

**ASPECTOS ECOFISIOLÓGICOS DE
CAFEIROS (*Coffea arabica* L.) EM PRODUÇÃO
ARBORIZADOS COM DIFERENTES
LEGUMINOSAS NO SUL DE MINAS GERAIS**

JOÃO PAULO RODRIGUES ALVES DELFINO BARBOSA

2005

58854
050170

JOÃO PAULO RODRIGUES ALVES DELFINO BARBOSA

**ASPECTOS ECOFISIOLÓGICOS DE CAFEEIROS (*Coffea arabica* L.)
EM PRODUÇÃO ARBORIZADOS COM DIFERENTES LEGUMINOSAS
NO SUL DE MINAS GERAIS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras como parte das exigências do Curso de pós-graduação em Agronomia, área de concentração Fisiologia Vegetal, para obtenção do título de "Mestre".

Orientadora

Profª. Drª. Angela Maria Soares

LAVRAS
MINAS GERAIS - BRASIL

2005

**Ficha Catalográfica Preparada pela Divisão de Processos Técnicos da
Biblioteca Central da UFLA**

Barbosa, João Paulo Rodrigues Alves Delfino

Aspectos ecofisiológicos de cafeeiros (*Coffea arabica* L.) em produção arborizados com diferentes leguminosas no Sul de Minas Gerais / João Paulo Rodrigues Alves Delfino Barbosa.— Lavras : UFLA, 2005.

104 p. : il.

Orientador: Angela Maria Soares.

Dissertação (Mestrado) – UFLA.

Bibliografia.

1. Café. 2. Ecofisiologia. 3. Sistema agroflorestal. 4. *Acacia mangium*. 5. *Leucena leucocephala*. 6. *Cajanus cajan*. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD-633.738

JOÃO PAULO RODRIGUES ALVES DELFINO BARBOSA

**ASPECTOS ECOFISIOLÓGICOS DE CAFEEIROS (*Coffea arabica* L.)
EM PRODUÇÃO ARBORIZADOS COM DIFERENTES LEGUMINOSAS
NO SUL DE MINAS GERAIS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras como parte das exigências do Curso de Pós Graduação em Agronomia, área de concentração Fisiologia Vegetal, para obtenção do título de “Mestre”.

APROVADA em 17 de fevereiro de 2005.

Pesq^ª. Dr^ª. Maria Inês Nogueira Alvarenga

EPAMIG/CTSM

Prof. Dr. José Donizeti Alves

DBI/UFLA



Prof. Dr. Angela Maria Soares

DBI/UFLA

(Orientadora)

LAVRAS
MINAS GERAIS - BRASIL

*Aos bravos e esperançosos agricultores brasileiros que, exaustivamente,
trabalham para o sustento deste país.*

*Ao meu avô Odilon, exemplo de pesquisador em cafeicultura, pelos
ensinamentos de inestimável valor sobre essa cultura.*

DEDICO

À Deus todo poderoso.

O criador dos céus e da terra e salvador dos homens

Aos meus pais:

José e Fátima

e avós:

*Agnelo (in memoriam) e Aparecida, Odilon e Margarida, Ticaca
exemplos de trabalho, força, persistência e ricos mananciais de sabedoria,
incentivo e coragem.*

Ao meu irmão

Zeca

"mestre", amigo e parceiro nas jornadas da vida,

Às Ana's de minha vida:

Ana Amélia e Ana Beatriz

Irmãs, sinônimos de orgulho e força... pelas horas da melhor diversão;

Ana Carolina

minha querida namorada, alegria para os meus dias

OPEREÇO

*"E Deus disse: Produza a terra plantas, ervas que dêem semente e árvores
frutíferas que dêem frutos segundo a sua espécie e o fruto contenha a sua
semente. E assim se fez. A terra, pois, produziu plantas, ervas que davam
semente segundo sua espécie e árvores que davam frutos segundo sua espécie...*

E Deus viu que isso era bom." Gn 1: 11-12

AGRADECIMENTOS

À Deus, Pai amoroso e criador de todas as coisas e a Jesus Cristo meu Senhor e Salvador, pelas infinitas graças e misericórdias renovadas todas as manhãs de minha vida, ao Espírito Santo por me capacitar com o necessário para a realização desse trabalho.

À Universidade Federal de Lavras e ao seu quadro de professores, por todas as oportunidades e pelos ensinamentos transmitidos.

Ao CNPq pela concessão de bolsas de estudo desde minha graduação e aos brasileiros que, com consciência ou não, têm financiado minha formação profissional.

À minha orientadora, Profª. Angela Maria Soares, pela confiança, amizade, oportunidades, empenho, conhecimentos transmitidos e orientação em minha vida acadêmica e profissional.

Aos demais professores do setor de Fisiologia Vegetal DBI/UFLA: Luiz Edson, Renato, Amauri, Donizeti, Evaristo, Marcelo e Alessandro, pelo apoio, amizade e ensinamentos.

Aos funcionários Izonel, Tanhã, Joel, Mauro, Lena, Odorêncio, Evaristo e Barrinha, pela presteza, grande amizade, companheirismo e pelas horas de “conversa fiada”.

A todos os colegas de pós-graduação em Fisiologia Vegetal, pela amizade e ajuda durante o tempo que passamos juntos, especialmente: Morbeck, Érico, Hyrandir, Márcio, Breno, Cristiano, Marcus, Teresa, Grécia, Andréia, Soami, Lisandro, Lenaldo, Guto, Carlos Vinicius, Inês e Rodrigo que estiveram mais próximos.

À Pesquisadora e amiga Maria Inês, pelo apoio, diligência na realização deste trabalho, conhecimentos compartilhados e pela co-orientação.

Ao Prof. Eduardo Van den Berg, pela co-orientação e ao Prof. José Donizeti Alves pela colaboração e pelas sugestões.

Ao Prof. Victor Mourthé Valadares do Depto. de Tecnologia da Arquitetura e do Urbanismo da UFMG, pelo auxílio e orientação na realização dos estudos do padrão de sombreamento.

À EPAMIG, pela concessão da área experimental e apoio na realização deste trabalho.

Ao pessoal da Fazenda experimental de São Sebastião do Paraíso, em especial: Darlan, Edvaldo, Luzia, Luiz, Rogério, Vicente, Egmar, Homero, Heitor, Cícilia e Cícero, pela amizade, ajuda, presteza e diligência.

Aos colegas: Inês, Hyrandir, Rafael, Evandro, Bicego, Luís Gonzaga e HB, pelo auxílio nos trabalhos de campo e de laboratório, Lucas, Norberto e Henderson, pelo grande companheirismo e aprendizado.

A todos da ABU – Lavras e ao Rildo, Alessandra e filhos; D. Sônia; Raniel e Ivone pelas orações e amizade.

Ao Sr. Cláudio Montenegro, D. Carmem e Tiago pelo carinho, apoio, amizade e por abrir as portas de sua casa me acolhendo como da família.

A Ana Carolina, minha querida namorada, pela compreensão, cumplicidade, amor e amizade incondicionais, pela agradável companhia durante o mestrado.

Ao avô Odilon, pelas horas de conversa e ensinamentos sobre Deus, sobre as coisas boas da vida e sobre café.

Avô Agnelo (*in memoriam*), que lançou bases sólidas de caráter e trabalho para construção de minha vida.

Avó Margarida, pelas orientações pedagógicas, profissionais e auxílio financeiro.

Avó Aparecida, pelo incentivo incondicional, orações constantes e auxílio financeiro.

Avó Ticaca, por sempre se preocupar demasiadamente comigo e pelo exemplo de amor às plantas.

Aos meus pais, pelo zelo, carinho, exemplo, apoio, ensinamentos, amor, educação e pela nossa linda história de vida.

Ao Zeca, pelo companheirismo e cumplicidade em tudo na nossa vida; à Mela, pela companhia e amizade, risadas e choros; à Tize, pela energia de vida, amizade, exemplo de ânimo e independência; ao Ronilson, por ser sempre companheiro e amigo e estar sempre disposto a ajudar.

Aos meus tios, primos e amigos, pela amizade, apoio e respeito.

A todos que contribuíram de alguma forma para a realização deste trabalho.

MEU MUITO OBRIGADO!!

SUMÁRIO

RESUMO.....	i
ABSTRACT.....	ii
1 INTRODUÇÃO	1
2 REFERENCIAL TEÓRICO	3
2.1 Aspectos sócio-econômicos e técnicos da cafeicultura.....	3
2.2 Os sistemas agroflorestais.....	6
2.3 O cultivo do cafeeiro em sistema agroflorestal.....	8
2.4 Ecofisiologia do cafeeiro em sistema agroflorestal.....	11
2.4.1 Condições ambientais.....	11
2.4.2 Assimilação de CO ₂ , crescimento e produção.....	14
3 MATERIAL E MÉTODOS	22
3.1 Descrição do experimento	22
3.2 Características climáticas do período experimental.....	25
3.3 Características avaliadas	26
3.3.1 Padrão sazonal de sombreamento	27
3.3.2 Microclima.....	27
3.3.3 Características físicas e químicas do solo.....	28
3.3.4 Potencial hídrico foliar e umidade do solo.....	29
3.3.5 Trocas gasosas.....	29
3.3.6 Nitrogênio foliar.....	30
3.3.7 Crescimento dos cafeeiros.....	32
3.3.8 Caracterização do sistema radicular dos cafeeiros.....	32
3.3.9 Produção dos cafeeiros.....	33
3.4 Delineamento experimental.....	34
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	35
4.1 Padrão sazonal de sombreamento.....	35
4.2 Microclima.....	37

4.3	Características físicas e químicas do solo.....	45
4.4	Potencial hídrico foliar e umidade do solo.....	49
4.5	Características microclimáticas.....	53
4.6	Trocas gasosas e nitrogênio foliar.....	56
4.7	Crescimento e produção dos cafeeiros.....	65
4.8	Análise de componentes principais (PCA).....	73
4.9	Correlações entre as principais variáveis estudadas.....	90
5	CONCLUSÕES	95
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	97

RESUMO

BARBOSA, João Paulo Rodrigues Alves Delfino. Aspectos ecofisiológicos de cafeeiros (*Coffea arabica* L.) em produção arborizados com diferentes leguminosas no Sul de Minas Gerais. 2005. 104 p. Dissertação (Mestrado em Fisiologia Vegetal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG*.

O cultivo de cafeeiros em sistema agroflorestal com leguminosas arbóreas tem sido indicado como alternativa para produção em condições desfavoráveis de ambiente ou manejo. Com o objetivo de caracterizar aspectos ecofisiológicos de cafeeiros nesse sistema produtivo, foram realizadas avaliações de trocas gasosas, crescimento, microclima, nitrogênio foliar e produção ao longo da época seca e chuvosa, de dez/2002 a dez/2003. O estudo foi conduzido com cafeeiros (*Coffea arabica* L. cv. Oeiras) cultivados sob influência de aléias de acácia (*Acacia mangium* Willd.), leucena (*Leucaena leucocephala* (Lam.) De Wit.) e guandu (*Cajanus cajan* (L.) Millsp.). Foram avaliadas as primeiras linhas de cafeeiros a leste e a oeste a partir das aléias de leguminosa, e também a terceira linha a oeste de cada aléia, que recebe o aporte de fitomassa da poda da respectiva leguminosa. Os resultados indicaram que a leucena competiu com o cafeeiro por fatores do solo e da atmosfera. Em geral, os melhores resultados de trocas gasosas, estado hídrico e produção, foram obtidos para os cafeeiros a oeste da aléia de acácia e para as primeiras linhas a leste e oeste da aléia de guandu, evidenciando que a presença dessas leguminosas no cafezal pode ser benéfica para a produção de café e para o manejo de cafezais em sistema arborizado com leguminosas.

*Comitê Orientador: Prof.ª. Dr.ª. Angela Maria Soares – DBI/UFLA (Orientadora), Dr.ª Maria Inês Nogueira Alvarenga – EPAMIG, Prof. Dr. Eduardo van den Berg – DBI/UFLA (Co-orientadores).

ABSTRACT

BARBOSA, João Paulo Rodrigues Alves Delfino. **Ecophysiological aspects of coffee (*Coffea arabica* L.) in production intercropped with different leguminous trees in the South of Minas Gerais - Brazil.** 2005. 104 p. Dissertation (Master in Plant Physiology) – Federal University of Lavras, Lavras, Minas Gerais, Brazil*.

Coffee shaded with leguminous trees has been indicated as an alternative crop system in unfavorable environments. The objective of this research was to characterize ecophysiological aspects of Arabic coffee in that agroforestry system by evaluating gas exchanges, plant growth, microclimate, leaf nitrogen and production from dec/2002 to dec/2003 in the rainy and in the dry seasons. Coffee (*Coffea arabica* L. cv. Oeiras) was intercropped with alleys of *Acacia mangium* Willd., *Leucaena leucocephala* (Lam.) De Wit. and *Cajanus cajan* (L.) Millsp. The first coffee cultivation lines from the east and west side of the leguminous alley and the third line of the west side of each alley were evaluated. These last cultivation lines receive biomass from the pruning of the leguminous trees. The results indicate that *L. leucocephala* competes with coffee for soil and atmospheric resources. The best results of gas exchanges, water status and production were verified for the cultivation lines of the west side of the alley of *A. mangium* and for the first lines of the east and west side of *C. cajan* alley, evidencing that the presence of those leguminous trees in the coffee plantation can benefit the yield and the environment of coffee in shaded system with leguminous trees.

*Guidance Committee: Prof. Dr^a. Angela Maria Soares – DBI/UFLA (Major Professor), Dr^a Maria Inês Nogueira Alvarenga – EPAMIG, Prof. Dr. Eduardo Van den Berg – DBI/UFLA.

1 INTRODUÇÃO

Os sistemas agroflorestais são comumente encontrados nas regiões de produção agrícola do Brasil e do mundo. Nas últimas décadas, este tipo de sistema produtivo passou a receber especial atenção devido às múltiplas interações ecológicas, que permitem uma produção diversificada, sustentável e a conservação de recursos naturais. Esse modelo de produção agrícola contrasta com a exploração de sistemas sustentados em monocultivos, onde também há intensivo investimento de capital e uso de insumos modernos para a obtenção de produção economicamente viável.

O consórcio de cafeeiros com espécies arbóreas é um sistema agroflorestal praticado em países da Ásia, África e América do Sul, onde o cafeeiro cresce e produz normalmente sob denso sombreamento. Entretanto, no Brasil, o cafeeiro tem sido tradicionalmente cultivado em monocultivo, uma vez que as condições edafoclimáticas encontradas, principalmente no sudeste do país, favorecem boas safras nessas condições.

A expansão da cafeicultura para regiões menos adequadas ao desenvolvimento e produção do cafeeiro e a queda de preços do produto, nos últimos anos, trouxeram para os pequenos e médios cafeicultores brasileiros, alguns problemas de ordem técnica, econômica e social. Tais problemas têm levado pesquisadores a buscarem alternativas que reduzam o custo de implantação da lavoura, de produção do café e que, ao mesmo tempo, proporcionem uma produção econômica sem necessidade de elevados investimentos. A produção de cafés finos, de café orgânico e o cultivo do cafeeiro em sistema agroflorestal são alternativas para esses problemas.

Existem diversos estudos que apresentam vantagens e desvantagens quanto a muitos aspectos técnicos do cultivo de cafeeiros quando em sistemas

agroflorestais, especialmente quanto ao consórcio de cafeeiros com leguminosas. As principais desvantagens atribuídas ao cultivo de cafeeiros sombreados são: a redução na produção de café e a dificuldade de utilização, em maior grau, de técnicas agrícolas mecanizáveis. Contudo, o cultivo de cafeeiros com leguminosas arbóreas pode trazer vantagens para o cafeeiro e para o ambiente, proporcionando maior estabilidade da produção, maior eficiência no controle de plantas espontâneas, melhor equilíbrio da população de pragas e doenças e melhoria das características físicas e químicas do solo, pela habilidade da fixação simbiótica do nitrogênio atmosférico que as leguminosas possuem.

Os trabalhos relacionados ao comportamento ecofisiológico de cafeeiros cultivados neste tipo de sistema agroflorestal apresentam resultados controversos. As principais divergências se relacionam ao comportamento fotossintético do cafeeiro e a sua produção em longo prazo, quando submetido a condições de competição por água, luz e nutrientes. Além disso, alguns pesquisadores do consórcio entre cafeeiros e leguminosas contestam a vantagem da fixação simbiótica de nitrogênio atmosférico na produção de café.

Tendo em vista a carência de informações relacionadas ao comportamento ecofisiológico do cafeeiro em sistemas agroflorestais e ao cultivo do cafeeiro junto a leguminosas arbóreas, o propósito deste trabalho foi caracterizar aspectos biofísicos, de crescimento, da produção e do microclima de cafeeiros arborizados com diferentes espécies leguminosas na região sul de Minas Gerais. Desse modo pretendeu-se identificar respostas diferenciais associadas aos efeitos da sazonalidade, da incorporação de fitomassa no solo e da distribuição espacial das espécies do sistema na área de cultivo. Espera-se que este estudo forneça subsídios que auxiliem nas recomendações para a produção de café em sistemas arborizados com leguminosas.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Aspectos sócio-econômicos e técnicos da cafeicultura

O café é a *commodity* mais importante do setor agrícola mundial, constituindo uma das principais fontes de renda de regiões cafeicultoras de países da América Latina, África e Ásia, uma vez que cerca de US\$ 33 bilhões são gerados anualmente pelo agronegócio do café no mundo (Fontes, 2001; Saes et al., 2003). Para a safra de 2003/2004, a estimativa da área mundial cultivada com café foi de 11,5 milhões de ha, o que representou uma produção de cerca de 116 milhões de sacas beneficiadas (CONAB, 2004). Desta produção, 66% (76 milhões de sacas) correspondeu ao café arábica (*Coffea arabica* L.) e o restante (34% - 40 milhões de sacas) ao café conillon ou robusta (*C. canephora* Pierre).

Segundo a CONAB (Companhia Nacional de Abastecimento) o Brasil produziu, na safra de 2003/2004, cerca de 38 milhões de sacas de café beneficiado, das quais 10 milhões foram produzidas no sul e oeste de Minas Gerais (CONAB, 2004). Ressalta-se ainda que o consumo mundial de café para o ano de 2005 está estimado em 114 milhões de sacas beneficiadas (CONAB, 2004; Okuda, 2004) e que o Brasil é reconhecido como um dos países mais competitivos na cafeicultura mundial, apesar de sua fragilidade quanto à comercialização do produto, o que tem exposto os cafeicultores aos impactos da forte variação de preços do café, característica desse mercado cíclico (Fontes, 2001; Franco, 2002).

O centro-sul é a principal região cafeicultora do Brasil, com os estados de Minas Gerais, São Paulo, Paraná e Espírito Santo responsáveis por mais de 90% da produção nacional de café (Franco, 2002; Okuda, 2004). O estado de Minas Gerais é, hoje, o maior produtor de café arábica do país; cerca de 50%

desse café é colhido em suas regiões produtoras. A região Sul de Minas Gerais, com 370 mil ha ocupados com cafeeiros, é responsável por 50% da produção Estadual. A distribuição da terra nessa região caracteriza-se pelo predomínio de pequenas e médias propriedades com poucas agroindústrias envolvidas na cadeia produtiva (Franco, 2002). Mais de 95% das propriedades cafeeiras do sul mineiro possuem menos de 50 ha, e 70% da sua receita bruta é atribuída à produção de café, o que torna este produto importante para a sobrevivência de muitas famílias de agricultores e trabalhadores rurais, bem como para a economia das pequenas cidades dessa região (Mendes & Guimarães, 2000; Fontes, 2001).

Embora o Brasil seja o maior produtor mundial de café, a produtividade média nacional é muito baixa, ao redor de 12 sacas beneficiadas de 60 kg ha⁻¹ ano⁻¹, enquanto as lavouras mais produtivas chegam a 60 sacas beneficiadas de 60 kg ha⁻¹ ano⁻¹ (CFSEMG, 1999; Fontes, 2001; Saes et al., 2003). Entre vários motivos para que o Brasil tenha uma produtividade reduzida, Miranda et al. (1999) e Da Matta (2004) destacam a baixa população de plantas por área, problemas físicos e químicos dos solos tropicais e fatores climáticos adversos, como ocorrência de uma época seca e fria em algumas regiões produtoras.

Contudo, o fator determinante das baixas produções nacionais parece estar associado às dificuldades técnicas enfrentadas pelos cafeicultores, o que resulta no manejo inadequado que muitas lavouras recebem no país. A implantação da lavoura, o manejo da fertilidade do solo, de pragas, doenças e plantas invasoras são as dificuldades técnicas mais importantes do ponto de vista econômico e produtivo, pois exigem grande investimento de capital para gerar uma produção que seja economicamente viável (Thomaziello et al., 2000; Fontes, 2001).

Com a exigência de elevados investimentos para haver produção econômica, é comum ocorrer o abandono das lavouras, principalmente em

épocas de baixo preço do café no mercado, por pequenos e médios agricultores que, na sua maioria, não possuem recursos que lhes permitam conduzir as lavouras conforme as recomendações técnicas. O abandono das lavouras contribui para a redução da produtividade, bem como compromete uma cadeia produtiva que é geradora de renda e de emprego, em esfera regional e nacional (Santos et al., 2000; Fontes, 2001; Franco, 2002; Saes et al., 2003).

Os produtores de café, junto a técnicos e pesquisadores, têm buscado alternativas para que esses problemas de manejo da lavoura sejam solucionados. Tais alternativas visam fortalecer o sistema produtivo e comercial do café, evitando que variações de preços no mercado internacional comprometam a atividade de produtores de baixo poder aquisitivo do Brasil (Saes et al., 2003; Salgado, 2004). Entre algumas opções, pode-se citar a ampliação da área de plantio do café robusta devido à menor suscetibilidade de *C. canephora* Pierre às doenças do cafeeiro e sua menor exigência quanto a aspectos nutricionais e condições edafoclimáticas (Mendes & Guimarães, 2000); outra opção é a produção de cafés especiais (cafés finos ou café orgânico) que possuem uma clientela fiel e maiores cotações de mercado (Franco, 2002; Grossman, 2003); e ainda, alguns produtores tem adotado práticas de cultivo sustentável, como plantio de adubos verdes e a arborização dos cafezais, o que pode trazer benefícios técnicos, reduzir custos de produção e diversificar a renda em uma única área de cultivo (Santos et al, 2000; Saes et al., 2003).

No Brasil, existem diferentes tipos de sistemas de cultivo misto praticado com o cafeeiro e espécies arbóreas, descritos na literatura ou tradicionalmente empregados de maneira empírica, como o caso de bananeira e abacateiro cultivados nos cafezais. A implantação de quebra-ventos ou o plantio de árvores em limites da lavoura cafeeira, formando barreira contra o efeito dos ventos dominantes, geadas e contra pragas e patógenos, é uma recomendação

técnica amplamente difundida entre os cafeicultores (Caramori et al., 1996; Thomaziello et al., 2000).

Contudo, o cultivo de cafeeiros arborizados é pouco utilizado nas regiões de maior produção de café no Brasil onde o monocultivo é tradicional. Há então carência de informações do cultivo do cafeeiro em sistema agroflorestal, em condições nacionais, que vão desde a implantação e escolha dentre as várias possibilidades de arranjos das plantas no sistema, até o manejo e o comportamento do cafeeiro quando nessas condições produtivas.

