho, R., 2006. Decomposition and nitrogen dynamics of litter in peat soils from two climatic regions under different temperature regimes. *European Journal of Soil Biology.* 42, 74-81.

Flores-Aylas, W.W., Saggin-Júnior, O.J., Siqueira, J.O., Davide, A.C., 2003. Efeito de *Glomus etunicatum* e fósforo no crescimento inicial de espécies arbóreas em semeadura direta. *Pesq. Agropec. Bras.* 38 (2), 257- 266.

Goering, H.K., Van Soest, P.J., 1970. Forage fiber analysis (Apparatus, reagents, procedures and some applications). Washington, DC: USDA (Agricultural Handbook,379).

Hairiah, K., Sulistyani, H., Suprayogo, D., Widiyanto, Purnomosidhi, P., Widodo, R.H., Noordwijk, M.V., 2006. Litter layer residence time in forest and coffee agroforestry systems in Sumberjaya, West Lampung. *For. Ecol. Manage.* 224, 45-57.

Hättenschwiler, S., Hagerman, A.E., Vitousek, P.M. 2003. Polyphenols in litter from tropical montane forests across a wide range in soil fertility. *Biogeochemistry.* 64, 129-148.

- Liu, W., Fox, J.E.D., Xu, Z., 2000. Leaf litter decomposition of canopy trees, bamboo and moss in montane moist evergreen broad-leaved forest on Ailao Mountain, Yunnan, south-west China. *Ecological Research*. 15, 435- 447.
- Liu, Q., Peng, S.L., Bi, H., Zang, H.Y., Li, Z.A., Ma, W.H., Li, N.Y., 2005. Decomposition of leaf litter in tropical and subtropical forest of Southern China. *Journal of Tropical Forest Science*. 17 (4), 543 – 556.
- Lodhiyal, N., Lodhiyal, L.S., 2003. Biomass and net primary productivity of Bhabar Shisham forest in central Himalaya, India. *For. Ecol. Manage.* 176, 217-235.
- Mafongoya, P.L., Barak, P., Reed, J.D., 2000. Carbon, nitrogen and phosphorus mineralization of tree leaves and manure. *Biol. Fertil. Soils*. 30, 289-305.
- Mafongoya, P.L., Giller, K.E., Palm, C.A., 1998. Decomposition and nitrogen release patterns of tree prunings and litter. *Agrofor. Syst.* 38, 77-97.
- Mendonça, E.S., Stott, D.E., 2003. Characteristics and decomposition rates of pruning residues from a shaded coffee system in Southeastern Brazil. *Agrofor. Syst.* 57, 117-125.
- Moretto, A.S., Distel, R.A., 2003. Decomposition of and nutrient dynamics in leaf litter and roots of *Poa ligularis* and *Stipa gyneriodes*. *Journal of arid Environments*. 55, 503-514.
- Paula, S.A., Lemos Filho J.P., 2001. Dinâmica do dossel em mata semidecídua no perímetro urbano de Belo Horizonte, MG. *Rev. bras. Bot.* 24 (4), 545-551.
- Palm, C.A., Guiller, K.E., Mafongoya, P.L., Swift, M.J., 2001. Management of organic matter in the tropics. Translating theory in to practice. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*. 61, 63-75.
- Piotto, D., Viquez, E., Montagnini, F., Kanninen, M., 2004. Pure and mixed forest plantations with native species of the dry tropics of Costa Rica: a comparison of growth and productivity. *For. Ecol. Manage.* 190, 359-372.
- Semwal, R.L., Maikhuri, R.K., Rao, K.S., Sen, K.K., Saxena, K.G., 2003. Leaf litter decomposition and nutrient release patterns of six multipurpose tree species of central Himalaya, India. *Biomass and Bioenergy*. 24, 3-11.
- Schroth, G., Lehmann, J., Rodrigues, M.R.L., Barros, E., Macêdo, J.L.V., 2001. Plant-soil interactions in multistrata agroforestry in the humid tropics. *Agrofor. Syst.* 53, 85-102.
- Schwendener, C.M.; Lehmann, J.; Camargo, De P.B.; Luizão, R.C.C.; Fernandes E.C.M., 2005. Nitrogen transfer between high- and low-quality leaves on a nutrient-poor Oxisol determined by ¹⁵N enrichment. *Soil. Biol. Biochem.* 37, p.787-794.
- Senbeta, F., Denich, M., 2006. Effects of wild coffee management on species diversity in the Afromontane rainforest in Ethiopia. *For. Ecol. Manage.* 232 (1-3), 68-74.