2.2 Os sistemas agroflorestais

O mais simples sistema agroflorestal é aquele formado pela associação entre uma cultura e uma essência florestal (Cannell et al., 1996; Gregory, 1996). Contudo, apesar de simples se comparado a outros cultivos agroflorestais, quanto a vários aspectos ecológicos, o sistema de produção envolvendo cultura e árvores é bastante complexo do ponto de vista técnico e produtivo, uma vez que o desenvolvimento de uma cultura junto a árvores depende, dentre outros fatores, da espécie arbórea a ser cultivada, da idade das plantas integrantes do sistema como um todo, da arquitetura das copas, do espaçamento entre plantas, da duração e da intensidade do sombreamento que a árvore causará sob a cultura em escala diurna e sazonal. Assim, têm-se vários modelos e arranjos de plantio para a formação e implantação de um sistema agroflorestal cultura x árvore (Nygren, 1993; Schaller et al., 2003).

Na implantação de um sistema agroflorestal, a escolha do arranjo das espécies na área de cultivo tem a função básica de minimizar os efeitos de competição por fatores de produção, do solo e da atmosfera, no espaço e no tempo. A água, a luz e os nutrientes são considerados como os fatores de

produção de maior importância ao se analisar competição em sistemas agroflorestais (Gardiner et al., 2001; Gosh, 2004).

Quando duas espécies utilizam o mesmo fator de produção de formas diferentes, ou de algum modo exploram nichos ecológicos distintos, ocorre uma fraca competição. Essas diferentes formas de exploração são chamadas de *Princípio da Produção Competitiva*, ou seja, a produção será beneficiada quando as plantas cultivadas em consórcio explorarem os fatores de produção de maneiras diferentes, minimizando a competição (Vandermeer, 1989).

Em sistemas agroflorestais formados por árvore e cultura, além da heterogeneidade espacial e temporal desta exploração, benefícios para a cultura parecem ocorrer quando as árvores disponibilizam fatores de produção que antes estavam indisponíveis. Assim, as árvores devem adquirir recursos que não estariam disponíveis à cultura caso essa não estivesse em sistema de consórcio, ou então, modificar o ambiente de maneira que recursos antes indisponíveis tornem-se disponíveis (Cannell et al., 1996). Desse modo, num sistema agroflorestal, a produção da cultura consorte será incrementada se a competição por qualquer fator de produção do solo ou da atmosfera for nula e se as árvores os disponibilizarem ao sistema; seja permitindo que uma maior fração das chuvas fique disponível para o crescimento da cultura, seja ciclando nutrientes das camadas mais profundas do solo, ou mesmo pela deposição de fitomassa, melhorando as características físico-químicas do solo (Gregory, 1996).

Vandermeer (1989) cita que quando uma espécie proporciona algum tipo de benefício para outra, alterando o ambiente positivamente, está em operação um mecanismo de facilitação. Exemplos de facilitação são: a transferência de nitrogênio de uma leguminosa para uma cultura associada; melhoria da economia da água pela modificação do microclima; transferência de nutrientes entre plantas através de interações micorrízicas; proteção contra o ataque de

pragas e redução da ocorrência de competição por plantas daninhas dentre outros.

O uso de leguminosas nesses tipos de plantios, onde existe uma cultura comercial sob sombra de árvores, pode ser de grande interesse produtivo, uma vez que essas plantas são usadas para a formação de matéria orgânica no solo em virtude da grande matéria seca produzida por unidade de área, da riqueza em elementos minerais contidos em seus tecidos, do seu sistema radicular bastante ramificado e profundo, da capacidade de mobilização dos nutrientes do solo, pela capacidade de formação de barreira contra ventos e pragas, no controle de plantas daninhas, na produção de frutos, madeira ou lenha e da habilidade de fixação do nitrogênio atmosférico no solo (Caramori et al., 1996; Paulo et al., 2001; Morais et al., 2003).

Segundo Gardiner et al. (2001), o sistema agroflorestal, quando utilizado racionalmente, oferece melhor aproveitamento dos fatores de produção, tais como: maior eficiência na utilização de nutrientes, de água e de luz que estariam sendo desperdiçados caso estivesse implantado um monocultivo. Este tipo de sistema de produção visa, então, capitalizar todos os recursos ambientais, explorando mais eficientemente os fatores de produção encontrados numa área.

2.3 O cultivo do cafeeiro em sistema agroflorestal

Embora, devido sua origem, seja considerado uma espécie tolerante ao sombreamento, nas lavouras comerciais do Brasil o cafeeiro é tradicionalmente cultivado a pleno sol. Apesar de ser presumível a erosão genética que houve na obtenção das variedades modernas de cafeeiro cultivadas no país, em virtude da seleção e melhoramento genético que visaram a obtenção de produção em monocultivo, o cafeeiro ainda pode ser conduzido, aparentemente, sem maiores problemas, em ambientes sombreados; uma vez que os valores da irradiância de

saturação são próximos de 300 e 600 $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ para plantas sob sombra e a pleno sol, respectivamente (Fahl et al., 1994; Miranda et al., 1999).

Na maioria dos países produtores de café o cultivo é feito em sistema arborizado, com exceções das lavouras no Hawaii e no Brasil e em lavouras isoladas da Colômbia e Costa Rica (Caramori et al., 1996; Beer et al., 1998; Miranda et al., 1999; Muschler, 2001; Da Matta, 2004). Nos demais países produtores da Ásia, África e Américas Central e do Sul o cafeeiro é, sem quaisquer restrições, cultivado sob o abrigo de 1 a 5 estratos arbóreos (Lyngbaek et al., 2001; Soto-Pinto et al., 2000 e 2002; Peeters et al, 2003). A maioria do café orgânico certificado produzido mundialmente, é cultivado em sistemas agroflorestais, enquanto no Brasil este tipo de café é produzido em monocultivo (Grossman, 2003; Salgado, 2004).

Alguns autores, dentre eles Beer et al. (1998) e Da Matta (2004) apontam que a arborização de cafezais apenas se justifica quando o cultivo se faz em áreas consideradas marginais à cafeicultura, como em baixas altitudes, regiões muito frias ou muito quentes, com seca prolongada ou com ocorrência de ventos fortes. No entanto, em outros estudos conduzidos em plantios envolvendo o cafeeiro e espécies arbóreas, os resultados obtidos, em geral, demonstram que existem vantagens para o cafeeiro e para o ambiente, mesmo em ótimas condições para a cafeicultura; uma vez que o cultivo em sistema agroflorestal, além de propiciar ao cafeeiro um microclima mais adequado ao seu desenvolvimento e produção, também oferece vantagens quanto ao manejo de pragas, doenças e plantas invasoras (Fournier, 1988; Schaller et al, 2003; Soto-Pinto et al., 2002).

Além das vantagens técnicas e ecológicas proporcionadas pela arborização dos cafeeiros, citadas anteriormente, outra importante razão que pode induzir o uso de sistema agroflorestal na produção de café são as vantagens sócio-econômicas, principalmente para os pequenos e médios produtores rurais

(Beer et al., 1998; Santos et al., 2000; Saes et al., 2003). A arborização de um cafezal proporciona reduções significativas nos custos de produção do café, permitem a exploração de outro produto comercial (frutas, látex, madeira, lenha entre outros) numa mesma área de cultivo, empregam mão de obra em maior tempo e permitem que o produto seja diferenciado, abrindo novas opções de mercado e de preços (Grossman, 2003; Saes et al., 2003).

Dentre os vários tipos de produção de café em sistema agroflorestal, a arborização de cafezais com espécies leguminosas é bastante difundido, principalmente na América Central. Este sistema produtivo já foi objeto de estudo de muitos trabalhos relacionados à melhoria do solo pela incorporação de fitomassa e pela fixação de nitrogênio atmosférico que estas espécies, em simbiose com bactérias do gênero *Rhizobium*, possuem (Awonaike et al., 1996; Caramori et al., 1996; Paulo et al., 2001). Porém, trabalhos com uma abordagem da fisiologia do cafeeiro submetido a essas condições de manejo e cultivo, observando-se aspectos relacionados à competição e estresses ambientais e sua relação com crescimento, produção e trocas gasosas, quando cultivado sob influência de leguminosas em comparação com as condições de monocultivo tradicional, não são muito frequentes (Salgado, 2004; Da Matta, 2004).

Devido à complexidade destes sistemas de cultivo, às particularidades das diversas espécies leguminosas que podem ser usadas com o cafeeiro e diversas possibilidades de arranjo e manejo, existem alguns aspectos a serem estudados, principalmente em relação a heterogeneidade espaço-temporal das variadas interações competitivas que podem ocorrer e o seu efeito na fisiologia do cafeeiro. Isso porque, nesses sistemas de cultivo, a competição por água, luz e nutrientes não é apenas intra-específica como em monocultivos, mas possui caráter entre e intra-específico, o que torna a dinâmica da competição por recursos do solo e da atmosfera mais complexa e diferente da observada nos monocultivos (Furia, 2000; Romero-Alvarado et al., 2002).

2.4 Ecofisiologia do cafeeiro em sistema agroflorestal

2.4.1 Condições ambientais

Das várias diferenças que existem entre um cafezal arborizado e um em monocultivo, a disponibilidade de radiação é a mais nítida e talvez seja a principal, por ser responsável pela maioria das demais diferenças observadas quando esses dois sistemas produtivos são comparados. Isso porque, diretamente, a radiação solar pode ser responsável por modificações morfofisiológicas no cafeeiro (Gomes, 2004) e; indiretamente, é o fator determinante das condições microclimáticas num ecossistema. Diferenças na forma, estratificação e constituição do dossel causam diferenças no balanço de radiação e de energia entre esses ecossistemas, o que lhes conferem particularidades de balanço hídrico e de microclima (Angelocci, 2002).

Os aspectos produtivos e vegetativos do cafeeiro são amplamente influenciados pelas características microclimáticas. Jaramillo-Robledo & Valencia-Arztizábal (1980) destacam que o crescimento do cafeeiro é grandemente influenciado pelo ambiente. A altura da planta, o comprimento dos ramos e o número de flores estão associados ao brilho solar, ao déficit de pressão de vapor, a temperatura média e a duração da temperatura máxima do ar. Esses autores apontam ainda que a característica de bianualidade da produção em cafeeiros, grande responsável pela oscilação de preços do produto no mercado, pode ser minimizada se as plantas estiverem em uma condição ambiental que não favoreça a superprodução, mas que a mantenha compatível com a capacidade da planta e com os recursos produtivos disponíveis a ela. O que pode ser conseguido com cultivo de cafeeiros em sistema consorciado, principalmente em áreas marginais à cafeicultura (Fournier, 1989; Beer et al., 1998; Da Matta, 2004).

Os benefícios que a arborização pode proporcionar à fisiologia do cafeeiro estão relacionados à redução ou eliminação de condições de estresse ambiental a que essas plantas possam estar sujeitas quando em pleno sol. Souza (2001), trabalhando com *C. arabica* submetido a diferentes níveis de redução da luz solar por tela sombrite em casa de vegetação, observou que aspectos biofísicos e bioquímicos do cafeeiro são favorecidos quando existe sombreamento moderado.

Contudo, o sombreamento de cafeeiros em campo, por espécies arbóreas, apresenta outras características além da redução da radiação solar: ameniza e mantém a temperatura do solo e do ar, reduz a velocidade do vento, mantém constante a umidade do solo e do ar; assim como melhora a fertilidade do solo, reduz a quantidade e modifica a qualidade espectral da radiação que chega à copa do cafeeiro, evitando possíveis danos por excesso de radiação (Morais et al., 2003). O principal ponto negativo do sombreamento em cultivos múltiplos para os aspectos fisiológicos do cafeeiro é a competição, especialmente quando não são realizadas práticas de manejo, visando reduzir os seus efeitos, o que pode caracterizar condições de estresse tão severas quanto as observadas em condições de monocultivo (Beer et al., 1998; Paulo et al., 2001).

Vários autores, dentre eles Beer et al. (1998) e Soto-Pinto et al. (2000) observaram que o resultado final causado pela condução de cafeeiros em sistemas arborizados é a redução da produção da cultura. Mesmo que a competição seja inexpressiva, uma vez que há um efeito indireto das árvores sobre o cafeeiro, pela alteração de características microclimáticas, que por sua vez influenciam amplamente os processos fisiológicos relacionados com a produção, principalmente as trocas gasosas e a absorção de água e nutrientes. Contudo, Fournier (1988) e Peeters et al. (2003) comparando alguns aspectos de cafeeiros cultivados em monocultura e arborizados concluíram que, apesar das plantas de café cultivadas a pleno sol produzirem cerca de 10% a 20% mais que

as sob cultivo arborizado, existem vantagens na arborização do cafezal. O plantio nesse sistema parece oferecer ao cafeeiro uma maior proteção contra os efeitos adversos do ambiente, evitando que ocorram estresses ambientais, proporcionando um microclima favorável para a obtenção de produções mais estáveis e, permitindo o desenvolvimento das plantas pelo aproveitamento da matéria orgânica e dos nutrientes nas diferentes camadas do solo, pelo sistema radicular do café e das plantas associadas (Soto-Pinto et al., 2000 e 2002; Peeters et al., 2003; Da Matta, 2004).

As modificações que ocorrem no solo de sistemas agroflorestais em relação ao monocultivo se relacionam principalmente à elevação do teor de matéria orgânica, da umidade e manutenção da temperatura, além da disponibilidade de nutrientes. Neste aspecto, o consórcio entre cafeeiros e leguminosas arbóreas recebe especial atenção em virtude da grande fitomassa produzida por unidade de área, da riqueza em elementos minerais, do sistema radicular bastante ramificado e profundo e da capacidade de mobilização dos nutrientes do solo que estas espécies possuem (Paulo et al, 2001; Gosh, 2004). Beer et al. (1998) citam que sob sombra de leguminosas, o conteúdo de matéria orgânica do solo de um cafezal pode ir de 0 a 21% em 10 anos de cultivo consorciado, em regime de poda e deposição de fitomassa, o que representa um ganho inestimável na qualidade e proteção do solo de cultivo.

Segundo Awonaike et al. (1996), além de proporcionar todas as vantagens citadas, o plantio de leguminosas junto de culturas também objetiva a fixação do nitrogênio atmosférico. Dentre os vários nutrientes presentes nos tecidos vegetais, o nitrogênio representa uma pequena fração da fitomassa, perfazendo aproximadamente 3% da matéria seca. É um dos elementos mais importantes no desenvolvimento e produção vegetal, pois participa da estrutura de compostos essenciais para a absorção e metabolismo do carbono.

Beer et al. (1998) e Paulo et al. (2001) relatam que a importância da fixação simbiótica de nitrogênio em cafezais arborizados por leguminosas foi superestimada por vários pesquisadores, uma vez que pouco contribuiu para o conteúdo de nitrogênio no solo (de 35 – 60 kg N ha⁻¹ano⁻¹) em comparação com o que é necessário ao desenvolvimento e produção da cultura (120 – 150 kg N ha⁻¹ano⁻¹). Assim, a habilidade em produzir fitomassa para a formação de cobertura morta no solo deveria ter sido melhor considerada e trabalhada, pois parece contribuir mais para a disponibilização e ciclagem desse e de outros nutrientes essenciais.

Além disso, o incremento no teor de matéria orgânica no solo traz, em geral, benefícios mais significativos para o solo do que a fixação simbiótica de nitrogênio, especialmente em lavouras que recebem adubação nitrogenada. O que pode ser comprovado ao se comparar as taxas de mineralização do nitrogênio em lavouras sombreadas com não leguminosas (148 kg N ha⁻¹ano⁻¹) e em monocultivo (111 kg N ha⁻¹ano⁻¹). Nestas duas situações, as lavouras receberam adubação mineral (300 kg N ha⁻¹ano⁻¹), indicando que a ciclagem do nitrogênio na lavoura sombreada foi mais eficiente, com menos nitrogênio volatilizado (Beer et al., 1998).

2.4.2 Assimilação de CO₂, crescimento e produção

A fotossíntese e os processos relacionados com a absorção de CO₂ são direta e indiretamente afetados pela disponibilidade de radiação no ambiente, uma vez que a luz é a fonte de energia para o processo fotossintético e também determina as condições microclimáticas do ecossistema, como a temperatura e a disponibilidade de água no solo, que não são menos importantes para a assimilação de CO₂ do que a própria luminosidade (Angelocci, 2002). Dessa forma, a radiação solar é o fator ambiental relacionado, de forma direta ou não,

ao acúmulo de fitomassa, podendo afetar a produção das plantas cultivadas (Vilela & Ravetta, 2000; Gardiner et al., 2001).

Segundo Gardiner et al. (2001), culturas em sistemas agroflorestais estão sujeitas a uma menor intensidade luminosa em relação a culturas em sistema de monocultivo, e essa redução da radiação solar pode caracterizar uma condição de estresse por baixa luminosidade. As plantas, em geral, possuem algumas opções de adaptação quando em condições de luminosidade abaixo do requerimento mínimo de radiação necessário para manter sua carboxilação de manutenção, como redução da taxa transpiratória, aumento da área foliar, aumento da taxa fotossintética por unidade de área foliar e por unidade de energia luminosa (Valio, 2001). Por sua vez, uma elevada incidência de radiação, acima da capacidade de utilização pela fotossíntese, como observado por Nascimento (2002) e Oliveira (2002) em cafeeiros em monocultivo, pode resultar na produção excessiva de NADPH e ATP, levando as plantas a uma condição de estresse conhecida como fotoinibição (Barber & Anderson, 1992).

A fotoinibição caracteriza-se pela diminuição do rendimento quântico da fotossíntese, acompanhando as alterações nas atividades do fotossistema II (Krause & Weis, 1991). Fournier (1988), Oliveira (2002) e Nascimento (2002) observaram que o sombreamento nos cultivos de cafeeiros arborizados muitas vezes evita que os altos níveis de radiação, que ocorrem principalmente em regiões tropicais, provoquem danos ao aparelho fotossintético das plantas cultivadas sob sombra, causando fotoinibição.

No entanto, os efeitos deletérios causados pelo excesso de radiação nos cafeeiros parecem ser mais significativos quando ocorrem juntamente com condições climáticas adversas (baixas temperaturas, elevada amplitude térmica, ventos fortes, elevadas temperaturas foliares), sob déficit hídrico severo ou deficiência nutricional (Muchler, 2001; Romero-Alvarado et al., 2002).

Fournier (1988) e Da Matta (2004) ressaltam a importância do cultivo de cafeeiros sob sombra em locais onde o déficit hídrico é um fator limitante para o desenvolvimento e a produção satisfatória dos cafeeiros, uma vez que a presença das árvores cultivadas nos cafezais pode trazer vantagens quanto a manutenção da umidade do solo e redução da demanda evaporativa da atmosfera, podendo reduzir ou mesmo eliminar os efeitos do estresse hídrico sobre a produção, especialmente evitando a redução da fotossíntese líquida.

A redução da taxa fotossintética é o primeiro efeito do estresse hídrico no cafeeiro, seguido pelo murchamento e queda de folhas. Sob condições de estresse hídrico e elevada radiação solar, a redução das taxas fotossintéticas do cafeeiro é consequência do fechamento estomático e da degradação das membranas celulares, estruturas fundamentais para as reações de trocas gasosas nas células vegetais (Alves, 1986; Baker, 1993; Lima et al., 2002).

Em sistemas agroflorestais, a competição por água pode agravar os problemas de estresse hídrico do cafeeiro. Alguns autores, dentre eles Silva (1997), verificaram que a competição por água pode trazer prejuízos ao crescimento e ao acúmulo de matéria seca nas plantas, mesmo que o solo esteja com uma adequada quantidade de água disponível. Assim, a presença de uma cultura junto a outra em uma mesma área de cultivo pode influenciar negativamente a produção de matéria seca da cultura principal, reduzindo a sua área foliar e a profundidade das raízes, como resultado de uma menor condutância estomática, menores taxas transpiratórias e menores taxas fotossintéticas, sendo estes efeitos mais pronunciados em menores teores de água no solo. Dessa maneira, a competição no solo pode estar relacionada a inibição da fotossíntese, tanto como consequência do fechamento estomático, como em razão de efeitos deletérios diretos nos cloroplastos, o que prejudicaria o normal funcionamento do aparelho fotossintético (Alves, 1986; Baker, 1993; Silva, 1997).

Como efeito resultante da radiação solar incidente sobre a planta e do seu estado hídrico, a temperatura foliar também parece influenciar sobremaneira nas trocas gasosas de cafeeiros. A temperatura de folhas de cafeeiros, quando completamente expostas à radiação solar, pode chegar a 40°C, o que, segundo muitos pesquisadores da fisiologia desta planta, reduz drasticamente as taxas fotossintéticas e eleva a ocorrência da fotorrespiração (Fournier, 1988; Beer et al., 1998). Elevadas temperaturas foliares fazem com que a condutância estomática e mesofílica diminuam, ocorrendo perda de atividade carboxilase da RUBISCO e elevando a concentração interna de CO₂, o que causa diminuição do potencial hídrico foliar e, conseqüentemente, mais estímulo ao fechamento estomático (Alves, 1986; Fournier, 1988). Ao serem comparadas plantas cultivadas sob sombra e a pleno sol, é possível se observar uma redução na máxima temperatura foliar, em um dia ensolarado, de cerca de 5°C e; na mínima, uma elevação de 2°C (Fournier, 1988; Beer et al., 1998).

Além de diminuir as variações que acontecem com a temperatura foliar, a arborização parece reduzir substancialmente o déficit de pressão de vapor da atmosfera, o que provavelmente contribuiria para a elevação das taxas fotossintéticas em cafeeiros sombreados, por permitir uma maior abertura estomática e influxo de CO₂ para as células do mesófilo foliar (Beer et al., 1998). No entanto, segundo Da Matta, (2004) isto não tem sido verificado na maioria dos estudos com cafeeiros em sistemas agroflorestais.

Apesar de vários trabalhos mostrarem maiores taxas fotossintéticas para os cafeeiros em condições de temperaturas amenas e menores níveis de radiação fotossinteticamente ativa (Oliveira, 2002; Souza, 2001, Freitas et al., 2003). Fournier (1988) e Da Matta (2004) relatam que as plantas de café, quando cultivadas a pleno sol em comparação com aquelas sob sombra, possuem uma maior taxa fotossintética, porém maior fotorrespiração e, quando no escuro, maior respiração. Por causa desta variedade de resultados quanto a fotossíntese

do cafeeiro em diferentes sistemas de cultivo, Miranda et al. (1999) sugerem que o cafeeiro possui plasticidade adaptativa. Em outras palavras, é uma planta capaz de adaptar-se a diferentes condições ambientais. A plasticidade adaptativa das espécies às diferentes condições de radiação solar é dependente do ajuste de seu aparelho fotossintético de modo a garantir maior eficiência na conversão da energia radiante em carboidratos (Valio, 2001).

Devido à característica de plasticidade adaptativa e a desigualdade entre os resultados em termos de fotossíntese para o cafeeiro, quando em sistema agroflorestal e, quando em monocultivo, espera-se que o crescimento e a fenologia do cafeeiro sejam igualmente distintos quando o cafeeiro é cultivado em diferentes ambientes, o que pode ocasionar alterações na produção de grãos. Trabalhos que relacionam as características de crescimento da parte aérea do cafeeiro com o sistema de cultivo são comumente encontrados (Jaramillo-Robledo & Valencia-Arízizábal, 1980; Beer et al., 1998; Silva et al., 2004). No entanto, estudos do desenvolvimento do sistema radicular do cafeeiro, quando em monocultivo ou em consórcio, são raros.

O reduzido número de trabalhos com raízes de cafeeiros, em monocultivo ou em cultivos mistos, pode ser consequência das barreiras metodológicas que os cientistas têm que enfrentar para obter informações sobre a dinâmica e a geometria do sistema radicular. Além do mais, não raramente, os dados obtidos estão sujeitos a um elevado nível de variação experimental, que prejudicam as análises estatísticas (Lose et al., 2003). Alguns pesquisadores têm observado que, em geral, para espécies perenes, há uma coincidência entre as regiões de maiores valores de densidade de comprimento das raízes, e as regiões de maior percentagem de raízes com menores diâmetros (raízes com diâmetros menores que 0,7 mm), consideradas as principais responsáveis pela atividade de absorção de água e nutrientes (Coelho et al., 2002).

Na parte aérea, a presença de árvores junto aos cafeeiros parece diminuir a formação de nós, que é o principal componente na produção da planta, assim como inibir a iniciação floral de muitas gemas presentes em nós produtivos (Fournier, 1988), o que explicaria o menor número de flores encontrado em plantas de sombra quando comparadas a plantas em pleno sol (Romero-Alvarado et al., 2002; Peeters et al., 2003). Como o sombreamento parece reduzir tanto o lançamento de novos nós quanto o número de frutos por nó, logo, em mesmas condições ambientais e de manejo, cafeeiros sob sombra serão menos produtivos que a pleno sol (Miranda et al., 1999).

Entretanto, a produção de algumas lavouras costarriquenhas sob sombra de leguminosas foi igual ou até superior àquela encontrada em lavouras não sombreadas, sendo que ambas receberam o mesmo manejo (Beer et al., 1998). Em outro experimento, estes mesmos autores encontraram maiores produções em *C. arabica* var Bourbon cultivado a pleno sol, contudo, a vantagem que havia em relação ao tratamento sombreado foi sendo reduzida ao longo dos anos até atingirem a igualdade, aos seis anos, após implantação da cultura.

Para que sejam comparadas as produções de cafeeiros sombreados e a pleno sol, além da presença ou ausência de sombra, outros fatores devem ser levados em consideração como: o manejo, fertilização, disponibilidade hídrica, espécies utilizadas para sombreamento, variedade de café utilizada e, principalmente, localização da área, uma vez que a latitude e a altitude são determinantes na produção (Lyngbaek et al., 2001; Romero-Alvarado et al., 2002; Peeters et al., 2003). Em menores altitudes a produção de cafeeiros geralmente é baixa devido as maiores temperaturas e; em altitudes elevadas, as baixas temperaturas aliadas aos ventos fortes também reduzem a produção (Thomaziello et al., 2000) bem como limitação hídrica e nutricional dos solos (Schaller et al., 2003). Nestas condições sub-ótimas, a presença de árvores na lavoura causa um efeito positivo, tornando-a tão produtiva quanto uma lavoura

não sombreada em boas condições edafoclimáticas. Porém, o sombreamento em condições ótimas parece causar redução da produção (Fournier, 1988; Beer et al., 1998; Da Matta, 2004).

Quanto à qualidade do produto, existem poucos trabalhos que comparam a qualidade da bebida do café sombreado e a pleno sol, não fornecendo resultados consistentes que realmente evidenciem alguma diferença entre o produto advindo desses sistemas. Porém, há informações de que sob sombreamento, o amadurecimento dos frutos é mais lento e, portanto, os frutos são maiores e possuem teores mais elevados dos componentes químicos que conferem qualidade à bebida e que determinam melhores características organolépticas ao café (Beer et al., 1998). Segundo Muchler (2001) este efeito é mais perceptível quando o sistema de produção de café sombreado é implantado em condições sub-ótimas para a qualidade do produto.

No entanto, tem sido demonstrado que a qualidade do café é grandemente influenciada a partir do momento da colheita, que deve ser feita quando os frutos apresentam-se no estágio de cereja. As etapas que seguem a colheita, ou seja, as operações de pós-colheita também devem ser feitas de maneira a permitir uma secagem rápida e uniforme dos grãos, evitando a fermentação do produto. O armazenamento, beneficiamento, torra e moagem devem ser realizados de maneira adequada, garantindo assim uma boa qualidade final de bebida (Giranda, 1998; Thomaziello et al., 2000). Tanto o café produzido em sistema agroflorestal quanto em monocultivo podem ter boa qualidade, desde que recebam um manejo adequado, especialmente nas etapas de colheita e de pós-colheita (Muchler, 2001).

Em resumo, a maioria dos estudos sobre o comportamento ecofisiológico do cafeeiro quando em monocultivo e sistema agroflorestal enfatizam apenas os efeitos que ocorrem em curto prazo na fotossíntese, disponibilidade de radiação, água no solo e os primeiros anos de produção. No entanto, poucos trabalhos

demonstram respostas em longo prazo de cafeeiros cultivados em sistema agroflorestal, principalmente quanto ao crescimento e produção, modificações no solo e no desenvolvimento do sistema radicular, alterações no microclima, no comportamento de trocas gasosas e na qualidade do produto (Morais et al., 2003; Da Matta, 2004). De semelhante modo, são raros os trabalhos que informam, de maneira prática, sobre arranjo espacial das plantas no campo e sobre o manejo de cafeeiros em sistemas agroflorestais com leguminosas, que objetivem otimizar os aspectos técnicos e sócio-econômicos deste sistema produtivo.

Os resultados existentes na literatura levam a concluir que a consorciação de cafeeiros com espécies arbóreas, quando bem planejada e com manejo correto, certamente poderá contribuir em vários aspectos para a produção de café, especialmente em condições edafoclimáticas sub-ótimas para a cafeicultura, onde as árvores contribuem para a manutenção da radiação e da temperatura em níveis adequados para um melhor desenvolvimento e produção do cafeeiro (Fournier, 1988). Contudo, os elevados custos de implantação de um cafezal, os constantes investimentos exigidos para o controle de pragas, doenças e plantas invasoras, a redução na renda por área dos cafeicultores e a necessidade de conservação e melhoria de recursos naturais apontam a implantação de sistemas agroflorestais como uma alternativa viável mesmo para as regiões com condições edafoclimáticas ótimas para a produção do cafeeiro. No entanto, a implantação da lavoura cafeeira em sistema agroflorestal nessas condições exige manejo adequado para evitar que haja sub-produção.

Assim, estudos que visem obter informações quanto ao comportamento fisiológico, fenológico e produtivo de cafeeiros arborizados, nessas condições ótimas, são necessários para otimizar operações de implantação, de manejo e de produção do sistema como um todo, visando potencializar os aspectos benéficos que o cultivo de cafeeiros com leguminosas pode proporcionar para os cafeeiros e para os cafeicultores no espaço e no tempo.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Descrição do experimento

O presente trabalho foi conduzido na área de ensaio dos efeitos de aléias de leguminosas sob a lavoura cafeeira, na Fazenda Experimental da EPAMIG (Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais) em São Sebastião do Paraíso, sul de Minas Gerais, latitude 20°54'48" S e longitude 46°59'36" W com altitude variando entre 894 e 1.183 m. A média anual de temperatura do ar deste município é de 20,8°C e precipitação total anual média de 1.387 mm.

O campo experimental foi implantado sobre latossolo vermelho distroférico, textura muito argilosa e em relevo suave ondulado. Tanto o cafeeiro quanto as leguminosas foram plantados na mesma época, em dezembro de 1999. O cafezal foi conduzido tradicionalmente, seguindo as recomendações técnicas para o Sul de Minas Gerais. As leguminosas foram plantadas com adubação básica de 200g de superfosfato simples/planta, após correção feita em área total para 70% de saturação por bases, de acordo com análise de solo.

Foram plantadas, perpendicularmente ao sentido predominante da direção dos ventos, as seguintes leguminosas: acácia (*Acacia mangium* Willd.), bracatinga (*Mimosa scabrella* Benth.), leucena (*Leucaena leucocephala* (Lam.) De Wit.) e feijão guandu (*Cajanus cajan* (L.) Millsp.). A acácia e a bracatinga foram plantadas em três linhas com espaçamento de 3,0 m entre plantas e 1,5 m entre linhas, de tal forma que a linha central não se encontra alinhada com as das extremidades. O plantio do guandu foi feito em quatro linhas, no espaçamento de 0,7 m com cinco sementes por metro linear. Para leucena foi feito o plantio em quatro linhas no espaçamento de 1,5 m entre linhas com 0,5 m entre plantas.

Em relação aos cafeeiros, o plantio foi feito em linhas paralelas às faixas de leguminosas, no espaçamento de 3,5 m entre linhas e 0,5 m entre plantas, utilizando-se duas linhagens de porte baixo: uma resistente e outra susceptível à ferrugem do cafeeiro.

Neste estudo, foi avaliado o efeito de três leguminosas: a acácia, a leucena e o guandu sob a linhagem de cafeeiro resistente à ferrugem. Devido à orientação e ao arranjo do plantio, foram avaliadas as parcelas de cafeeiro resistente (linhagem Oeiras) dentro de três linhas de plantio em diferentes posições em relação à faixa de leguminosa. Desse modo foram estabelecidos dez tratamentos, como pode ser observado no croqui apresentado a seguir (Figura 1).

Cada uma dessas linhas/tratamentos foi composta por três parcelas experimentais, delimitando-se cada parcela com 16 plantas de café, sendo as 12 plantas centrais selecionadas como parcela útil e utilizadas para as avaliações relativas ao cafeeiro. Para fins de análise estatística, cada parcela de estudo constituiu um bloco, como esquema apresentado (Figura 1).

Os tratamentos foram denominados conforme sua posição de plantio em relação ao ponto cardeal com referência na faixa de leguminosa, como: AO3 – terceira linha de cafeeiros a oeste da faixa de acácia; AO1 – primeira linha de cafeeiros a oeste da faixa de acácia; AL1 – primeira linha de cafeeiros a leste da faixa de acácia; LO3 – terceira linha de cafeeiros a oeste da faixa de leucena; LO1 – primeira linha de cafeeiros a oeste da faixa de leucena; LL1 – primeira linha de cafeeiros a leste da faixa de leucena; GO3 – terceira linha de cafeeiros a oeste da faixa de guandu; GO1 – primeira linha de cafeeiros a oeste da faixa de guandu; GL1 – primeira linha de cafeeiros a leste da faixa de guandu e TM - testemunha.

O tratamento TM foi considerado como a testemunha, uma vez que os cafeeiros não foram submetidos a uma condição de sombreamento, e também não houve deposição no solo de fitomassa advinda de nenhuma das

leguminosas. As plantas do tratamento AO3 receberam material da poda de acácia; os cafeeiros da linha LO3 da poda de raleio da leucena e GO3 da poda do guandu. A poda das leguminosas é realizada na estação seca (julho/agosto). Os cafeeiros dos demais tratamentos estavam sujeitos à deposição de folhas, galhos, flores e frutos que caem naturalmente (Tabela 1).

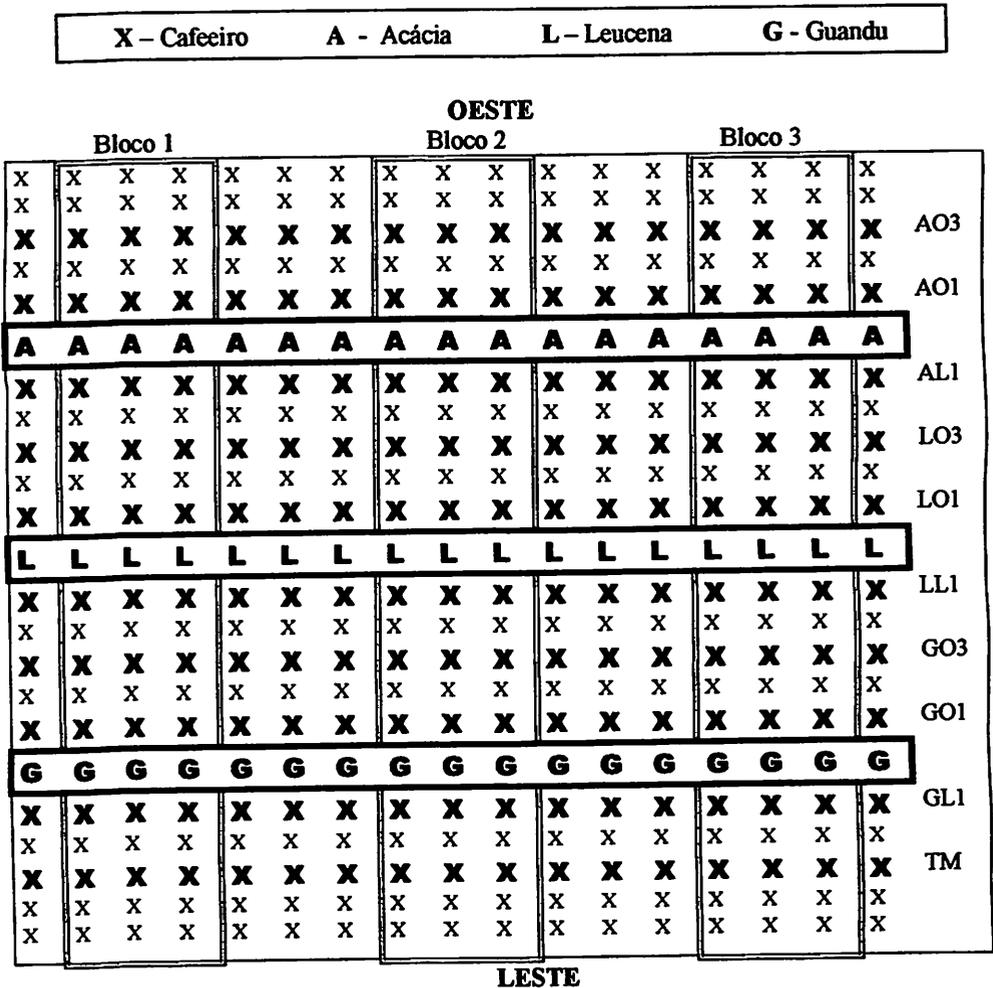


FIGURA 1 - Croqui esquemático, apresentando a disposição dos tratamentos avaliados e a disposição dos blocos na área experimental.

TABELA 1 – Simbologia associada aos tratamentos estudados

Símbolo	Posição quanto à aléia de leguminosa	Observação
AO3	3ª linha de cafeeiros a oeste da Acácia	Fitomassa poda Acácia
AO1	1ª linha de cafeeiros a oeste da Acácia	Fitomassa senescência Acácia
AL1	1ª linha de cafeeiros a leste da Acácia	Fitomassa senescência Acácia
LO3	3ª linha de cafeeiros a oeste da Leucena	Fitomassa poda Leucena
LO1	1ª linha de cafeeiros a oeste da Leucena	Fitomassa senescência Leucena
LL1	1ª linha de cafeeiros a leste da Leucena	Fitomassa senescência Leucena
GO3	3ª linha de cafeeiros a oeste do Guandu	Fitomassa poda Guandu
GO1	1ª linha de cafeeiros a oeste do Guandu	Fitomassa senescência Guandu
GL1	1ª linha de cafeeiros a leste do Guandu	Fitomassa senescência Guandu
TM	Cafeeiros em monocultivo	Sem Fitomassa de leguminosa

3.2 Características climáticas do período experimental

A precipitação mensal, a umidade relativa média mensal e a temperatura média mensal, verificadas durante o período experimental em relação aos últimos 17 anos são apresentadas na Figura 2. Os valores de precipitação apontam que a estação seca do período experimental correspondeu a 85% do que era esperado na área experimental pela média dos últimos 17 anos, apresentando também menor umidade relativa do ar (90% do valor esperado) e por maior temperatura média (5% a mais que a média esperada).

De um modo geral, a época chuvosa apresentou valores semelhantes de precipitação em relação aos valores esperados pela média dos 17 anos, exceto em jan/2003, quando a precipitação foi superior ao valor médio esperado, sendo equivalente a aproximadamente 30% do total da precipitação do ano de 2003. No início do período chuvoso de 2003/2004 foi observada queda na umidade relativa do ar (10%) juntamente com aumento da temperatura média (13%) em relação à média dos últimos 17 anos.

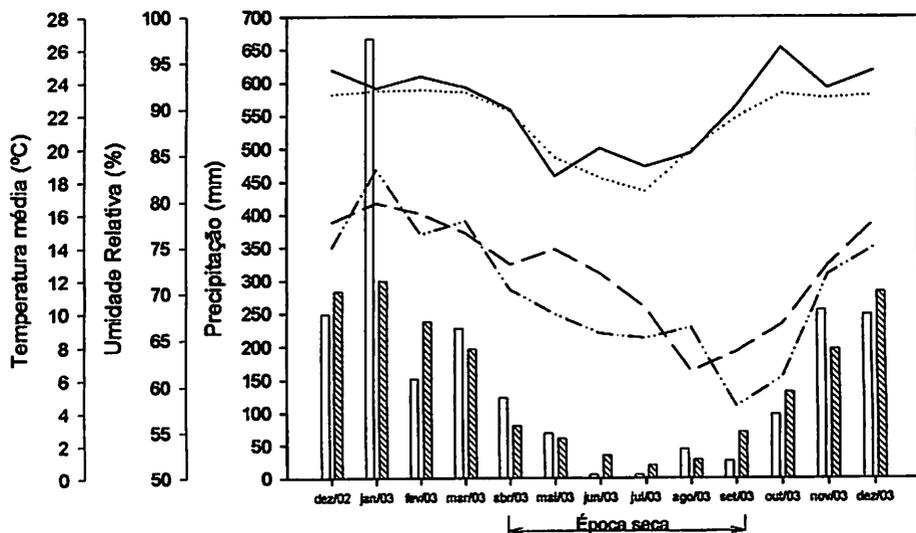


FIGURA 2 – Precipitação mensal (□), umidade relativa média (— · — · —) e temperatura média (—) observados durante o período experimental; e precipitação mensal (▨), umidade relativa (— · — · —) e temperatura média (.....) observados num período de 17 anos. Fonte: Estação Agroclimatológica Auxiliar nº 83631- INMET. São Sebastião do Paraíso, MG.

3.3 Características avaliadas

Para a avaliação do comportamento fisiológico de cafeeiros cultivados com leguminosas, foram realizadas avaliações de características biofísicas, bioquímicas, do crescimento e produção do cafeeiro além de características do solo e da atmosfera, de dezembro de 2002 a dezembro de 2003. Durante o período experimental foram realizadas 6 campanhas de avaliação em duas épocas: 3 campanhas na estação seca e 3 na chuvosa para a coleta de dados das variáveis estudadas.

3.3.1 Padrão sazonal de sombreamento

Para a avaliação do padrão de sombreamento que as leguminosas causaram nos cafeeiros estudados, em sua componente sazonal, durante o período experimental, foi realizado o estudo da dinâmica da sombra com o auxílio de um diagrama solar, pelo método do traçado das sombras de uma haste vertical em épora (Frota & Schiffer, 1995). Foram feitas estimativas para a condição de sombreamento de cada tratamento ao longo do dia a partir da caracterização da condição de sombreamento para solstício de inverno (22/06), de verão (22/12) e nos equinócios (21/3 e 24/9) considerando-se o comprimento dos dias como sendo de 10, 14 e 12 horas de sol, respectivamente.

As determinações dos ângulos solares (altura solar, altura solar vertical e azimute) foram feitas considerando-se a latitude de 20° S, e as plantas como blocos sólidos de dimensões (altura x largura) definidas como: acácia – 10,0m x 12,0m; leucena – 7,5m x 10,0m; guandu – 3,5m x 10,0m e cafeeiro 1,5m x 2,0m. Foram respeitadas as distâncias e espaçamentos observados em campo na construção dos croquis na escala de 1: 500.

3.3.2 Microclima

A caracterização do microclima foi realizada em dias típicos, predominantemente claros, semelhantes em suas características climáticas. Para estas avaliações foram utilizados sensores de radiação global (LI 200SA – LiCor), temperatura e umidade relativa do ar (Humitter 50 YC – Intercap®) e temperatura do solo (LI 1400 – 103 – LiCor) acoplados a um sistema de registro (LI – 1400, LiCor). O sensor de radiação global foi posicionado acima da copa dos cafeeiros (1,8 m) na porção mediana da linha avaliada. O sensor de temperatura e umidade do ar foi colocado a 1,20 m do solo, em abrigo próprio e,

para a temperatura do solo, foram utilizados dois sensores: um a 0,20 m e outro a 0,40 m de profundidade na projeção da saia do cafeeiro. Os sensores permaneceram durante um dia em cada tratamento, no período das 7h e 30 às 17h (solar). Foram coletados valores instantâneos das características avaliadas a cada 30 minutos.

3.3.3 Características físicas e químicas do solo

A caracterização das propriedades físicas do solo na profundidade de 0,00 – 0,20 m foi realizada em abril de 2003 nos tratamentos estudados. Foram retiradas 3 amostras indeformadas, com o amostrador de Uhland, na projeção da copa dos cafeeiros das terceiras linhas a oeste das aléias e para a testemunha. Da mesma forma foram retiradas amostras do solo das aléias, que corresponderam às propriedades físicas das primeiras linhas de cafeeiros a leste e oeste das leguminosas. Avaliou-se o volume total de poros (VTP %), macroporosidade (MACRO %), microporosidade (MICRO %) e a densidade do solo (D_s - $g\ cm^{-3}$) no Laboratório de Física do Solo do Departamento de Ciência do Solo da UFLA.

Para avaliação das características químicas do solo, foram retiradas amostras nas profundidades de 0,00-0,10 m e de 0,10-0,30 m em cinco pontos, sob a projeção da copa dos cafeeiros da terceira linha a oeste das leguminosas e da testemunha em dez/2003. Da mesma maneira foram retiradas amostras nas aléias referentes ao solo das primeiras linhas a leste e a oeste das leguminosas.

As amostras de solo foram analisadas no Laboratório de Fertilidade do Solo do Departamento de Ciência do Solo da UFLA. Os parâmetros químicos avaliados foram: pH; acidez potencial ($H+Al$ - $cmol_c\ dm^{-3}$); alumínio trocável (Al^{+3} - $cmol_c\ dm^{-3}$); bases trocáveis (Ca^{+2} e Mg^{+2} - $cmol_c\ dm^{-3}$); potássio disponível (K^+ - $mg\ dm^{-3}$); fósforo disponível (P - $mg\ dm^{-3}$); enxofre (S - $mg\ dm^{-3}$); capacidade

de troca de cátions efetiva ($t\text{-cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) e potencial ($T\text{-cmol}_c \text{ dm}^{-3}$); soma de bases trocáveis (SB - $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$); saturação por bases (V-%); índice de saturação por alumínio (m-%); matéria orgânica (MO - dag kg^{-1}) e micronutrientes (Zn, Mn, Cu e B - mg dm^{-3}). Todas as características obtidas na análise química dos solos, para as duas profundidades, foram comparadas às faixas de referência sugeridas como de nível bom pela 5ª aproximação da CFSEMG (1999) para a cultura do cafeeiro.