Swain, T., Hillis, W.W., 1959. The phenolic constituents of *Prunus domestica*. I. The quantitative analysis of phenolic compounds. *J. Science Food Agric.* 10: 63-68.

Tateno, R., Tokuchi, N., Yamanaka, N., Du, S., Otsuki, K., Shimamura, T., Xue, Z., Wang, S., Hou, Q., 2007. Comparison of litterfall production and leaf litter decomposition between an exotic black locust plantation and an indigenous oak forest near Yan'an on the Loess Plateau, China. *For. Ecol. and Manage.* 21 (1-3), 84-90.

Teixeira, F.C.O., Reinert, F., Rumjaek, N.G., Boddey, R.M., 2006. Quantification of the contribution of biological nitrogen fixation to *Cratylia mollis* using ^{15}N natural abundance technique in the semi-arid Caatinga region of Brazil. *Soil. Biol. Biochem.* 38, 1989-1993.

Teklay, T., Malmer, A., 2004. Decomposition of leaves from two indigenous trees of contrasting qualities under shaded-coffee and agricultural land-uses during the dry season at Wondo Genet, Ethiopia. *Soil. Biol. Biochem.* 36, 777-786.

Thomas, R.J., Asakawa, N.M. 1993. Decomposition of leaf litter tropical forage grasses and legumes. *Soil. Biol. Biochem.* 25, 1351-1361.

Torreta, N.K., Takeda, H., 1999. Carbon and nitrogen dynamics of decomposing leaf litter in a tropical hill evergreen forest. *Eur. J. Soil. Biol.* 35, 57-63.

Vaieretti, M.N., Perez, H.N., Gurvich, D.E., Cingolani, A.M., Cabido, M., 2005. Decomposition dynamics and physico-chemical leaf quality of abundant species in a montane woodland in central Argentina. *Plant and Soil.* 278, 223-234.

Xuluc-Tolosa, F.J., Vester, H.F.M., Ramirez-Marcial, N., Castellanos-Albores, J., Lawrence, D., 2003. Leaf litter decomposition of tree species in three successional phases of tropical dry secondary forest in Campeche, Mexico. *For. Ecol. Manage.* 174, 401- 412.

Yavitt, J.B., Wright, S.J., Wieder, R.K., 2004. Seasonal drought and dry-season irrigation influence leaf-litter nutrients and soil enzymes in a moist, lowland forest in Panama. *Austral Ecology.* 29, 177-188.

Zar, J.H., 1999. *Biostatistical Analysis*. New Jersey, Prentice Hall.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nas pesquisas relatadas neste documento pode se observar a complementaridade existente entre as pesquisas realizadas em estação experimental e as realizadas na propriedade do agricultor. O experimento realizado em condições controladas permitiu o acompanhamento do desenvolvimento e a produção dos cafeeiros por um longo período de tempo. Isto é de extrema importância quando se trabalha com plantas perenes e principalmente com café que, devido a sua alta adaptação às condições climáticas e de solos, apresenta uma lenta resposta a mudanças nas condições de radiação e disponibilidade de nutrientes. A estreita ligação entre o comportamento dos cafeeiros de um ano para outro faz necessário o acompanhamento da cultura por um período mínimo de dois anos para determinar o comportamento real das plantas, principalmente quando se está avaliando a produção. Deve se ter especial cuidado com as informações provenientes de pesquisas realizadas em plantas jovens, que ainda não chegaram a estabilizar a sua produção, uma vez que estas observações limitam-se a esta fase de desenvolvimento e não representam o comportamento das plantas durante todo seu ciclo produtivo.