3.3.4 Potencial hídrico foliar e umidade do solo

O estado hídrico das plantas ao longo do período experimental foi avaliado por medidas do potencial hídrico foliar, realizadas com auxílio de uma bomba de pressão (Soil Moisture – Modelo 3005). Foram avaliados os potenciais hídricos ao amanhecer e ao meio dia solar nas mesmas datas e condições das trocas gasosas.

A umidade do solo na camada de 0,00 – 0,20 m de profundidade foi medida nos mesmos dias de avaliação do potencial hídrico, a partir de três amostras de solo por tratamento (uma por bloco), cada uma constituindo uma repetição. A umidade foi determinada pelo método gravimétrico.

3.3.5 Trocas gasosas

Foram avaliadas características associadas às trocas gasosas do cafeeiro com um analisador portátil de CO_2 a infravermelho (IRGA), modelo ADC-LCA-4 (Hoddesdon, UK) em dias típicos de cada estação, ou seja, dias claros e com condições climáticas características da época seca e da chuvosa para a região.

Realizou-se avaliações de fotossíntese líquida, transpiração, condutância estomática, densidade do fluxo de fótons fotossinteticamente ativos, temperatura

da folha, temperatura e umidade relativa da câmara. A partir dos dados de umidade relativa e temperatura da câmara, foram determinados os valores do déficit de pressão de vapor da atmosfera.

As avaliações foram realizadas sempre por volta das 9 h e 11 h (hora solar) em folhas maduras e completamente expandidas do terceiro nó de ramos do terço médio dos cafeeiros, em três plantas por tratamento (uma por parcela); em uma folha por planta, expostas à radiação solar no momento da medida. Cada planta representou uma repetição.

3.3.6 Nitrogênio foliar

Foram coletadas amostras de folhas dos cafeeiros na época seca (junho de 2003), e na época chuvosa (março de 2004) para a determinação do teor de nitrogênio foliar dos tratamentos estudados. Foram coletadas oito folhas por tratamento, aleatoriamente, nas plantas avaliadas das três parcelas seguindo o padrão utilizado para a avaliação de trocas gasosas e de potencial hídrico foliar.

Após a coleta, as folhas foram acondicionadas em sacos de papel e colocadas dentro de um livro para que mantivessem a forma até a chegada ao laboratório. Mediu-se a área foliar pelo método apresentado por Barros et al. (1973), sendo a área da folha de cafeeiro dada por:

$$A = 0,667. L.C$$

onde A - é a área foliar (m²), L - é a maior largura da folha (m) e C - é o maior comprimento da folha (m). Logo após a medição da área foliar, as folhas foram postas para secar em estufa com circulação forçada de ar a 75°C por 72 horas.

Para a determinação do conteúdo de nitrogênio foliar, amostras das folhas previamente secas e moídas foram submetidas à digestão sulfúrica. Para a destilação do nitrogênio utilizou-se o método de micro-Kjedal

O conteúdo de N foi determinado por titulação do destilado com HCl 0,007143 N, sendo o conteúdo de nitrogênio da amostra dado diretamente pelo volume de ácido gasto na titulação. Esta avaliação foi realizada no laboratório de Bioquímica e Metabolismo de Plantas do Departamento de Biologia – UFLA.

Para avaliação do estado nutricional dos cafeeiros estudados, quanto ao nitrogênio, foi realizada análise do desvio do ótimo percentual (DOP) (Montañéz et al., 1993), que permite a obtenção do desvio, em porcentagem, do teor de nitrogênio foliar observado na amostra em relação ao seu valor padrão, de acordo com a seguinte expressão:

$$\text{DOP} = [(C \times 100) / C_{\text{ref}}] - 100$$

onde C – é o valor obtido na amostra e C_{ref} - é o valor padrão de referência preconizado por normas, obtido nas mesmas condições de amostragem, para o dado parâmetro em análise. Os valores de referência utilizados nas análises do DOP de nitrogênio foliar foram obtidos na Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais - 5ª aproximação (CFSEMG – 1999) para a cultura do cafeeiro.

Um índice DOP igual a zero indica que o parâmetro em questão se encontra na faixa ótima. Quanto mais distante do zero, mais longe do ótimo está o parâmetro avaliado. O valor do DOP negativo evidencia deficiência; e positivo, excesso de um determinado nutriente.

3.3.7 Crescimento dos cafeeiros

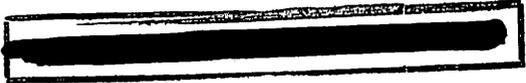
Para a avaliação do crescimento da parte aérea dos cafeeiros, foram utilizadas 12 plantas por tratamento; no terço superior de cada planta foram marcados dois ramos plagiotrópicos, um voltado para leste e outro para oeste.

Foram medidos, a cada dois meses durante o período experimental, a altura da planta e o diâmetro do caule (ortotrópico). Nos ramos plagiotrópicos marcados, foram medidos o comprimento dos ramos, o número de nós e de folhas, o diâmetro da base do ramo e o comprimento da saia do cafeeiro. O diâmetro do caule foi medido a, aproximadamente, 0,15m do solo em duas posições cruzadas, obtendo-se o maior e o menor diâmetro. O comprimento da saia foi dado pela distância do ramo ortotrópico até a ponta do maior plagiotrópico, nos dois lados da planta.

3.3.8 Caracterização do sistema radicular dos cafeeiros

Para a caracterização do sistema radicular, foram coletadas amostras de solo com um trado tipo caneca, em duas profundidades: 0,00 – 0,20 m e 0,20 – 0,40 m, duas amostras por parcela, ou seja, seis amostras por tratamento para cada profundidade, três a leste e três a oeste da linha de cafeeiros, totalizando 120 amostras que foram mantidas em geladeira (0°C) até a etapa de separação e lavagem das raízes.

Nesta etapa, primeiramente as amostras de solo e raízes foram colocadas em recipiente, contendo aproximadamente 100 ml de dispersante de argila NaOH 1,0 N. A mistura de dispersante e amostra foi deixada em repouso por aproximadamente 30 minutos, período no qual não se observava a presença de torrões de solo. Após esse período de repouso, necessário para a dispersão de argilas, as amostras foram lavadas em água corrente e com auxílio de um



equipamento lavador/separador de raízes (Campos et al., 2003). Para a classificação das raízes, foi utilizado um jogo de peneiras de diferentes malhas (9, 12 e 24 Mesh). O armazenamento das raízes, lavadas e separadas, foi em frascos contendo água destilada com gotas de formaldeído, conservados em geladeira (0°C) até a medição das suas características geométricas.

A determinação do diâmetro médio das raízes e a densidade de raízes no solo foram feitos com auxílio do software QUANT (Fernandes Filho et al., 2001). Esse software analisa imagens digitais dos fragmentos radiculares montados sobre placa de vidro e escaneados em resolução de 200 dpi (raízes finas e médias) e de 75 dpi (raízes grossas). O hardware utilizado foi um scanner HP4C deskjet, acoplado a um PC K6II 400MHz – Intel 128 MB RAM.

Para determinação da matéria seca, as raízes foram postas em estufa de circulação forçada de ar a 75°C durante 72 horas. Todos os dados obtidos foram extrapolados para 1m³ de solo. Esta etapa do trabalho foi realizada no laboratório de Ecofisiologia Vegetal do Departamento de Biologia da UFLA

3.3.9 Produção dos cafeeiros

A avaliação da produção dos cafeeiros foi realizada em agosto de 2003 e consistiu na colheita por derriça manual sobre pano, como tradicionalmente é feito no sul de Minas Gerais. Este café foi pesado após a retirada de folhas, galhos e torrões, perfazendo a produção de “café da roça” de 12 plantas de cada tratamento (quatro plantas por parcela). O café da roça foi submetido à secagem em terreirão até atingir cerca de 12% de umidade, sendo então beneficiado. Após o beneficiamento, os grãos foram pesados, obtendo-se a produção de café beneficiado de cada tratamento. De posse dos valores de café beneficiado, referentes a quatro plantas de cada parcela, estimou-se a produtividade em sacas de café beneficiado por hectare.

3.4 Delineamento experimental

O delineamento experimental utilizado para a análise estatística das trocas gasosas, potencial hídrico foliar, umidade do solo, caracterização do sistema radicular, nitrogênio foliar, produção e crescimento dos cafeeiros foi o de blocos ao acaso (DBC). A análise de variância foi realizada através do teste F, a 5% de probabilidade, para todas as características avaliadas. As médias foram comparadas por meio da sobreposição do erro padrão da média.

Foi também realizada análise multivariada dos dados coletados, objetivando resumir as diversas variáveis envolvidas nesse estudo em duas ou três novas “super” variáveis, melhor compreensíveis e capazes de explicar de maneira clara os fatores de variação. Como método de ordenação foi utilizada a análise de componentes principais (PCA).

A análise de componentes principais (PCA) é amplamente empregada em estudos ecológicos, envolvendo características ambientais e frequência de distribuição de espécies (Kent & Coker, 1994), mas também pode ser utilizada para análise de respostas fisiológicas de plantas sem maiores restrições (Peñuelas et al., 1998; Justo, 2003).

Com o uso da análise de componentes principais (PCA) foi possível resumir as muitas variáveis estudadas em duas ou três variáveis compostas, tornando mais simples a análise do ambiente e do comportamento fisiológico dos tratamentos avaliados em função da variação sazonal, da posição da linha em relação à leguminosa e do tipo de sombra a que os cafeeiros foram submetidos.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Padrão sazonal de sombreamento

A caracterização do padrão de sombreamento (Figura 3) mostra que as plantas de café, independente do tratamento, estão expostas a uma condição de maior duração de sombra no solstício de inverno que no solstício de verão, sendo observado para os equinócios valores intermediários de duração da sombra. Dentre as linhas de cafeeiros estudadas, aquelas mais próximas das leguminosas, tanto a leste quanto a oeste, estão expostas a um maior período de sombreamento e, portanto, pode-se dizer que recebem menores quantidades de radiação direta que aquelas mais afastadas das aléias nas datas estudadas.

Para os cafeeiros de uma mesma posição em relação às aléias de leguminosa, as linhas a oeste apresentam diferentes tempos de sombreamento, com GO3 e GO1 permanecendo mais tempo sombreados que LO3 e LO1 que, por sua vez, são mais sombreadas que AO3 e AO1 respectivamente, especialmente no solstício de inverno. Quanto às linhas a leste das leguminosas, a condição de sombreamento é semelhante para AL1 e LL1, enquanto GL1 parece ser menos sombreada em relação a estas linhas no solstício de verão.

As linhas TM, LO3 e GO3 mantêm o padrão de sombreamento verificado para as plantas em outras posições de cultivo, no entanto permanecem em torno de 64% mais sombreadas no solstício de inverno do que no solstício de verão e 55% a mais no solstício de inverno que nos equinócios; enquanto os cafeeiros das primeiras linhas a leste e a oeste das aléias de acácia e de leucena permanecem 20% mais sombreados no solstício de inverno, em relação ao de verão, e 16 % a mais que nos equinócios. Para os cafeeiros da linha AO3, o sombreamento do solstício de inverno é 46% maior que o do solstício de verão e

37% maior que nos equinócios. Nas primeiras linhas sombreadas por guandu, a diferença entre solstícios de inverno e verão é de 30%; enquanto nos equinócios, para GO1, essa diferença é de 8% e para GL1é de 16%.

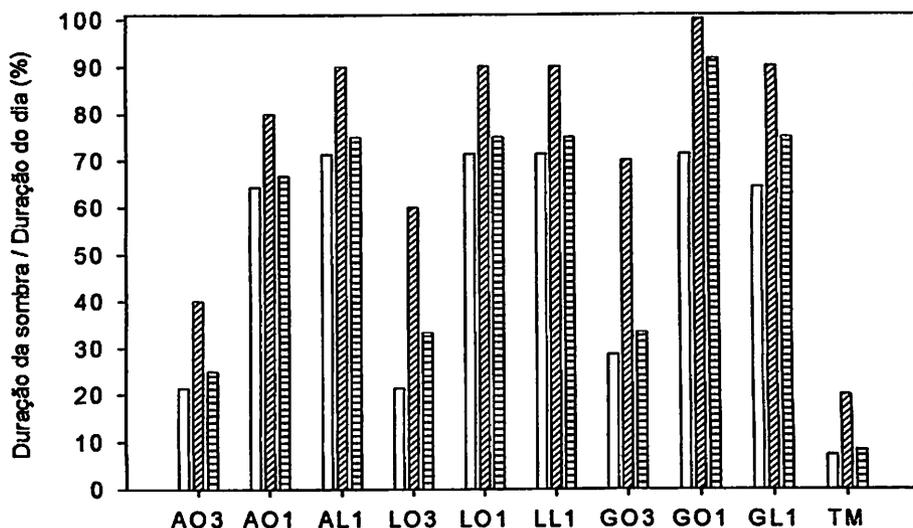


FIGURA 3 – Duração do sombreamento em percentual do período de duração do dia no solstício de verão (□), no solstício de inverno (▨) e nos equinócios (▤) para: AO3, LO3 e GO3 - 3ª linha de cafeeiros a oeste da aléia de acácia, de leucena e de guandu respectivamente; AO1, LO1 e GO1 - 1ª linha de cafeeiros a oeste da aléia de acácia, de leucena e de guandu respectivamente; AL1, LL1 e GL1 - 1ª linha de cafeeiros a leste da aléia de acácia, de leucena e de guandu respectivamente e TM - testemunha.

Estes resultados mostram que há uma condição de maior sombreamento provocado pelas árvores no solstício de inverno e uma maior exposição a radiação solar direta no solstício de verão. Portanto, pode-se dizer que, de uma maneira geral, os cafeeiros nesse arranjo de plantio passam mais tempo sombreados no inverno que em relação ao verão. Sendo o inverno caracterizado por uma condição de menor disponibilidade de radiação, a maior duração do sombreamento nesse período pode vir a representar uma situação de estresse por

baixa radiação nos cafeeiros, em função do espaçamento e arquitetura de copa das leguminosas. Por isto, nesta época do ano, a prática da poda, visando reduzir as dimensões do bloco formado pelo plantio de leguminosas em aléias, contribui para reduzir o período de sombreamento nos cafeeiros ao longo do dia; permitindo, assim, que uma maior quantidade de radiação atinja as copas dessas plantas. Tais condições podem favorecer a atividade fotossintética dos cafeeiros.

De maneira oposta, a menor duração do sombreamento observada no solstício de verão pode indicar que nesta época do ano, que naturalmente é caracterizada por elevados níveis de radiação, o cafeeiro esteja recebendo um excesso de radiação, acima do seu ponto de saturação de luz ($300-600 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), o que favorece a condição para ocorrência de fotoinibição. Essas observações indicam que no cultivo de cafeeiro arborizado há necessidade de estabelecer práticas de manejo do sombreamento, nessa época do ano, que propiciem um aumento no tempo de sombreamento dos cafeeiros nesse sistema de cultivo, como aumentar as dimensões dos blocos formados pelas leguminosas. Desse modo, as práticas de manejo do sombreamento em um cultivo arborizado de cafeeiros devem visar a manutenção de valores mais estáveis da radiação que incide sobre os cafeeiros ao longo do ano, beneficiando os aspectos produtivos dessas plantas, como indicado por Beer et al. (1998) e Macedo et al. (1999). Ressalta-se que estudos mais detalhados da arborização de cafezais são necessários na determinação do grau de sombreamento adequado para o desenvolvimento da cultura, onde fatores como arquitetura das copas das leguminosas arbóreas e arranjos de plantio sejam também considerados.

4.2 Microclima

De maneira geral, não foram observadas diferenças em valores máximos da radiação global instantânea incidente sobre os cafeeiros na época seca

(julho/agosto de 2003), como pode ser observado na Figura 4. Entretanto, ao longo do dia, maior quantidade de radiação global incidiu sobre os cafeeiros situados nas linhas TM, GO3, GO1 e GL1 em comparação com os cafeeiros arborizados por acácia e leucena, em qualquer uma das posições estudadas, uma vez que havia sido realizada a poda completa do guandu na ocasião da caracterização microclimática. Nos cafeeiros mais próximos às aléias de leguminosas a leste e a oeste, valores semelhantes foram observados ao longo do dia, porém com defasagem entre os horários de valores mais elevados de radiação, com os tratamentos a oeste recebendo maior luminosidade após o meio dia e a leste antes desse horário, devido a orientação do arranjo das leguminosas na área (Figura 4).

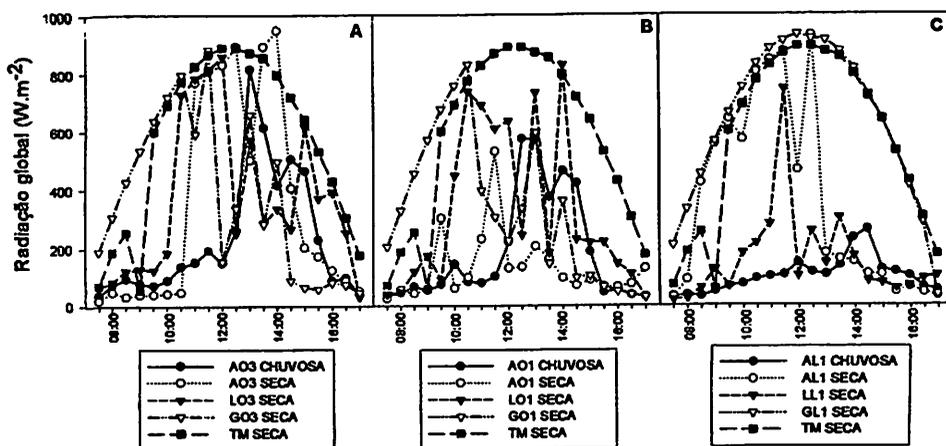


FIGURA 4 – Variação diurna da radiação global nos tratamentos estudados: A - 3ª linha de cafeeiros a oeste da aléia de acácia (AO3), de leucena (LO3) e de guandu (GO3); B - 1ª linha de cafeeiros a oeste da aléia de acácia (AO1), de leucena (LO1) e de guandu (GO1); C - 1ª linha de cafeeiros a leste da aléia de acácia (AL1), de leucena (LL1) e de guandu (GL1) e testemunha (TM).

O comportamento da radiação global ao longo do dia, observado para TM, foi semelhante ao comportamento da radiação global nas linhas arborizadas com guandu devido a poda drástica desta leguminosa no período da avaliação. O

comportamento da radiação global ao longo do dia nessas linhas foi bastante característico, com o máximo por volta do meio dia, sendo distinto daquele verificado para os demais tratamentos que apresentaram mais variações ao longo do dia. Como a caracterização do microclima foi realizada em dias claros, a maior variação da radiação global ao longo do dia, para as plantas expostas a uma condição de sombreamento, pode estar relacionada à presença de *sunflecks*, devido às características diferenciais das copas das leguminosas. Os *sunflecks* são feixes de luz solar que penetram pelo dossel das árvores e atingem, em alguns momentos, as folhas que se encontram em ambiente sombreado, podendo induzir aumento na taxa fotossintética dessas folhas (Abrams & Mostoller, 1995; Angelocci, 2002).

Em relação ao comportamento da radiação global ao longo do dia, nos tratamentos sombreados com acácia na época seca e na época chuvosa, observou-se pouca variação nos valores de radiação global para as duas estações, bem como a manutenção do padrão de sombreamento. Assim, pode-se dizer que a arborização com espécies de copa densa parece minimizar o efeito da sazonalidade nesta característica do microclima de cafezais, mantendo os valores de radiação constantes ao longo do ano como também foi observado por Beer et al. (1998) e Morais et al. (2003) em estudos com cafeeiros arborizados com diferentes leguminosas.

Os valores reduzidos de radiação global verificados para AL1 na estação chuvosa, em comparação com as demais faixas, bem como a manutenção de valores mais baixos ao longo do dia e mais estáveis ao longo do ano, para os cafeeiros arborizados com acácia, sugerem uma eficiente ação dessa leguminosa na redução da radiação que atinge os cafeeiros, especialmente na época onde podem ocorrer danos por excesso de radiação e por elevadas temperaturas foliares, como já sugerido por Fournier (1989) e Nascimento (2002).

Com relação à temperatura e a umidade relativa do ar, em geral, foram observados valores próximos para todas as linhas de cultivo estudadas no período de observação (Figura 5). O comportamento dessas características foi bastante semelhante, com os maiores valores de temperatura sendo observados nos horários próximos ao meio dia solar e os menores valores no início do dia. Para umidade relativa, observou-se um comportamento inverso. Estes resultados correspondem às variações de radiação global, indicando que as condições de temperatura e umidade relativa do microclima dos cafeeiros estudados, na época seca, responde às variações da radiação global. Um comportamento semelhante foi verificado por Foereid et al. (2002) e Asbjornsen et al. (2004), estudando o microclima de diferentes ecossistemas.

Ressalta-se que na época seca e nas linhas arborizadas com acácia, houve a manutenção da umidade relativa e da temperatura do ar ao longo do dia, especialmente nas linhas a oeste da aléia dessa leguminosa em relação às demais linhas de cultivo estudadas. O pode indicar, mais uma vez, a acácia como uma espécie eficiente na formação de abrigo para a manutenção de um microclima mais úmido e com menor amplitude térmica o que é mais favorável ao desenvolvimento e produção dos cafeeiros. Essas condições de temperatura e umidade mais estáveis podem favorecer o desenvolvimento e produção de cafeeiros como já observado por Jaramillo-Robledo & Valencia-Arztizábal (1980). Ao comparar resultados obtidos na estação chuvosa, observou-se para AO3, AO1 e AL1 diferenças no padrão de comportamento ao longo do dia em relação à estação seca, além das maiores variações nos valores de umidade relativa e temperatura do ar, que foram maiores na época chuvosa. Essas diferenças entre as épocas podem ser associadas às maiores temperaturas e maior pluviosidade, características do período chuvoso.

Em geral foram observadas temperaturas do ar em valores considerados elevados para o cafeeiro (maiores que 30°C) nos horários de maior incidência de

radiação, mesmo na época seca, quando a temperatura média é menor. Essa elevação da temperatura, acima do ótimo de 25°C, segundo Kumar & Tiezen (1980), pode reduzir o crescimento do cafeeiro e o acúmulo de fitomassa por favorecer a ocorrência de fotorrespiração durante o dia, assim como a respiração durante a noite.

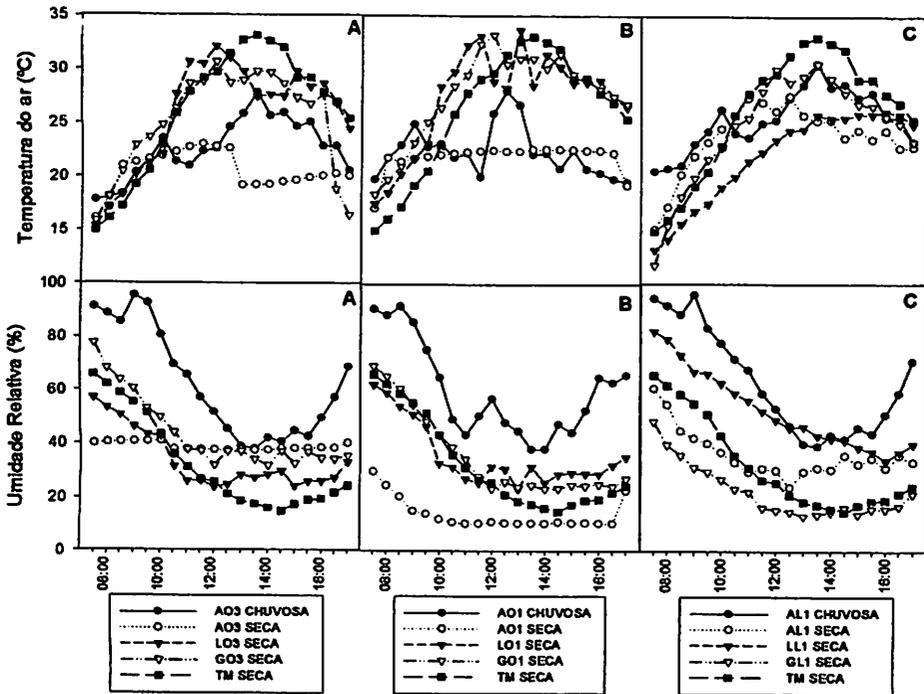


FIGURA 5 – Variação diurna da umidade relativa e da temperatura do ar nos tratamentos estudados: A - 3ª linha de cafeeiros a oeste da aléia de acácia (AO3), de leucena (LO3) e de guandu (GO3); B - 1ª linha de cafeeiros a oeste da aléia de acácia (AO1), de leucena (LO1) e de guandu (GO1); C - 1ª linha de cafeeiros a leste da aléia de acácia (AL1), de leucena (LL1) e de guandu (GL1) e testemunha (TM).

Por outro lado, foram verificadas temperaturas em torno de 15°C no início da manhã, o que, segundo alguns autores, entre eles Kumar & Tiezen (1980); Caramori et al. (1996) e Da Matta (2004) podem causar a redução da

atividade metabólica do cafeeiro por diminuir a atividade de enzimas do ciclo do nitrogênio e do aparato fotossintético, prejudicando também a absorção de nutrientes do solo. A manutenção de um microclima que permita o crescimento e a produção contínua do cafeeiro é uma das vantagens que a arborização pode oferecer, especialmente por evitar que as temperaturas do ar cheguem a valores elevados (acima de 30°C) ou reduzidos (menores que 20°C) o que, segundo alguns autores, prejudicaria o cafeeiro por favorecer o efeito de outros fatores de estresse (Fournier, 1988; Caramori et al., 1996; Da Matta, 2004).

Os cafeeiros da linha AO3 mantiveram uma maior umidade relativa ao longo do dia em relação aos demais tratamentos estudados, mesmo em condições de baixa disponibilidade hídrica no solo (época seca); o que pode contribuir para a taxa fotossintética dessas plantas devido a manutenção da abertura estomática ser beneficiada nessas condições, como destaca Angelocci (2002). Entretanto deve ser considerado que a umidade relativa elevada pode propiciar o aparecimento de doenças nas plantas de café, principalmente ferrugem e cercosporiose, além de ser prejudicial à qualidade da bebida por favorecer o ataque de fungos aos frutos e também a sua fermentação (Giranda, 1998; Muschler, 2001; Thomaziello et al., 2000).

A variação diurna da temperatura do solo a 0,20 m e a 0,40 m de profundidade, observada para todos os tratamentos estudados na época seca, e para as linhas arborizadas com a acácia na época chuvosa, é apresentada na Figura 6. A variação observada na temperatura do solo para TM, tanto em 0,20m quanto em 0,40 m, a semelhança das observações de Asbjornsen et al. (2004), é característica de uma condição de ausência de cobertura morta no solo, que o mantém mais exposto a perda de calor nas horas mais frescas, ao aquecimento nas horas mais quentes e com maior incidência de radiação no solo.

A maior variação da temperatura do solo a que o sistema radicular dos cafeeiros a pleno sol (TM) estiveram expostos ao longo do dia pode indicar um

prejuízo na absorção da solução do solo e, portanto, no funcionamento da planta, já que a temperatura do solo afeta a absorção de nutrientes pelas plantas, como observado por Coelho et al. (2002) e Longsdon & Linden (1992). Segundo Beer et al. (1998), a manutenção da temperatura do solo pela arborização, além de outros benefícios, favorece a absorção de água e de nutrientes uma vez que proporciona condições favoráveis ao bom desenvolvimento e longevidade do sistema radicular do cafeeiro.

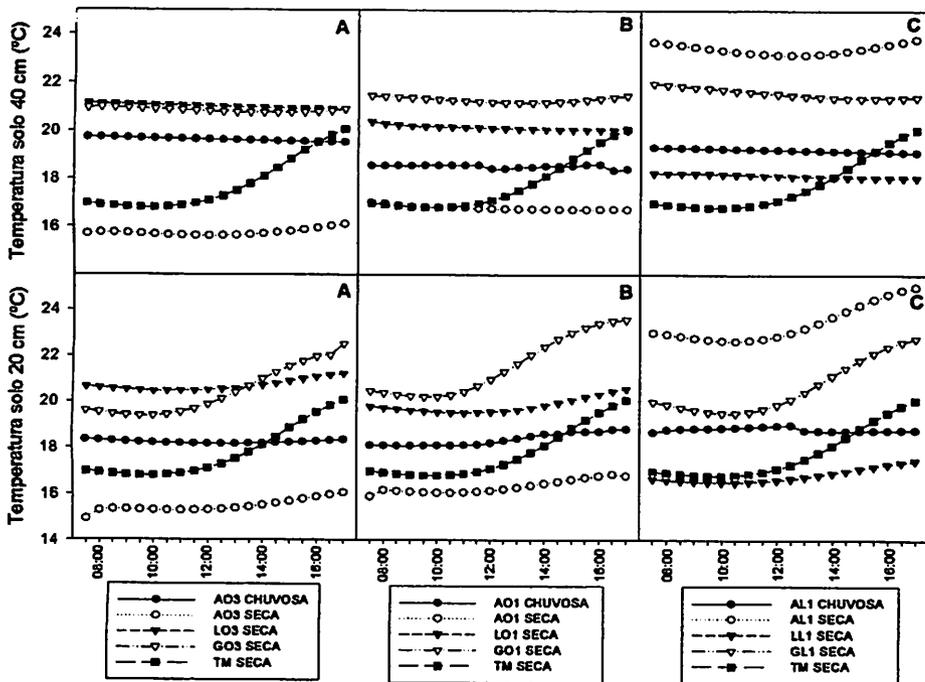


FIGURA 6 – Variação diurna da temperatura do solo a 0,20 m e a 0,40 m de profundidade nos tratamentos estudados: A - 3ª linha de cafeeiros a oeste da aléia de acácia (AO3), de leucena (LO3) e de guandu (GO3); B - 1ª linha de cafeeiros a oeste da aléia de acácia (AO1), de leucena (LO1) e de guandu (GO1); C - 1ª linha de cafeeiros a leste da aléia de acácia (AL1), de leucena (LL1) e de guandu (GL1) e testemunha (TM).

Para as linhas sombreadas, destacando-se as que recebem fitomassa advinda da poda, verificou-se uma menor variação da temperatura do solo ao longo do dia para a profundidade de 0,20 m. A manutenção de temperaturas constantes ao longo do dia, na época seca, só não foi observada para os tratamentos sombreados com guandu, provavelmente devido a um sombreamento menos denso e uma menor quantidade de fitomassa depositada no solo por essa leguminosa em comparação com as demais. Isso pode ter propiciado, de semelhante maneira, maiores temperaturas a 0,40 m de profundidade. O menor conteúdo de água no solo pode também ter contribuído para as maiores variações observadas, tanto nos tratamentos sombreados pelo guandu quanto na testemunha.

Na época seca, os maiores valores de temperatura do solo foram observados para AL1 e os menores valores foram observados para AO3 e AO1, nas duas profundidades estudadas. Maior quantidade de fitomassa depositada e maior umidade do solo em AO3 podem ter contribuído para tal redução; no entanto, AO1 se encontra em condições semelhantes de AL1 em relação ao conteúdo de fitomassa depositada, deixando como explicação possível os diferentes horários de maior exposição à radiação solar direta a que essas linhas estiveram sujeitas.

Resultados semelhantes de temperatura do solo foram observados por Beer et al. (1998), em cafezais a pleno sol que receberam deposição de fitomassa, em lavouras onde o *mulching* é uma técnica empregada no controle e prevenção da erosão de solo. Ainda, segundo esses autores, muitos dos efeitos positivos proporcionados pelo sombreamento dos cafeeiros podem ser conseguidos apenas com a aplicação da técnica de *mulching* na lavoura cafeeira.

Na época chuvosa não foram observadas diferenças entre AO3, AO1 e AL1. Maior umidade do solo na época chuvosa e também condições de

incidência de radiação solar semelhantes entre os tratamentos ao longo do dia podem ter contribuído para essa constatação.

4.3 Características físicas e químicas do solo

Em relação aos aspectos físicos do solo, não foram observadas diferenças entre os tratamentos estudados para a densidade do solo, volume total de poros, macro e microporosidade (Tabela 2). Entretanto observou-se a redução da densidade nas linhas que receberam fitomassa da poda das leguminosas, especialmente AO3 e LO3, correspondendo com maior macroporosidade e teor de matéria orgânica (Tabelas 2 e 3) o que, segundo Salgado (2004), entre outros autores, pode trazer benefícios para esses cafeeiros quanto ao desenvolvimento radicular e armazenamento de água no solo.

TABELA 2 – Valores da densidade do solo (Ds), do volume total de poros (VTP), de macroporosidade (MACRO) e de microporosidade (MICRO) do solo observados no período experimental na profundidade de 0,00 – 0,20 cm para a 3ª linha de cafeeiros a oeste da aléia de acácia (AO3), de leucena (LO3) e de guandu (GO3); para a 1ª linha de cafeeiros a oeste da aléia de acácia (AO1), de leucena (LO1) e de guandu (GO1); para a 1ª linha de cafeeiros a leste da aléia de acácia (AL1), de leucena (LL1) e de guandu (GL1) e para a testemunha (TM). Cada valor representa a média de \pm erro padrão de 3 observações.

Tratamento	Ds	VTP (%)	MACRO (%)	MICRO (%)
AO3	1,24 \pm 0,02	58,74 \pm 0,75	23,46 \pm 1,76	35,27 \pm 1,03
AO1 e AL1	1,39 \pm 0,02	53,57 \pm 0,83	12,51 \pm 3,43	41,06 \pm 2,63
LO3	1,42 \pm 0,08	52,80 \pm 2,93	17,59 \pm 4,23	35,20 \pm 1,30
LO1 e LL1	1,52 \pm 0,05	49,37 \pm 1,60	14,97 \pm 1,96	36,26 \pm 0,68
GO3	1,41 \pm 0,06	53,17 \pm 2,03	19,75 \pm 2,57	33,42 \pm 0,56
GO1 e GL1	1,31 \pm 0,08	56,35 \pm 2,62	28,92 \pm 1,42	27,46 \pm 4,02
TM	1,41 \pm 0,09	53,05 \pm 2,97	22,33 \pm 4,40	30,72 \pm 1,42

De um modo geral, entre as profundidades estudadas (0,00 – 0,10 m e 0,10 – 0,30 m), a camada mais superficial apresentou maior número de

características com valores dentro da faixa de referência proposta pela CFSEMG (1999) como nível bom para o cafeeiro. Dentro das profundidades analisadas, GO1, GL1 e LO3 apresentaram a maior quantidade de características com valores dentro da faixa de referência adotada, para a camada mais superficial, enquanto na camada de 0,10 – 0,30 m apenas LO3 teve maior quantidade dentro da faixa de referência (Tabela 3).

Os cafeeiros sombreados com leucena, junto das primeiras linhas a leste e oeste da acácia, GO3 e TM apresentam, na camada de 0,00 – 0,10 m, maior desequilíbrio quanto ao pH do solo. Na camada de 0,10 – 0,30 m, TM, LO1, LL1, e GO3 apresentaram valores de pH fora da faixa de referência, segundo a CFSEMG (1999).

Maiores teores de alumínio no solo foram observados para a TM e GO3, contudo o teor observado para TM ($0,75 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de Al^{+3}) foi mais elevado que o observado para GO3, que está próximo a faixa tolerada pelo cafeeiro ($0,53 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de Al^{+3}). Para as demais linhas estudadas, o teor de Al^{+3} esteve abaixo do considerado crítico para a cultura do cafeeiro arábica ($0,5 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de Al^{+3}). Tal observação pode estar associada aos valores de pH próximos da faixa ótima, que deixam o alumínio menos solúvel e também pela sua complexação com compostos orgânicos, o que tornam o íon Al^{3+} indisponível na solução do solo (Wortmann et al., 2000).

A capacidade de troca de cátions efetiva (t), a saturação por bases (V) e a matéria orgânica no solo (MO) apresentaram valores abaixo da faixa de referência para todos os tratamentos e nas duas camadas estudadas. Menores valores de t e V nos cultivos sombreados provavelmente ocorreram devido a extração de bases, especialmente o cálcio, pelas árvores, o que reduziu os valores de t e V. Resultados semelhantes foram verificados por Salgado (2004) em cultivos de cafeeiros arborizados com ingá no Sul de Minas.

TABELA 3 – Características químicas de solo observadas para a 3ª linha de cafeeiros a oeste da aléia de acácia (AO3), de leucena (LO3) e de guandu (GO3); para a 1ª linha de cafeeiros a oeste da aléia de acácia (AO1), de leucena (LO1) e de guandu (GO1); para a 1ª linha de cafeeiros a leste da aléia de acácia (AL1), de leucena (LL1) e de guandu (GL1) e para a testemunha (TM), em dezembro de 2003. Os valores de referência foram obtidos na CFSEMG (1999) para a classe de fertilidade em nível bom para o cafeeiro.

Característica	Referência	Prof (m)	AO3	AO1 e AL1	LO3	LO1 e LL1	GO3	GO1 e GL1	TM
pH	5,5 - 6,0	0,00-0,10	5,7	6,1	5,5	6,1	4,7	5,7	4,8
		0,10-0,30	5,5	5,8	5,6	6,3	4,9	5,8	4,9
P-mg dm ⁻³	6,1 - 9,0	0,00-0,10	7,7	11,1	32,9	24,2	24,1	13,6	17,4
		0,10-0,30	5,7	5,8	22,4	17,4	12,1	7,5	10,2
K-mg dm ⁻³	120 - 200	0,00-0,10	93,3	119,0	110,3	156,0	62,7	120,0	77,0
		0,10-0,30	65,3	74,0	49,6	75,0	48,3	50,0	36,0
Ca-cmol _c dm ⁻³	2,41 - 4,00	0,00-0,10	2,5	3,4	3,5	3,5	1,9	2,7	0,8
		0,10-0,30	2,7	2,8	3,6	2,6	1,8	2,0	1,3
Mg-cmol _c dm ⁻³	0,91 - 1,50	0,00-0,10	0,7	0,6	1,1	0,3	0,5	0,6	0,3
		0,10-0,30	0,7	1,0	1,2	1,0	0,5	0,6	0,5
Al-cmol _c dm ⁻³	< 0,50	0,00-0,10	0,1	0,1	0,2	0,1	0,5	0,1	0,7
		0,10-0,30	0,1	0,2	0,1	0,1	0,3	0,1	0,3
H+Al-cmol _c dm ⁻³	< 5,01	0,00-0,10	3,3	2,6	3,2	1,9	4,6	2,1	4,5
		0,10-0,30	2,9	2,3	2,4	2,1	4,0	2,6	3,4
SB-cmol _c dm ⁻³	3,61 - 6,00	0,00-0,10	3,4	4,3	4,9	4,2	2,5	3,6	1,3
		0,10-0,30	3,6	4,0	5,0	3,8	2,5	2,7	1,9
t-cmol _c dm ⁻³	4,61 - 8,00	0,00-0,10	3,5	4,4	5,0	4,3	3,0	2,8	2,0
		0,10-0,30	3,7	4,2	5,1	3,9	2,8	3,7	2,2
T-cmol _c dm ⁻³	8,61 - 15,00	0,00-0,10	6,8	6,9	8,0	6,1	7,1	5,3	5,8
		0,10-0,30	6,5	6,3	7,4	5,9	6,4	5,7	5,2
V-%	> 70%	0,00-0,10	50,3	62,3	59,3	68,9	35,5	51,1	22,4
		0,10-0,30	55,0	63,4	65,4	64,3	38,4	63,2	35,5
m-%	< 25%	0,00-0,10	3,0	2,0	4,3	2,0	19,0	4,0	35,0
		0,10-0,30	2,7	5,0	3,3	3,0	13,3	3,0	16,0
MO-dag kg ⁻¹	4,1 - 7,0	0,00-0,10	2,3	2,2	2,3	1,3	1,5	1,1	1,0
		0,10-0,30	2,3	2,4	1,9	1,3	1,4	1,5	0,7
Zn-mg dm ⁻³	4,1 - 6,0	0,00-0,10	5,6	6,0	10,6	6,2	5,9	4,1	5,5
		0,10-0,30	5,5	5,1	7,9	6,1	4,5	5,2	3,8
Mn-mg dm ⁻³	10,1 - 15,0	0,00-0,10	95,1	89,1	72,7	42,7	31,7	18,1	22,6
		0,10-0,30	88,0	85,5	62,7	10,0	31,0	31,9	22,9
Cu-mg dm ⁻³	1,1 - 1,5	0,00-0,10	19,5	16,9	17,0	10,2	9,2	7,1	7,9
		0,10-0,30	19,0	17,3	14,1	1,9	8,1	7,5	7,4
B-mg dm ⁻³	0,71 - 1,00	0,00-0,10	0,6	0,8	0,6	0,4	0,6	0,6	0,7
		0,10-0,30	0,6	0,7	0,6	0,5	0,5	0,6	0,5
S-cmol _c dm ⁻³	9,5 - 14,2	0,00-0,10	34,5	10,3	55,1	10,8	95,7	52,9	69,6
		0,10-0,30	25,7	13,3	40,5	11,8	62,0	11,8	61,5

A matéria orgânica do solo não atingiu valores adequados para o cafeeiro (4 – 7 %) (CFSEMG, 1999) mesmo com a deposição de fitomassa no solo nas terceiras linhas a oeste das aléias de leguminosa, pelo aporte do material advindo da poda; e menos intensamente nos cafeeiros das linhas abaixo da copa das leguminosas (AO1, AL1, LO1 LL1, GO1 e GL1), pela queda de folhas. Verifica-se, portanto, que a deposição de fitomassa, aparentemente, não influenciou o conteúdo de matéria orgânica no solo a ponto de elevar o teor a níveis ótimos, embora tenha sido observado, nos tratamentos sob influência das leguminosas, maior teor de matéria orgânica em relação a testemunha. Verificou-se também, especialmente para a camada de 0,10 – 0,30 m, um gradiente entre as leguminosas; com maiores teores de MO para as linhas da acácia; depois as da leucena, seguidas pelas do guandu e, finalmente, a testemunha com os menores teores (0,7 % em média). Resultados semelhantes de teor de matéria orgânica foram observados por Wortmann et al. (2000) ao comparar culturas com a presença e ausência de leguminosas.

Quanto aos nutrientes nas linhas em estudo, observou-se uma maior disponibilidade de fósforo na camada de 0,00 – 0,10 m de solo em comparação com a camada de 0,10-0,30 m, para todos os tratamentos, o que se deve, provavelmente, à baixa mobilidade do fósforo no solo. Todos os tratamentos apresentaram, na camada mais superficial, valores de P disponível acima do valor preconizado como referência, com exceção de AO3, que apresentou valor dentro da faixa de referência para este nutriente. A deposição de fitomassa cria condições para a presença de raízes finas na superfície do solo, o que pode ter contribuído para uma maior absorção desse nutriente em relação aos demais cafeeiros, causando a redução de sua concentração. Observação semelhante foi feita por Lose et al. (2003), em consórcio de milho com árvores.

Os menores teores de cálcio, nas duas profundidades, foram observados para GO3 e TM. Todos os demais tratamentos apresentaram valores dentro do

padrão nas duas camadas de solo estudadas. O potássio e o magnésio, em geral, apresentaram disponibilidade abaixo da faixa considerada ideal para o cafeeiro, enquanto o enxofre e os micronutrientes; manganês e cobre, apresentaram valores muito acima do preconizado pela CFSEMG (1999), chegando em níveis considerados muito altos para o cafeeiro. O zinco e o boro, de uma maneira geral, apresentaram-se com boa disponibilidade.

4.4 Potencial hídrico foliar e Umidade do solo

Os resultados obtidos para o potencial hídrico e umidade do solo encontram-se na Figura 7. Não foram observadas diferenças ao se comparar os valores de potencial hídrico foliar dos tratamentos estudados dentro das épocas seca e chuvosa para os horários de avaliação, 6 e 12 horas. Entretanto, na estação seca, as menores médias de potencial hídrico ao amanhecer foram observados para TM, AL1, LL1, GO3 e GL1. Ao meio dia, nessa estação, os cafeeiros das linhas AL1, LL1 e GO3 continuaram com as menores médias em relação aos demais tratamentos. Nas diferentes posições dos cafeeiros em relação a uma mesma leguminosa, em geral, observou-se uma tendência de queda dos valores de potencial hídrico da terceira linha a oeste da aléia de leguminosa para a primeira linha a leste, passando pela segunda a oeste, sendo que, as primeiras linhas a leste (AL1, LL1 e GL1) e a testemunha (TM) apresentaram os menores valores de potencial hídrico foliar.

A redução do potencial hídrico observada para as linhas a leste da acácia e da leucena, na estação seca, pode indicar competição por água desses cafeeiros com as respectivas leguminosas em condições de restrição hídrica do solo, junto ao fato de que o lado leste é mais exposto à radiação solar em horários de maior demanda evaporativa da atmosfera na época seca (Figuras 3 e 4). A linha GO3, provavelmente, sofre os mesmos efeitos que LL1, por estarem bastante

próximas, a leste da leucena. Este efeito de competição e de dessecação do solo, característico nessas linhas, não foi observado para os demais tratamentos.

Ao meio dia na época chuvosa, os valores de potencial hídrico observados são próximos de -2,0 MPa e, na época seca, a faixa de valores de potencial hídrico foliar dos cafeeiros variou de -2,2 a -3,3 MPa. Ao amanhecer, na época chuvosa, os cafeeiros estudados não apresentaram potenciais menores que -0,5 MPa, porém, na época seca, as linhas AL1, LL1, GL1, GO3 e TM apresentaram valores de potencial variando de -1,5 a -1,8 MPa enquanto as demais linhas atingiram valores de -1,3 MPa. Segundo Kumar & Tiezen (1980), a condição de estresse hídrico para o cafeeiro arábica é caracterizada quando são observados valores de potencial hídrico foliar em torno de -1,5 a -1,8 MPa e esta faixa de valores pode ser verificada em cafeeiros nos horários de maior demanda evaporativa da atmosfera, mesmo quando não há restrições de água no solo. Os resultados observados neste trabalho para o potencial hídrico foliar ao meio dia, na época chuvosa, concordam com o desses autores, uma vez que não foram observadas restrições hídricas no solo, porém foram verificados valores de potencial hídrico foliar na faixa que caracteriza uma condição de estresse, com exceção às linhas AO3 e AO1. Na época seca, para esse mesmo horário, todos os cafeeiros atingiram a faixa mínima crítica de potencial. Às 6 horas, apenas as linhas AL1, LL1, GO3, GL1 e TM, na época seca, apresentaram valores dentro da faixa de estresse, podendo indicar que esses cafeeiros permaneceram em condição de dessecação mais prolongado em relação aos demais.