Por outro lado, os experimentos realizados por longos períodos de tempo têm a desvantagem de serem pouco flexíveis às mudanças metodológicas. O reduzido tamanho da parcela foi detectado como uma limitante desde os primeiros anos da pesquisa. No entanto, aumentar o tamanho da parcela, mantendo o mesmo número de tratamentos proposto inicialmente, implicaria na inclusão de uma área maior e dificultaria a realização das avaliações com os recursos humanos disponíveis. A possibilidade de reduzir o número de tratamentos e usar parcelas maiores deve ser

contemplada em experimentos futuros. A redução da fração de adubo aplicado às plantas se mostrou um método pouco efetivo para simular a competição por nutrientes entre indivíduos em um sistema agroflorestal. Para obter este efeito, a quantidade de nutrientes disponíveis para as plantas deve ser medida no solo de cada parcela e a quantidade de adubo aplicada corrigida de acordo com este valor. Isto implica na aplicação de quantidades de adubo diferentes para cada parcela, que é uma atividade dispendiosa e pouco viável nas condições do experimento na forma em que foi planejado. Em um experimento com menor número de tratamentos e parcelas maiores, este procedimento pode ser viável.

A existência de pesquisas anteriores que descrevem detalhadamente o comportamento fenológico da planta de café na região permitiu realizar as avaliações nas épocas críticas de crescimento, quando a planta atinge o maior e o menor crescimento vegetativo no ano. Isto permitiu uma completa caracterização do crescimento das plantas e o uso eficiente do tempo dos pesquisadores em campo.

O trabalho realizado na área do produtor permitiu que os resultados obtidos na pesquisa gerassem propostas de manejo viáveis para serem desenvolvidas no local. Ao mesmo tempo estes resultados forneceram elementos para discutir o comportamento das plantas de café em áreas vizinhas. O trabalho executado em área de produtor acarreta dificuldades de transporte de equipamentos e da equipe de trabalho. Também existe risco de interferência no local devido à presença de pessoas alheias ao processo de pesquisa ou animais que podem danificar plantas e equipamentos. No entanto, inicialmente a maior dificuldade foi a falta de metodologias que permitissem analisar os sistemas com toda sua complexidade.

O presente trabalho mostrou que o uso de ferramentas de análise que se apóiam em conceitos agronômicos e ecológicos são de grande utilidade para a compreensão do papel de cada elemento e suas interações no sistema agroflorestal.

É interessante continuar realizando pesquisas que contribuam para o conhecimento de mais espécies que tenham potencial de associação com os cafeeiros. Também é importante aprofundar no conhecimento do fedegoso, principalmente de sua capacidade de rebrota após podas, taxa de evapotranspiração, capacidade de associação com micorrizas e capacidade de fixação de nitrogênio ao longo das diferentes estações do ano. O desenvolvimento de pesquisas mais detalhadas que acompanhem a época do ano em que são diferenciadas as gemas florais das plantas de café e o efeito da radiação

solar sobre este processo são de particular interesse, para aproveitar ao máximo a capacidade produtiva das plantas de café sob sombra.

Com relação aos trabalhos de pesquisa publicados em revistas que tratam sobre a produção de cafeeiros em sistema agroflorestal foi observada a ausência de informação detalhada sobre as condições climáticas, principalmente a radiação solar. Alguns trabalhos são realizados por períodos de tempo curtos, que não permitem caracterizar o crescimento e a produção dos cafeeiros. Com relação as pesquisas que caracterizam a fotossíntese de plantas sob diferentes condições de radiação, a ausência de trabalhos que avaliem o comportamento da planta inteira é uma grande limitante quando se pretende relacionar produção com fotossíntese.