Uma condição de deficiência hídrica prolongada pode causar danos ao crescimento e produção dos cafeeiros por diminuir a assimilação de CO_2 . Alguns trabalhos com cafeeiros submetidos a estresse hídrico moderado indicam não haver decréscimo na atividade potencial da fotossíntese, entretanto, sob déficit hídrico severo, as plantas frequentemente apresentam taxas fotossintéticas reduzidas como consequência do fechamento estomático e da degradação das

membranas celulares, estruturas fundamentais para as reações de trocas gasosas nas células vegetais (Baker, 1993). Deste modo o dessecamento sofrido pelos cafeeiros das linhas AL1, LL1, GO3, GL1 e TM, pode ter sido prejudicial, contribuindo para a redução da assimilação de CO₂, do acúmulo de matéria seca e da produção comercial desses cafeeiros.

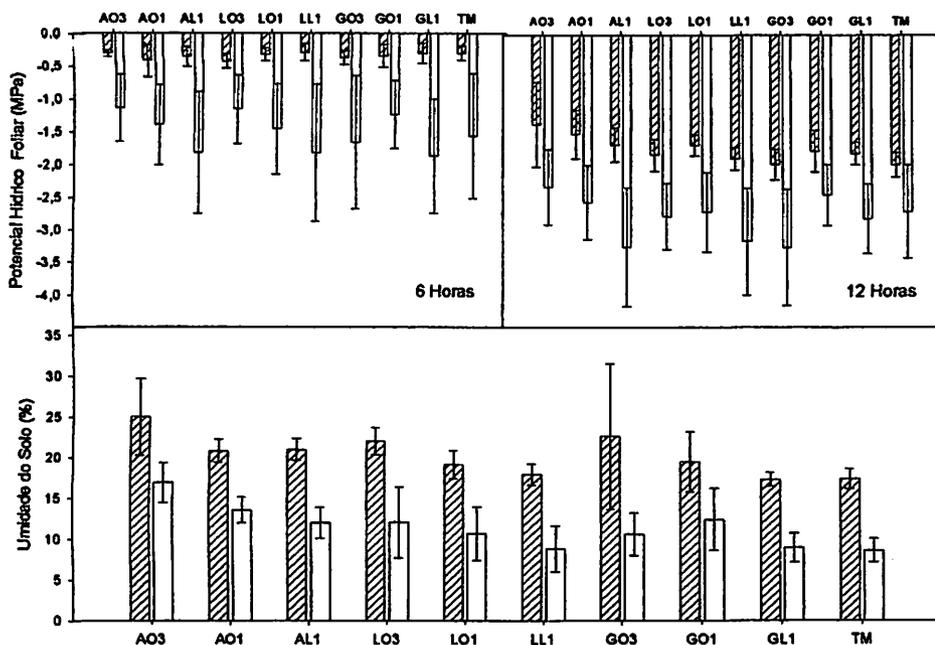


FIGURA 7 – Valores médios do Potencial Hídrico Foliar e Umidade do solo observados durante a época seca (□) e na época chuvosa (▨) para a 3ª linha de cafeeiros a oeste da aléia de acácia (AO3), de leucena (LO3) e de guandu (GO3); para a 1ª linha de cafeeiros a oeste da aléia de acácia (AO1), de leucena (LO1) e de guandu (GO1); para a 1ª linha de cafeeiros a leste da aléia de acácia (AL1), de leucena (LL1) e de guandu (GL1) e para a testemunha (TM). Cada barra representa a média ± erro padrão de 9 observações.

Segundo Fournier (1988) e Da Matta (2004) o cultivo de cafeeiros junto a árvores pode minimizar os efeitos do déficit hídrico, especialmente em locais onde o dessecamento é um fator limitante para o desenvolvimento e a produção

satisfatória dos cafeeiros. Assim, na época seca, a presença das leguminosas junto aos cafeeiros poderia minimizar os efeitos da seca sobre essas plantas, entretanto; ao comparar os resultados de potencial hídrico obtidos para a TM e para os cafeeiros nas posições AL1, LL1 e GO3 não se observa diferenças. No entanto o estado hídrico observado através do potencial hídrico para a testemunha não foi diferente daquele observado para os cafeeiros arborizados (AL1, LL1 e GO3).

Isso pode indicar uma condição de competição por água no solo, que parece causar os mesmos efeitos que a deficiência hídrica causaria nos cafeeiros, primeiramente, reduzindo seu potencial hídrico foliar, mesmo em condições de disponibilidade de água no solo que não caracterizariam uma condição de estresse. Silva (1997) trabalhando com plantas jovens de eucalipto cultivadas junto a diferentes densidades populacionais de braquiaria e em diferentes condições de disponibilidade hídrica no solo verificou resultados semelhantes.

Para a umidade do solo, os maiores valores foram observados na estação chuvosa para todos os tratamentos estudados. Dentro desta estação, teores mais elevados de água no solo foram observados para AO3, e os menores para TM, LL1 e GL1. Na época seca, AO3 continua com maior teor de água no solo, e os menores teores médios foram observados para TM.

Os valores de umidade do solo parecem comprovar a existência da competição por água entre cafeeiros e leguminosas, principalmente, ao leste da aléia de leucena, independentemente da época avaliada. Maiores evidências desta competição podem ser observadas ao se comparar a umidade do solo e o potencial hídrico nos tratamentos sombreados por essa leguminosa aos sombreados por acácia, uma vez que as condições de sombreamento e deposição de fitomassa no solo, proporcionadas por essas espécies, foram bastantes semelhantes. Os cafeeiros sob acácia, independente da posição em relação à aléia, sempre se mantiveram 30% mais úmidos na época chuvosa e 48% mais

úmidos na época seca que os arborizados com leucena, essas diferenças percentuais de umidade do solo também foram verificadas em relação à testemunha. Em relação ao guandu, independente da posição, se manteve cerca de 15% mais úmido na época chuvosa e 30% na época seca.

Segundo Beer et al. (1998), as diferenças entre os teores de umidade podem ser atribuídos a cobertura morta sobre o solo, que o protege do efeito da radiação solar direta, permitindo que o teor de água seja mantido. Nos tratamentos sem cobertura do solo, como TM, e nas linhas com menor deposição de fitomassa, a umidade do solo foi menor que nas linhas mais sombreadas e com maior cobertura do solo (linhas da acácia). Resultados semelhantes foram observados por Fournier (1988) e Salgado (2004).

4.5 Características microclimáticas

Os valores médios da densidade de fluxo de fótons fotossinteticamente ativos (DFFFA) e do déficit de pressão de vapor da atmosfera (DPV) associados as avaliações de trocas gasosas, nas épocas seca e chuvosa, são apresentados na Tabela 4. De maneira geral, como esperado, observou-se na estação seca menores valores de DFFFA, enquanto os valores de DPV em ambas as estações mantiveram próximos, entre 1,4 e 2,7 kPa. Em alguns tratamentos, como GL1 e a testemunha (TM), houve maior diferença entre valores de DPV na estação seca e na chuvosa. Os maiores valores de DPV são associados às condições de menor umidade da atmosfera, característica do período seco, como pode-se observar na Figura 2.

Para as linhas AL1, LO3, LO1, LL1 e GO1 não se observa diferenças para DPV entre as épocas, possivelmente devido a posição no arranjo do plantio, com essas linhas mais no interior da área experimental (Figura 1) e, portanto, protegidas pelas leguminosas. Isso pode ter afetado o microclima propiciando

uma manutenção de características de umidade e temperatura dessa área. O efeito da presença de árvores em plantios de cafeeiros tem sido freqüentemente associado a manutenção das condições microclimáticas da lavoura ao longo do ano, como verificado em estudos de Fournier (1988) e Beer et al. (1998).

TABELA 4 – Valores médios sazonais do déficit de pressão de vapor (DPV) e da densidade de fluxo de fótons fotossinteticamente ativos (DFFFA), observados durante o período experimental para a 3ª linha de cafeeiros a oeste da aléia de acácia (AO3), de leucena (LO3) e de guandu (GO3); para a 1ª linha de cafeeiros a oeste da aléia de acácia (AO1), de leucena (LO1) e de guandu (GO1); para a 1ª linha de cafeeiros a leste da aléia de acácia (AL1), de leucena (LL1) e de guandu (GL1) e para a testemunha (TM). Cada valor representa a média \pm erro padrão de 9 observações.

TRATAMENTO	ÉPOCA CHUVOSA		ÉPOCA SECA	
	DPV (kPa)	DFFFA ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	DPV (kPa)	DFFFA ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)
AO3	1,98 \pm 0,13	2053,8 \pm 88,7	1,40 \pm 0,14	239,6 \pm 72,5
AO1	2,03 \pm 0,13	250,9 \pm 89,3	1,56 \pm 0,07	102,3 \pm 26,7
AL1	1,68 \pm 0,14	1053,6 \pm 246,8	1,81 \pm 0,05	1044,2 \pm 101,6
LO3	2,10 \pm 0,16	2007,1 \pm 149,2	2,02 \pm 0,04	713,7 \pm 197,5
LO1	2,11 \pm 0,07	310,3 \pm 116,0	2,17 \pm 0,05	257,9 \pm 83,7
LL1	2,05 \pm 0,14	514,0 \pm 189,8	2,18 \pm 0,05	1117,3 \pm 145,2
GO3	1,90 \pm 0,22	1706,7 \pm 244,2	2,46 \pm 0,13	1046,1 \pm 137,9
GO1	2,13 \pm 0,11	1513,7 \pm 320,9	2,45 \pm 0,07	665,4 \pm 200,9
GL1	2,06 \pm 0,15	1516,4 \pm 264,5	2,58 \pm 0,10	1608,4 \pm 112,4
TM	2,18 \pm 0,06	1936,4 \pm 172,7	2,64 \pm 0,07	1338,4 \pm 48,3
Média	2,03 \pm 0,06	1286,3 \pm 223,3	2,13 \pm 0,13	813,3 \pm 159,3

Dentro da época chuvosa, não foram verificadas diferenças entre os tratamentos para o DPV. Enquanto que na época seca foi observada uma tendência de maiores valores de DPV nas linhas mais expostas à radiação (GO3, GO1, GL1 e TM), seguidas pelas arborizadas com leucena e por fim, os cafeeiros sob acácia, que se apresentaram com os menores valores de DPV nessa época, caracterizando, dessa maneira, um gradiente de leste para oeste na área experimental. Esta observação assemelha-se a de Sellami & Sifaoui (2003), que trabalhando com cultivos consorciados de espécies frutíferas com palmeiras em

áreas desérticas, observaram que quanto mais densamente povoada e diversificada é a área de cultivo, menor é o DPV em relação à áreas menos povoadas, mais expostas à radiação solar.

Para a DFFFA dentro da estação chuvosa, os maiores valores ocorreram para TM, AO3 e LO3, seguidos pelas linhas sob influência do guandu (GO3, GO1 e GL1) e finalmente, aquelas que se encontraram abaixo das copas da acácia e leucena (AO1, AL1, LO1, LL1). Este gradiente de radiação pode ser consequência de um sombreamento menos denso proporcionado pelo guandu em relação a leucena e acácia, enquanto as linhas AO3 e LO3, na época chuvosa e no horário de avaliação das trocas gasosas (10 – 11 horas solar), encontravam-se expostas a pleno sol, sem interferência das leguminosas na incidência da radiação solar, à semelhança da testemunha.

Na época seca, todas as linhas a leste das aléias de leguminosas e a testemunha foram expostas a maiores níveis de radiação. Os menores valores de DFFFA nesta estação foram observados para as plantas das primeiras linhas a oeste das leguminosas (AO1, LO1 e GO1), os demais cafeeiros foram expostos a valores intermediários no momento de avaliação de trocas gasosas.

As variações da DFFFA observadas para as linhas estudadas, entre as épocas, provavelmente estiveram associadas à variação sazonal do sombreamento e com as podas, como indicado por Nygren (1993). Dentro da mesma época, as variações da DFFFA entre os tratamentos podem ser também atribuídas, principalmente, pelas diferenças morfológicas entre as leguminosas e pela posição dos cafeeiros na área de cultivo.

A variação de DFFFA entre as épocas foi maior nas linhas a leste das aléias que, em comparação com as demais, estiveram sujeitas a menor luminosidade na época chuvosa, porém receberam mais radiação direta na época seca. Nos tratamentos da terceira linha de cafeeiros a oeste das aléias, especialmente de acácia e leucena, também apresentaram comportamento

semelhante, uma vez que, em comparação com os demais tratamentos, receberam mais luz na época chuvosa e ficaram sujeitas a uma menor disponibilidade de radiação fotossinteticamente ativa na época seca. O maior sombreamento, na época seca, pode trazer prejuízos para a fotossíntese dos cafeeiros devido a redução da radiação solar pela sazonalidade e pela arborização, uma vez que níveis de DFFFA entre 300 e 600 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ saturam o aparato fotossintético do cafeeiro (Fahl et al., 1994).

4.6 Trocas gasosas e Nitrogênio foliar

A média da fotossíntese líquida (A) (Figura 8) da época chuvosa foi maior que a da seca para a maioria dos tratamentos. Contudo, não foram observadas diferenças entre as épocas para as taxas fotossintéticas líquidas dos cafeeiros das linhas LL1, GO1, GL1 e TM. Entre os cafeeiros, na época chuvosa, menores taxas fotossintéticas foram observadas para aqueles a oeste da acácia e para as primeiras linhas a leste e a oeste da leucena, para os demais cafeeiros estudados foram verificadas maiores taxas líquidas de assimilação de CO_2 . Na época seca, os menores valores de fotossíntese foram observados para as linhas AO1, LO1 e GO3. Nos demais cafeeiros estudados foram observados valores semelhantes e superiores de fotossíntese.

A igualdade das taxas fotossintéticas entre as épocas, para alguns tratamentos estudados, está de acordo com as observações de outros autores, entre eles Nascimento (2002) e Da Matta (2004), que atribuíram ao sombreamento a manutenção de taxas fotossintéticas ao longo do ano, atenuando, assim, o efeito sazonal sobre a fotossíntese, o que pode ser benéfico do ponto de vista do acúmulo de matéria seca e produção da cultura. Este efeito sazonal sobre a fotossíntese do cafeeiro pode ser responsável pela redução da

assimilação de CO₂ na época seca; consequência do déficit hídrico, da redução da radiação solar e da temperatura do ar, como indicado por Silva et al. (2004).

Os valores de fotossíntese observados nas duas épocas de avaliação revelaram que a taxa líquida de assimilação de CO₂ foi beneficiada na época chuvosa, para a maioria das plantas avaliadas. Estes resultados estão de acordo com os estudos de Fournier (1988) e Da Matta (2004), onde maiores valores de fotossíntese líquida ocorreram em cafeeiros sob condição microclimática caracterizada por maiores níveis de radiação solar, maiores temperaturas e déficit de pressão de vapor. Confirmando esses resultados, Nascimento (2002) e Morais et al. (2003), estudando a fotossíntese de cafeeiros em condições de denso sombreamento por seringueira (*Hevea brasiliensis*) e guandu (*Cajanus cajan*), respectivamente, verificaram que a taxa fotossintética líquida aumentava com a redução do sombreamento durante a época chuvosa. Entretanto, em alguns estudos foi observado menores valores de fotossíntese na época chuvosa, como Oliveira (2002), Souza (2001) e Freitas et al. (2003), onde as maiores taxas fotossintéticas na época seca foram atribuídas a temperatura mais amena, menor disponibilidade de radiação e, portanto, menor demanda evaporativa da atmosfera. Deve-se considerar que o excesso de radiação na época chuvosa pode provocar danos por fotoxidação e fotoinibição.

Em relação a condutância estomática (gs), apenas os cafeeiros das linhas LO3, GO1, GL1 e TM apresentaram valores de gs iguais entre as épocas; as plantas das linhas AO3 e AO1 apresentaram maiores valores na época seca e os demais cafeeiros (AL1, LO1, LL1 e GO3) apresentaram maior condutância estomática na época chuvosa em relação à seca. Dentro da época chuvosa, menores valores de gs foram observados para as plantas das linhas AO3, AO1, GO1, GL1 e TM. Na época seca, os tratamentos a oeste da acácia se diferenciaram dos demais com os maiores valores de gs e os cafeeiros da terceira linha a oeste da faixa de guandu com os menores valores. Estes resultados, em

geral, evidenciaram o controle estomático na fotossíntese do cafeeiro arborizado por leguminosas.

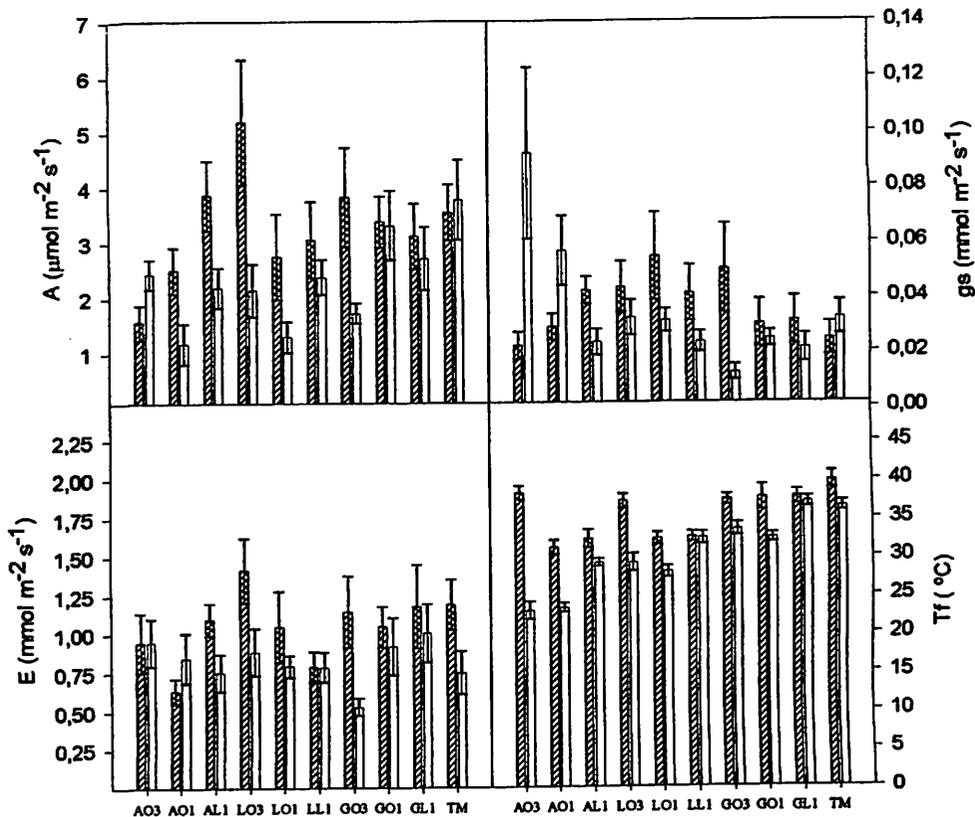


FIGURA 8 – Valores médios de Fotossíntese (A), Condutância estomática (gs), Transpiração (E) e Temperatura foliar (T_f) observados na época seca (□) e na época chuvosa (▨) para a 3ª linha de cafeeiros a oeste da aléia de acácia (AO3), de leucena (LO3) e de guandu (GO3); para a 1ª linha de cafeeiros a oeste da aléia de acácia (AO1), de leucena (LO1) e de guandu (GO1); para a 1ª linha de cafeeiros a leste da aléia de acácia (AL1), de leucena (LL1) e de guandu (GL1) e para a testemunha (TM). Cada barra representa a média ± erro padrão de 9 observações.

Maiores valores de gs nos tratamentos a oeste da acácia na época seca podem estar associados a um menor dessecação do solo (Figura 7) e a

menores valores de DPV (Tabela 4), correspondendo as maiores taxas de assimilação de CO₂ em AO3 nesta época do ano. Valores semelhantes de gs e DPV foram observados para as linhas a oeste da acácia na época seca, no entanto, houve redução na fotossíntese de AO1 em relação a AO3, o que pode ter ocorrido por efeitos de competição por água no solo, ou ainda pela redução da radiação solar a níveis abaixo do ponto de saturação de luz (Tabela 4).

Os resultados observados para AO3 podem indicar que um sombreamento menos denso e a deposição de fitomassa na linha de cultivo caracterizam uma condição benéfica para a fisiologia do cafeeiro, especialmente na época seca, pois podem permitir maior acúmulo de fotoassimilados e de matéria seca ao longo dos anos, uma vez que minimiza o desgaste sofrido pelos cafeeiros na estação seca e fria como apontado por outros pesquisadores como Beer et al. (1998) e Romero-Alvarado et al. (2002). A redução da condutância estomática e da fotossíntese nos demais cafeeiros cultivados com leguminosas, quando são comparadas a época chuvosa e a seca, respectivamente, deve-se, provavelmente, a efeitos da competição com as espécies leguminosas que parece ser mais intensa na época seca. Embora a fotossíntese possa diminuir, independente do fechamento dos estômatos por causa de estresse luminoso e temperaturas fora da faixa ótima (25°C), o fechamento estomático como consequência do déficit hídrico parece ser o fator que mais contribui para a redução da assimilação de carbono atmosférico (Kumar & Tiezen, 1980; Alves; 1985; Oliveira, 2002).

Na época seca, quando verificou-se uma condição de déficit hídrico mais acentuado, foram observados valores iguais para a condutância estomática de cafeeiros mais ensolarados (TM e linhas sob o guandu) com os mais sombreados (LL1 e LO1), indicando que, apesar dos dois efeitos da baixa disponibilidade de água no acúmulo de matéria seca, o fechamento estomático parece ter maior importância em comparação com os efeitos deletérios nos

cloroplastos, causados pela falta de água associada ao excesso de radiação, como indicado por Silva et al. (2004).

Para a transpiração (E), maiores valores foram observados na época chuvosa, período com maior temperatura, disponibilidade hídrica no solo e maiores níveis de radiação disponível para AL1, LO3, GO3 e TM (Tabela 4). Dentro dessa época, menores valores de E foram observados para as linhas AO3, AO1 e LL1, as demais linhas estudadas permaneceram com valores iguais e superiores. Dentro da época seca, os cafeeiros de GO3 apresentaram os menores valores de transpiração, diferindo dos demais cafeeiros estudados (Figura 8).

A temperatura foliar (T_f) foi maior na época chuvosa para todos os tratamentos, exceto LL1 e GL1, que apresentaram valores semelhantes entre as épocas, provavelmente devido a condições semelhantes de microclima a que esses tratamentos estiveram sujeitos nas duas épocas em estudo. Dentro da época chuvosa não foram observadas diferenças entre as linhas com maior exposição ao sol (TM, AO3 e LO3) junto àquelas sob influência do guandu. Estes cafeeiros tiveram maior temperatura foliar em relação às plantas que estiveram mais densamente sombreadas (AO1, AL1, LO1, e LL1). Na época seca, observou-se um gradiente de temperatura foliar, que foi maior nas linhas a leste das aléias de leguminosa e diminuiu nas linhas a oeste, para os tratamentos referentes a uma mesma leguminosa. Os menores valores foram observados para AO3 e AO1, seguidos por AL1, LO3 e LO1, um grupo intermediário formado por LL1, GO3, GO1 e, finalmente, os maiores valores nesta estação foram observados para TM e GL1.

Segundo Beer et al. (1998), uma menor intensidade luminosa incidente, condição que ocorre para as plantas das linhas AO1, AL1, LO1 e LL1 na época chuvosa (Tabela 4), pode ser o motivo de serem observados menores valores de T_f , tanto pela redução da radiação solar direta nas folhas do cafeeiro quanto pela manutenção de temperaturas mais amenas nesses tratamentos. Resultados

semelhantes foram verificados por Nascimento (2002). O gradiente observado para a temperatura foliar na época seca, variando do leste (maior) para oeste (primeira linha – intermediário, terceira linha - menor), teve um padrão que, de semelhante modo, pôde ser observado no potencial hídrico e foi inverso a umidade do solo da época seca (Figura 7), o que comprova que maiores umidades no solo permitiram uma maior abertura estomática e maior transpiração, reduzindo as temperaturas foliares, o que pode favorecer a taxa fotossintética.

Este efeito foi observado para os tratamentos sombreados pela acácia na época seca (Figura 8) que, na linha com maior disponibilidade hídrica no solo (AO3) em comparação com a de menor disponibilidade (AL1), verificou-se menor temperatura foliar, maior transpiração, maior condutância estomática e a fotossíntese com valores relativamente superiores. O gradiente nessas variáveis, observado na época seca, pode estar associado à posição das linhas de cafeeiros, ou seja, esse gradiente é função da disponibilidade de radiação que, na época seca, é maior a leste que a oeste (Tabela 4).

Na época chuvosa, o gradiente de fotossíntese e de condutância estomática dos cafeeiros sombreados pela acácia continua no padrão leste - oeste, no entanto, para os tratamentos sob leucena e guandu, parece haver uma inversão (de oeste para leste), tanto para a condutância estomática quanto para a fotossíntese. A radiação e o elevado DPV talvez sejam os repensáveis pela queda da fotossíntese em tratamentos com maior exposição à radiação solar no período da manhã, como é o caso dos tratamentos a leste da leucena e do guandu.

Para a fotossíntese dos cafeeiros sob acácia e leucena, na época seca, o comportamento não se retratou como um gradiente, uma vez que a dinâmica observada para essa característica foi de queda das taxas na primeira linha a oeste, enquanto a primeira linha a leste e a segunda a oeste apresentaram

maiores taxas de fotossíntese líquida. Tal fato pode indicar que, apesar de manter os estômatos mais abertos em relação à primeira linha a leste, a primeira linha a oeste tem sua fotossíntese restringida pela escassez de radiação; o que provavelmente significa que há um maior potencial para a fotossíntese nessas plantas, desde que haja um manejo adequado da luminosidade, permitindo que maiores níveis de radiação cheguem à copa dessas plantas nessa época do ano. O que certamente poderá elevar a sua taxa de assimilação de CO₂ a valores superiores aos observados neste estudo.

Em relação aos resultados obtidos para o teor de nitrogênio foliar nos cafeeiros avaliados, segundo o índice DOP, apenas os cafeeiros da linha GO3, na época chuvosa, apresentaram valores de nitrogênio foliar abaixo do padrão de referência (3dag/kg ou 3% em massa) (CFSEMG, 1999), como pode ser observado na Tabela 5. Nas demais plantas de café estudadas, os valores observados estiveram acima do preconizado como valor ótimo, indicando bom estado nutricional dos cafeeiros quanto ao nitrogênio foliar.

A análise do conteúdo de nitrogênio com base na área da superfície foliar, em geral, revelou maiores teores para a época seca, com exceção aos cafeeiros das linhas AO1 e AL1, que apresentaram teores de nitrogênio foliar iguais nas duas épocas de estudo. Entretanto o gradiente no teor de N da época seca para a chuvosa é evidente mesmo nesses cafeeiros. Contudo, a maior diferença entre as épocas foi observada para os cafeeiros de LO3 e GO3 (50% e 45% respectivamente), enquanto nas demais linhas o teor de nitrogênio foi cerca de 10% maior na época seca em relação a chuvosa (Figura 9).

Dentro da época chuvosa, AO1 se destacou por apresentar o maior conteúdo de nitrogênio foliar, seguido por TM, AL1, LL1, GL1 e AO3. Os menores valores foram observados para LO3 e GO3, ficando LO1 e GO1 com valores intermediários entre os dois últimos grupos. Na época seca, AO1, AL1, LO3, LL1, GL1 e TM se destacaram por apresentarem maiores teores de

nitrogênio foliar, seguidos por AO3 e GO3 e, os menores conteúdos foram observados para LO1 e GO1.

TABELA 5 - Valores do desvio do ótimo percentual (DOP) observados para os teores de nitrogênio foliar conforme padrão da CFSEMG (1999) para a 3ª linha de cafeeiros a oeste da aléia de acácia (AO3), de leucena (LO3) e de guandu (GO3); para a 1ª linha de cafeeiros a oeste da aléia de acácia (AO1), de leucena (LO1) e de guandu (GO1); para a 1ª linha de cafeeiros a leste da aléia de acácia (AL1), de leucena (LL1) e de guandu (GL1) e para a testemunha (TM).

Tratamento	Desvio do Ótimo Percentual - DOP	
	Época Chuvosa	Época Seca
AO3	40,67	23,09
AO1	24,44	29,85
AL1	17,68	13,62
LO3	31,21	37,97
LO1	17,68	16,33
LL1	32,56	25,80
GO3	-3,97	13,62
GO1	4,15	13,62
GL1	14,97	17,68
TM	17,68	23,10

Maiores teores de nitrogênio na época seca podem estar relacionados a uma maior mineralização desse nutriente nessa época, uma vez que na estação chuvosa, temperaturas e umidades elevadas favorecem a atividade microbiana que, para degradar a matéria orgânica consomem nitrogênio disponível, reduzindo, deste modo, a disponibilidade de nitrogênio para o cafeeiro. Com a queda da umidade e da temperatura, na seca, há redução da atividade microbiana no solo e disponibilização do nitrogênio mineralizado para as plantas, como descrito por Wortmann et al. (2000).

Dentro de tratamentos sob a influência de uma mesma leguminosa, foi observado que os tratamentos sob guandu e sob leucena comportaram-se de maneira semelhante, apresentando uma queda do teor de nitrogênio na primeira

linha a oeste na época seca, e um gradiente bastante definido de leste para oeste na época chuvosa. Os cafeeiros sombreados com acácia apresentaram comportamento inverso ao observado para as outras duas leguminosas na época seca, ou seja, houve aumento no nitrogênio foliar de plantas de café da primeira linha a oeste. Este comportamento se manteve na época chuvosa (Figura 9).

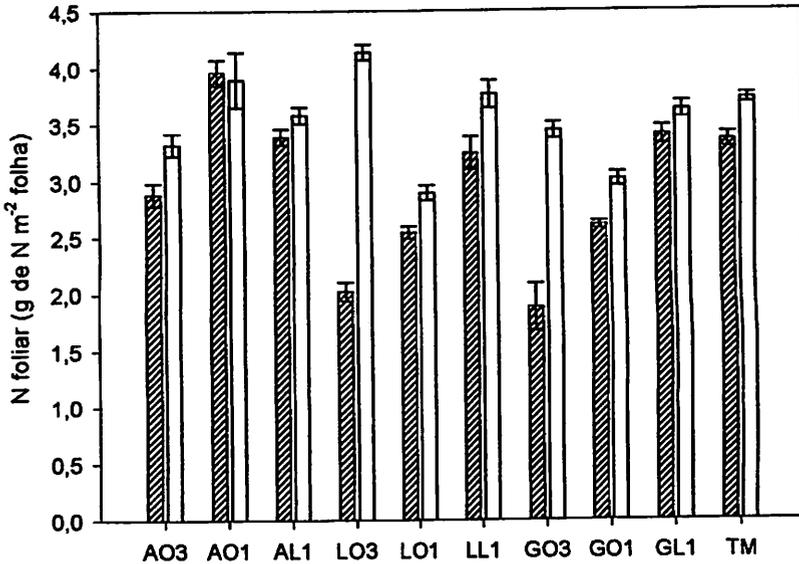


FIGURA 9 – Valores médios do teor de nitrogênio foliar observado na época seca (□) e na época chuvosa (▨) para a 3ª linha de cafeeiros a oeste da aléia de acácia (AO3), de leucena (LO3) e de guandu (GO3); para a 1ª linha de cafeeiros a oeste da aléia de acácia (AO1), de leucena (LO1) e de guandu (GO1); para a 1ª linha de cafeeiros a leste da aléia de acácia (AL1), de leucena (LL1) e de guandu (GL1) e para a testemunha (TM). Cada barra representa a média ± erro padrão de 4 observações.

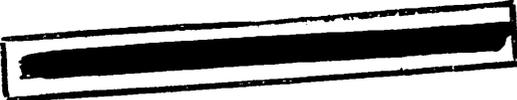
A associação do comportamento da fotossíntese com o do teor de nitrogênio foliar na época seca mostrou um padrão semelhante nos tratamentos com leucena. Para a acácia ocorreu o inverso, uma vez que há maiores teores de nitrogênio foliar onde foram observados menores valores de fotossíntese (AO1).

Mais uma vez, a radiação parece ser limitante à fotossíntese nessas plantas de café, já que, geralmente, maiores teores de nitrogênio foliar estão associados a maior quantidade de clorofila e de enzimas carboxilativas, portanto, a maiores valores de fotossíntese líquida (Fahl et al., 1994).

Para a mesma comparação, dentro da época chuvosa, observou-se no geral, que maiores teores de nitrogênio estiveram associados a menores taxas fotossintéticas. Esses resultados não estão em acordo com os resultados de Fahl et al. (1994), que observaram maiores taxas fotossintéticas associadas a maiores teores de nitrogênio foliar, para cafeeiros submetidos a condições de elevada irradiância e temperaturas. Observações semelhantes às desse trabalho foram feitas por Da Matta et al. (1999), porém seus resultados foram expressos com base no conteúdo de nitrogênio em função da massa, e não da área foliar.

4.7 Crescimento e produção dos cafeeiros

Os dados periódicos de crescimento dos cafeeiros estudados mostraram duas fases fenológicas características: uma fase de crescimento ativo, na época chuvosa; e outra quiescente, na época seca, quando não foi observado crescimento em nenhum dos tratamentos estudados. Estas observações estão de acordo com as informações sobre a fenologia do cafeeiro na literatura e indicam que o sombreamento por leguminosas não interferiu nos efeitos sazonais sobre o crescimento dessa planta. Por meio dessas observações também foi possível observar um crescimento mais rápido, após o período de seca, para os tratamentos sombreados por acácia e leucena, especialmente naqueles que receberam aporte de fitomassa da poda dessas leguminosas. Estes resultados são semelhantes aos de Da Matta et al. (1999) e Silva et al. (2004) que verificaram que cafeeiros cultivados à pleno sol, quando em melhor estado nutricional,



retornam mais rapidamente ao crescimento após a estação seca em comparação com plantas mais debilitadas nutricionalmente.

Os valores médios de incremento anual das características avaliadas nos cafeeiros estão apresentados na Tabela 6. Os valores de incremento médio anual apontam as plantas das linhas LL1 e AL1 como as que apresentaram maior crescimento de dezembro de 2002 a dezembro de 2003. O maior incremento anual no número de folhas foi observado nos cafeeiros dos tratamentos LO3, LL1 e GO3, sendo superior ao incremento observado nos demais tratamentos. Para o número de nós, LL1 e AO3 tiveram o maior incremento anual, seguido pelo incremento observado em LO3 e GO3. O incremento no número de nós parece ser acompanhado pelo incremento no número de folhas, como também observado por Silva et al. (2004).

A associação do incremento do número de nós com o do número de folhas revelou que houve desfolha ao longo do período experimental em todos os cafeeiros estudados. A desfolha observada não pareceu estar relacionada ao efeito do sombreamento ou da posição da linha de cultivo em relação à aléia de leguminosa, porém as linhas AO3, AL1 e GL1 apresentaram um maior número de nós sem folhas em relação aos demais cafeeiros estudados. Uma maior desfolha foi observada no período de seca, quando houve queda de folhas pelo efeito do déficit hídrico e pela colheita por derrça manual. Associado a isso houve um severo ataque de ferrugem no ano de 2003 e, mesmo os cafeeiros sendo resistentes a essa doença, ocorreu desfolha.

Em relação ao comprimento do ramo plagiotrópico, os cafeeiros das linhas AL1, LO1 e LL1 apresentaram maior crescimento em relação aos demais. Para o diâmetro da base do ramo, os cafeeiros apresentaram incremento anual semelhante, porém valores inferiores foram observados para LO3 e LO1. Os maiores incrementos no comprimento da saia foram observados para AL1, LO1,

LL1, GO3, GL1, que foram superiores a AO3, LO3 e TM e, os menores incrementos foram observados para AO1 e GO1.

TABELA 6 - Incremento anual médio em número de folhas (n° folhas), número de nós (n° nós), comprimento (Compr.), diâmetro da base do ramo (diâmetro base) e tamanho da saia (saia) medidos em ramos plagiotrópicos; e altura, maior diâmetro e menor diâmetro (a 0,15 m do solo) medidos em ramos ortotrópicos de cafeeiros da: 3ª linha a oeste da aléia de acácia (AO3), de leucena (LO3) e de guandu (GO3); 1ª linha a oeste da aléia de acácia (AO1), de leucena (LO1) e de guandu (GO1); 1ª linha a leste da aléia de acácia (AL1), de leucena (LL1) e de guandu (GL1) e testemunha (TM). Os valores medidos nos ramos plagiotrópicos referem à média ± erro padrão de 24 observações e no ramo ortotrópicos à média ± erro padrão de 12 observações.

	RAMO PLAGIOTRÓPICO					RAMO ORTOTRÓPICO		
	n° folhas	n° nós	Compr. (cm)	Diâmetro base (cm)	Saia (cm)	Altura (cm)	Maior diâmetro (cm)	Menor diâmetro (cm)
AO3	8 ± 3	13 ± 1	19,9 ± 1,6	0,15 ± 0,02	13,3 ± 2,1	28,6 ± 1,1	1,26 ± 0,10	0,74 ± 0,14
AO1	2 ± 2	8 ± 1	25,3 ± 1,7	0,17 ± 0,02	7,5 ± 1,4	22,1 ± 1,2	0,56 ± 0,04	0,44 ± 0,07
AL1	1 ± 1	10 ± 1	29,5 ± 1,7	0,15 ± 0,02	18,0 ± 1,5	27,9 ± 1,7	1,09 ± 0,07	0,82 ± 0,05
LO3	12 ± 4	11 ± 1	19,3 ± 1,8	0,12 ± 0,01	11,1 ± 1,5	24,9 ± 2,7	0,94 ± 0,08	0,71 ± 0,09
LO1	5 ± 2	9 ± 1	30,9 ± 1,9	0,10 ± 0,01	18,8 ± 1,9	28,6 ± 2,6	0,87 ± 0,07	0,62 ± 0,07
LL1	13 ± 4	14 ± 1	34,7 ± 1,6	0,14 ± 0,02	19,5 ± 1,5	36,2 ± 2,1	0,85 ± 0,05	0,57 ± 0,06
GO3	13 ± 4	11 ± 1	24,3 ± 2,0	0,17 ± 0,02	16,2 ± 1,6	30,2 ± 3,5	0,74 ± 0,04	0,41 ± 0,05
GO1	5 ± 3	8 ± 1	24,5 ± 2,1	0,15 ± 0,01	4,5 ± 0,7	27,0 ± 4,1	0,86 ± 0,07	0,57 ± 0,09
GL1	3 ± 2	10 ± 1	22,6 ± 2,9	0,16 ± 0,02	18,2 ± 2,3	37,6 ± 5,6	1,03 ± 0,13	0,67 ± 0,13
TM	7 ± 2	8 ± 1	25,2 ± 1,6	0,16 ± 0,02	10,8 ± 1,6	29,4 ± 2,7	0,83 ± 0,10	0,54 ± 0,10

As plantas da linha a leste da leucena e do guandu apresentaram os maiores incrementos anuais médios em altura durante o período experimental, sendo tais incrementos superiores aos dos demais tratamentos. Este crescimento provavelmente se deve à competição por luz, como observado em outros trabalhos com plantas sob sombra (Justo, 2003; Gardiner et al., 2001).

Quanto aos diâmetros do ramo ortotrópico, o menor incremento, quanto ao maior diâmetro do caule, foi observado para os cafeeiros em AO1, e o maior incremento nesta característica foi verificado para AO3, AL1 e GL1, ficando os demais cafeeiros com valores intermediários. Para o menor diâmetro, o maior incremento ocorreu em AO3, AL1, LO3, LO1 e GL1, com os menores valores para os demais cafeeiros das linhas estudadas.

A maior superfície de folhas maduras, do terço superior e do terceiro internó dos ramos dos cafeeiros estudados, apresentada na Figura 10, de um modo geral e esperado, foram observadas nos cafeeiros sombreados em comparação com os mais expostos à luz solar. Vários autores, trabalhando com cafeeiros em sistemas agroflorestais, dentre eles Beer et al. (1998), Gomes (2004) e Salgado (2004) também verificaram maior área foliar em cafeeiros sombreados.

Na época chuvosa, os cafeeiros das linhas AO1, LO1 e LL1 tiveram as maiores áreas foliares e os demais não diferiram entre si. Na época seca, os tratamentos AO1, AL1, LO1, LL1 e GO3 foram iguais e superiores aos demais. Entre as épocas não foi verificada diferença estatística entre a maioria dos tratamentos, apenas LO3 apresentou maior área foliar na época chuvosa.

As plantas, quando em condições de luminosidade desfavoráveis ao seu crescimento e produção, desenvolvem estratégias para maximizar o aproveitamento de luz solar e garantir balanço positivo de carbono mesmo sob condições de baixa disponibilidade de energia (Vilela & Raveta, 2000; Valio, 2001). Dessa maneira, a expansão foliar e o maior crescimento em altura dos cafeeiros mais sombreados pela leucena (LO1 e LL1) em relação aos demais pode indicar a existência de competição por luz entre cafeeiro e a leguminosa.

A caracterização do sistema radicular, realizada em julho de 2003, em geral, apontou um sistema radicular mais denso para os cafeeiros das primeiras linhas a leste e a oeste das aléias de acácia e da leucena (Figura 11). Em relação

a estas duas leguminosas, parece haver um gradiente da densidade das raízes, que vai de leste a oeste. Entre as profundidades estudadas, 0,00 – 0,20 m apresentou maior densidade de raízes em relação a 0,20 – 0,40 m. Para os cafeeiros cultivados com guandu, AO3, AL1, LO3, LO1 e TM não foram observadas diferenças em qualquer profundidade, no entanto observou-se diferença na quantidade de raízes a 0,00- 0,20 m e 0,20 – 0,40 m para AO1, LL1 e GO3, sendo 0,00 – 0,20 m maior.

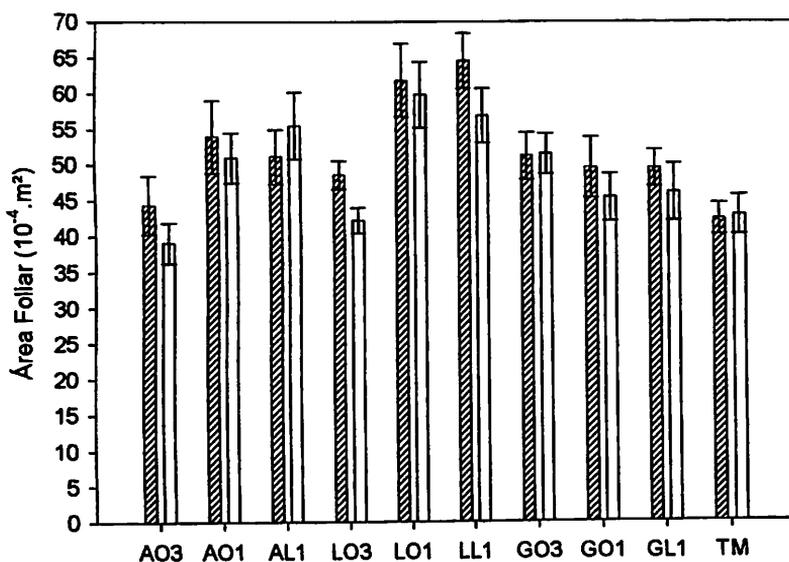


FIGURA 10 – Valores médios da área das folhas utilizadas para análise de nitrogênio foliar, determinada pelo método de Barros et al. (1973), na época seca (□) e na época chuvosa (▨) para a 3ª linha de cafeeiros a oeste da aléia de acácia (AO3), de leucena (LO3) e de guandu (GO3); para a 1ª linha de cafeeiros a oeste da aléia de acácia (AO1), de leucena (LO1) e de guandu (GO1); para a 1ª linha de cafeeiros a leste da aléia de acácia (AL1), de leucena (LL1) e de guandu (GL1) e para a testemunha (TM). Cada barra representa a média ± erro padrão de 32 observações.

Dentro desta profundidade, os cafeeiros sombreados com guandu juntamente com TM, AO3 e LO3 apresentaram as menores quantidades de raiz.

Notavelmente, estes são os tratamentos mais ensolarados (Figura 3) (Tabela 4). Na profundidade de 0,20 – 0,40 m, valor da densidade radicular maior que dos demais tratamentos foi observado para AL1.

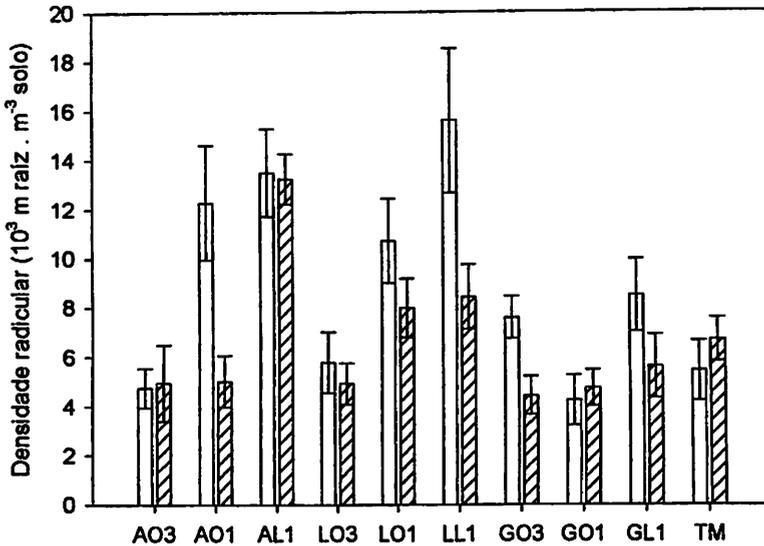


FIGURA 11 - Valores médios da densidade do sistema radicular a 0,00 – 0,20 m (□) e a 0,20 – 0,40 m (▨) observados para a 3ª linha de cafeeiros a oeste da aléia de acácia (AO3), de leucena (LO3) e de guandu (GO3); 1ª linha de cafeeiros a oeste da aléia de acácia (AO1), de leucena (LO1) e de guandu (GO1); 1ª linha de cafeeiros a leste da aléia de acácia (AL1), de leucena (LL1) e de guandu (GL1) e testemunha (TM). Cada barra representa a média ± erro padrão de 6 observações.

A superioridade da densidade radicular dos cafeeiros sob maior sombreamento pode ser devido a interações micorrízicas, maior umidade do solo, temperaturas amenas e estáveis nas camadas mais superficiais, maior disponibilidade hídrica na superfície, maior teor de matéria orgânica e menor densidade do solo como apontado por Coelho et al. (2002) e Lose et al. (2003).

A distribuição das raízes dos cafeeiros estudados quanto ao diâmetro, não apresentou diferença entre as profundidades, sendo observada uma relação

de 14:5:1 (70%:25%:5%) de raízes médias, finas e grossas, respectivamente, do total observado. A avaliação de matéria seca não evidenciou diferenças significativas entre os cafeeiros estudados e nem entre as profundidades. Uma média de $0,42 \text{ kg m}^{-3}$ foi observada na profundidade de 0,00 – 0,20 m e $0,46 \text{ kg m}^{-3}$ na profundidade de 0,20 – 0,40 m.

Quanto à produção dos cafeeiros, os resultados obtidos para o ano safra de 2003/2004 estão apresentados na Figura 12 e indicaram que os cafeeiros com maior produção foram AO3 e GL1, que não diferiram entre si, apresentando uma produção de cerca de 28 sacas benf ha^{-1} ; em seguida, os cafeeiros das linhas a oeste do guandu, com uma produção de 22 sacas. Os demais tratamentos tiveram menor produção e não diferiram entre si, apresentando uma média de 12 sacas benf ha^{-1} . Foi possível observar que, de maneira geral, as linhas de cafeeiros mais expostas ao sol apresentaram maior produção em relação aos tratamentos mais sombreados, concordando com os dados apresentados por Fournier (1988), Beer et al. (1998), Nascimento (2002) e Da Matta (2004).

A maioria dos cafeeiros apresentou produção igual a média nacional (12 sacas bnf ha^{-1}) no ano safra estudado, enquanto as linhas AO3, GO1 e GL1 se destacaram por apresentar produções acima da média nacional, no entanto essa produção é bastante reduzida em relação às de lavouras brasileiras tecnificadas (60 sacas benf ha^{-1}) (CFSEMG, 1999; Fontes, 2001). O que pode ser atribuído à idade do cafeeiro, que ainda não atingiu o seu porte máximo, necessário para suportar maiores cargas de frutos, e também à fase de estabilização do sistema de cultivo arborizado.

Além do fato do sistema estar em fase de estabilização, deve ser considerado o fator da bianualidade na produção do café, que provavelmente age com maior intensidade sobre a testemunha, que no ano agrícola de 2004/2005 foi a linha de cafeeiros mais produtiva. Destaca-se também o severo ataque da ferrugem do cafeeiro em 2003/2004, causando desfolha e prejuízos para o

acúmulo de matéria seca, além de fatores climáticos do ano agrícola avaliado, que foi atípico em relação à precipitação, à temperatura e à umidade do ar em relação às médias esperadas (Figura 2).

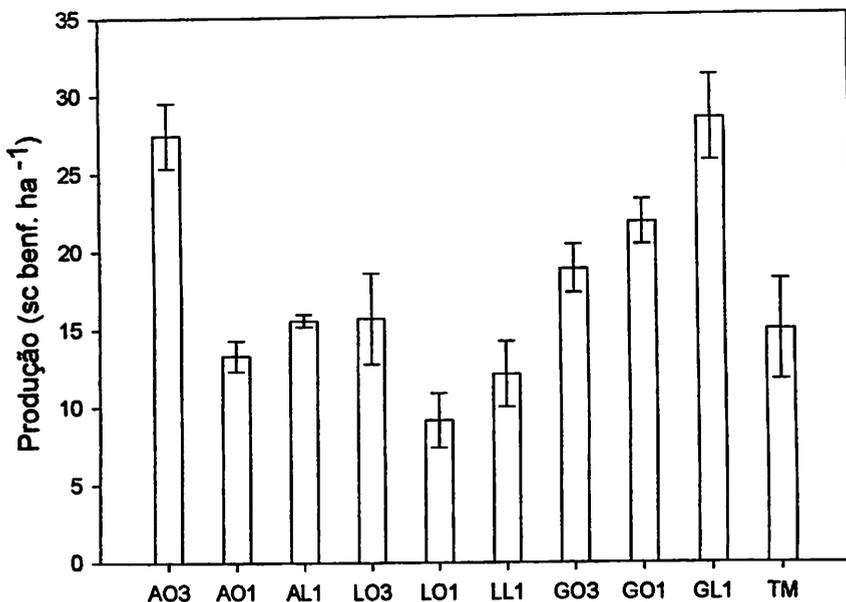


FIGURA 12 – Produção de café beneficiado no ano safra de 2003/2004 da 3ª linha de cafeeiros a oeste da aléia de acácia (AO3), de leucena (LO3) e de guandu (GO3); 1ª linha de cafeeiros a oeste da aléia de acácia (AO1), de leucena (LO1) e de guandu (GO1); 1ª linha de cafeeiros a leste da aléia de acácia (AL1), de leucena (LL1) e de guandu (GL1) e da testemunha (TM). Cada barra representa a média \pm erro padrão de 12 repetições.

Nos relatos sobre a produção de cafeeiros sombreados e a pleno sol, maior produção geralmente é observada em cafezais em monocultivo, portanto, era esperado neste trabalho que a produção da linha a pleno sol (TM) fosse maior. Entretanto, uma condição de sombreamento menos densa e com manejo de poda periódica drástica na época seca, como no caso das primeiras linhas a leste e oeste do guandu; ou então, a deposição de material de poda na linha de

cafeeiros sob sombreamento pouco denso, como na terceira linha a oeste da acácia, propiciou maiores produções em relação a um sombreamento mais denso ou ao tradicional monocultivo. Entretanto, a observação de um ano de produção constitui pouca informação para determinação dos tratamentos mais produtivos nas condições estudadas, sendo necessário um maior período de observação para a segura recomendação do melhor sistema produtivo, considerando-se também, os aspectos de custos e benefícios de cada sistema (Beer et al., 1998; Romero-Alvarado et al., 2000; Soto-Pinto et al., 2002)

A produção da LO1, a menor produção observada dentre as linhas estudadas, pode estar relacionada ao denso sombreamento e ao efeito da competição observada nos tratamentos sob influência da leucena. Comportamento semelhante foi observado para as primeiras linhas a leste e a oeste de acácia e de leucena, que apresentaram os maiores incrementos médios anuais das variáveis de crescimento avaliadas, porém tiveram menores produções. Nestas linhas, o carbono assimilado parece ter sido utilizado preferencialmente para o crescimento.

4.8 Análise de componentes principais (PCA)

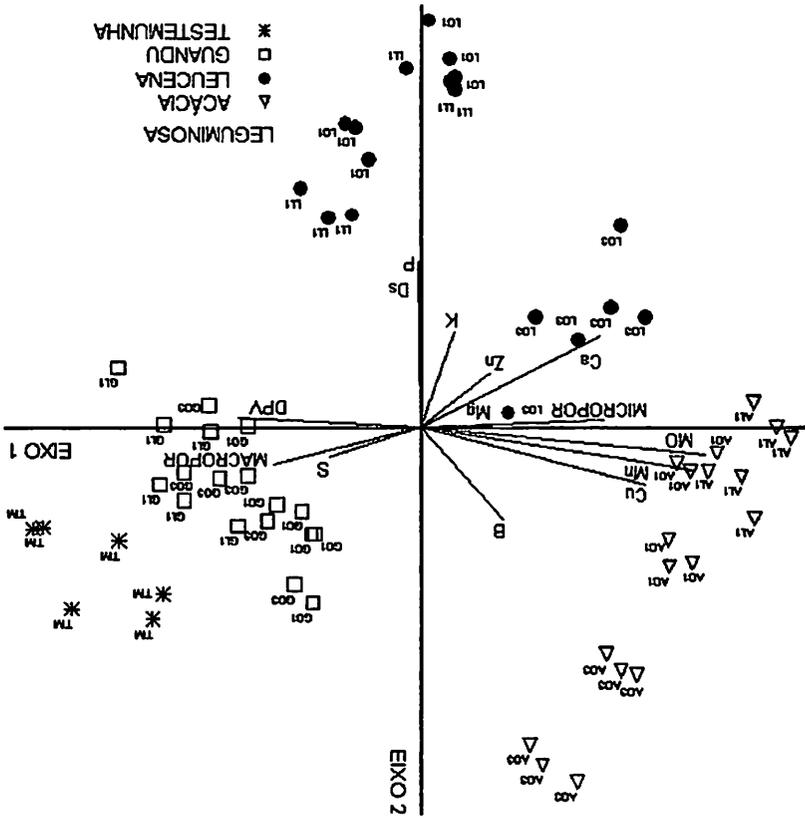
A ordenação das variáveis ambientais, observadas durante o período experimental, resumiu características do solo e da atmosfera em três variáveis compostas, que foram significativas e explicaram cerca de 63% da variabilidade encontrada entre os tratamentos quanto as condições ambientais a que estiveram submetidos (Tabela 7). Pela análise de componentes principais (PCA) foi verificado que, em termos de características ambientais, os tratamentos sombreados por guandu e a testemunha não diferiram entre si, apresentando-se como um grupo a direita do eixo 2 e caracterizado por maiores teores de enxofre no solo, maior macroporosidade e elevado DPV (Figura 13).

Estes tratamentos podem ser caracterizados por uma condição de maior exposição das plantas e, conseqüentemente, maior demanda evaporativa da atmosfera. Quanto às semelhanças das características do solo desses sistemas de cultivo, provavelmente pode ser devido a proximidade das linhas na área experimental.

TABELA 7 - Autovalores, porcentagem da variância explicada (%Variância), porcentagem da variância acumulada, teste de significância do eixo - limite mínimo (broken-stick eigenvalue) e valores das componentes vetoriais para as variáveis: densidade de fluxo de fótons fotossinteticamente ativos (DFFFA), déficit de pressão de vapor (DPV), duração da sombra/dia (Hs Sombra), umidade do solo (Usolo), teores de fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), matéria orgânica (MO), zinco (Zn), manganês (Mn), cobre (Cu), boro (B), enxofre (S), densidade do solo (Ds), % macroporos e de microporos observados durante o período experimental.

Eixo	Autovalor	% Variância	% Variância acumulada	Broken-stick eigenvalue
1	5,619	33,053	33,053	3,440
2	2,872	16,897	49,949	2,440
3	2,307	13,573	63,522	1,940
Autovetores				
Variável	1	2	3	
DFFFA	0,166	0,228	-0,342	
DPV	0,307	-0,094	0,021	
HsSombra	-0,103	-0,259	0,478	
Usolo	-0,145	0,176	-0,201	
P	0,036	-0,404	-0,443	
K	-0,132	-0,310	0,014	
Ca	-0,305	-0,297	0,000	
Mg	-0,192	-0,030	-0,064	
MO	-0,382	0,164	-0,055	
Zn	-0,190	-0,253	-0,416	
Mn	-0,373	0,203	-0,065	
Cu	-0,304	0,237	-0,141	
B	-0,207	0,301	0,0853	
S	0,218	0,172	-0,423	
Ds	0,291	-0,386	-0,141	
Microporos	-0,307	-0,084	0,010	
Macroporos	0,276	0,190	0,077	

FIGURA 13 - Disposição vetorial das variáveis ambientais: densidade de fluxo de fótons fotosinteticamente ativos (DFFFA), déficit de pressão de vapor na atmosfera (DPV), duração da sombra/dia (Hs Sombra), unidade de solo (Usolo), teores de fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), matéria orgânica (MO), zinco (Zn), manganês (Mn), cobre (Cu), boro (B), enxofre (S), densidade do solo (Ds), macro e microporos de acordo com os dois primeiros componentes principais da PCA, e distribuição das amostras em relação aos cafeeiros a oeste da acácia (AO3), de leucena (LO3) e de guandu (GO3); 1ª linha de cafeeiros a oeste da acácia (AO1), de leucena (LO1) e de guandu (GO1); 1ª linha de cafeeiros a leste da acácia (AL1), de leucena (LL1) e de guandu (GL1) e testemunha (TM).



Ainda na Figura 13, outros três grupos podem ser iniciados. Um formado pelos tratamentos sombreados com acácia, que foi oposto ao grupo de guandu e testemunha, ou seja, esses dois grupos apresentaram características ambientais opostas. O grupo formado pelos tratamentos sob influência da acácia caracterizou-se por maiores teores de Boro, Cobre, Manganês, Magnésio, Microporos e Matéria orgânica no solo.

As diferenças existentes entre os tratamentos sob influência da acácia em relação aos do guandu e testemunha em termos de DPV, provavelmente estiveram relacionadas ao maior sombreamento proporcionado pela acácia, assim como manutenção de maior umidade da atmosfera, pela copa densa; e do solo, pela deposição de maior quantidade de fitomassa por esta leguminosa, que pode ter elevado os teores de matéria orgânica de AO3, AO1 e AL1 do mesmo modo em que modificou as características químicas do solo. A modificação de características químicas e físicas do solo de cafezais pela deposição de fitomassa de leguminosas foi observada também por Beer et al. (1998) e Salgado (2004).

As linhas de cafeeiros influenciadas pela leucena se dividiram em dois grupos: um grupo formado pelos cafeeiros das primeiras linhas a leste e oeste da aléia desta leguminosa (LO1 e LL1), e outro formado pelos cafeeiros da terceira linha a oeste (LO3). Características semelhantes ao grupo de acácia e ainda maiores teores de cálcio, zinco e potássio no solo determinaram o ambiente dos cafeeiros da terceira linha a oeste da leucena, enquanto maior densidade do solo e maior conteúdo de fósforo caracterizaram as primeiras linhas a leste e a oeste. As diferenças entre os tratamentos relacionados à leucena podem estar associadas aos aspectos competitivos entre a leguminosa e as linhas mais próximas a ela, como já mencionado anteriormente.

A deposição diferencial de fitomassa no solo entre as leguminosas, alterando, assim, as características químicas e físicas do solo, pode ser responsável pela separação das linhas AO3, LO3 e GO3 em diferentes grupos

quanto às variáveis ambientais avaliadas; bem como o sombreamento determinou os diferentes agrupamentos entre as linhas mais próximas às aléias de leguminosa (AO1, AL1, LO1, LL1, GO1 e GL1), como revelou a PCA com base na posição da linha de cultivo em relação às aléias (Figura 14).

Ao serem comparadas as posições das linhas de cafeeiros em relação às aléias de leguminosas, foi possível verificar um maior efeito das variáveis da atmosfera, especialmente DFFFA e HsSombra, ou seja, as variáveis relacionadas à radiação incidente, associadas ao terceiro eixo. Basicamente o eixo 3 definiu três grupos distintos de ambiente quanto a posição de plantio. Um grupo formado pelos cafeeiros mais expostos à radiação solar, ou seja, os da terceira linha a oeste das leguminosas e a testemunha. Ressalta-se que o ambiente desses cafeeiros foi caracterizado por maiores níveis de enxofre, zinco, fósforo e boro, além de maior DFFFA.

Apesar do eixo 2 separar os cafeeiros arborizados com acácia e guandu, no eixo 3 as primeiras linhas a leste e oeste da acácia e do guandu estiveram sob características ambientais semelhantes durante o período experimental, com menor densidade do solo e, principalmente, com período de duração da sombra semelhante, ao longo do dia. As primeiras linhas a leste e oeste da leucena ainda permaneceram como um grupo à parte, com maior densidade do solo e maiores teores de cálcio, potássio e tempo de sombreamento intermediário entre o grupo da terceira linha a oeste e o das primeiras linhas a leste e oeste de acácia.

Quanto às épocas em estudo, seu efeito nas variáveis ambientais pareceu ser de menor importância do que a espécie e mesmo a posição de plantio em relação às aléias na determinação das características ambientais, uma vez que não foram verificadas diferenças entre as épocas e nem entre os tratamentos quanto às variáveis analisadas pela PCA (Figura 15).

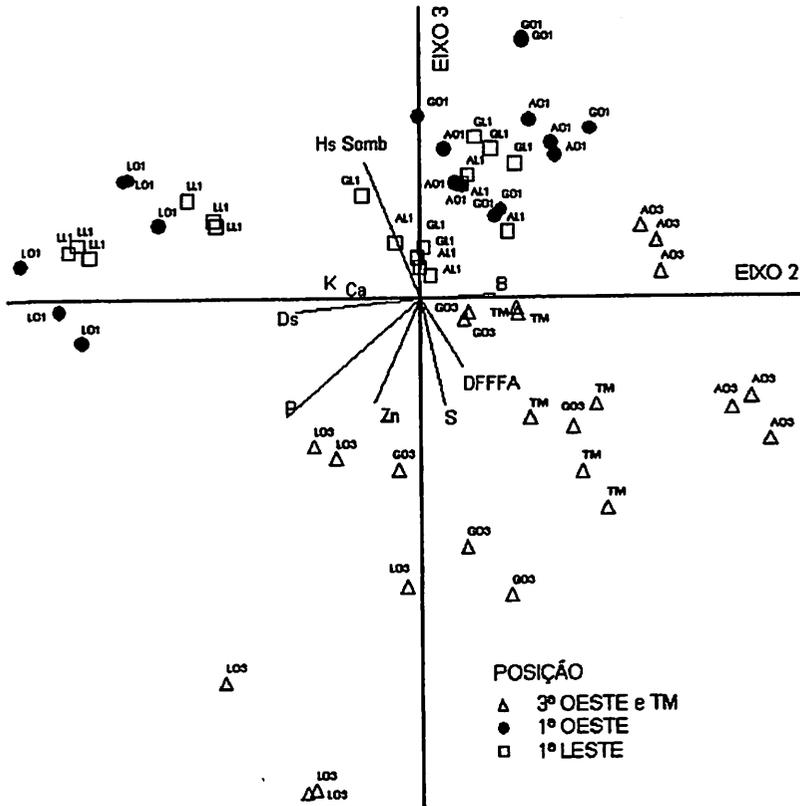


FIGURA 14 – Disposição vetorial das variáveis ambientais: densidade de fluxo de fótons fotossinteticamente ativos (DFFFA), déficit de pressão de vapor na atmosfera (DPV), duração da sombra/dia (Hs Sombra), umidade do solo (Usolo), teores de fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), matéria orgânica (MO), zinco (Zn), manganês (Mn), cobre (Cu), boro (B), enxofre (S), densidade do solo (Ds), macro e microporos de acordo com os dois últimos componentes principais da PCA; e distribuição das amostras em relação aos componentes quanto a posição em relação às leguminosas, onde: 3ª linha de cafeeiros a oeste da aléia de acácia (AO3), de leucena (LO3) e de guandu (GO3); 1ª linha de cafeeiros a oeste da aléia de acácia (AO1), de leucena (LO1) e de guandu (GO1); 1ª linha de cafeeiros a leste da aléia de acácia (AL1), de leucena (LL1) e de guandu (GL1) e testemunha (TM).

Para as respostas fisiológicas dos cafeeiros, cerca de 73% da variação foi explicada por três variáveis compostas, no entanto apenas uma dessas variáveis foi significativa, uma vez que os eixos 2 e 3 apresentaram autovalores menores que o limite de significância estabelecido ($1,551 < 1,718$ e $1,031 < 1,218$ respectivamente). O eixo 1 foi significativo e, sozinho, explicou 40,5% das variações observadas nas respostas fisiológicas dos cafeeiros sombreados por leguminosas (Tabela 8). De maneira geral, foi verificada a presença de dois grupos bastante característicos de respostas ecofisiológicas dos cafeeiros. Tais respostas foram ditadas pelo efeito da sazonalidade, uma vez que a PCA revelou que o efeito das épocas nas respostas fisiológicas observadas nos cafeeiros pareceu ser mais determinante que o efeito dos tratamentos (Figuras 16 e 17).

TABELA 8 - Autovalores, porcentagem da variância explicada (% Variância), porcentagem da variância acumulada, teste de significância do eixo (broken-stick eigenvalue) e valores das componentes vetoriais para as variáveis: fotossíntese líquida (A), transpiração (E), condutância estomática (gs), temperatura foliar (Tf), potencial hídrico ao amanhecer (ψ 6Hs) e ao meio dia (ψ 12Hs), conteúdo de nitrogênio foliar (Nfoliar) e produção observados durante o período experimental.

Eixo	Autovalor	% Variância	% Variância acumulada	Broken-stick eigenvalue
1	3,245	40,557	40,557	2,718
2	1,551	19,390	59,947	1,718
3	1,031	12,884	72,831	1,218
Autovetores				
Variável	1	2	3	
A	0,361	0,048	-0,129	
E	0,410	0,134	-0,322	
gs	0,095	-0,610	-0,558	
Tf	0,315	0,582	0,145	
ψ 6Hs	0,448	-0,210	0,296	
ψ 12Hs	0,438	-0,234	0,251	
Nfoliar	0,447	-0,043	-0,071	
Produção	0,042	0,411	-0,626	

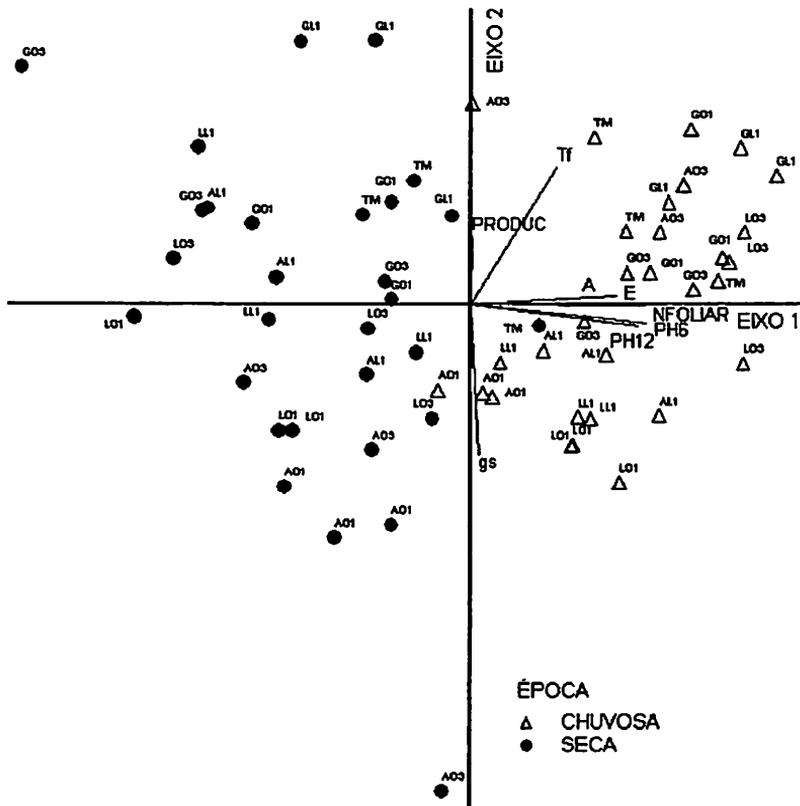


FIGURA 16 – Disposição vetorial das variáveis de resposta fisiológica dos cafeeiros: fotossíntese líquida (A), transpiração (E), condutância estomática (gs), temperatura foliar (Tf), potencial hídrico ao amanhecer (PH 6) e ao meio dia (PH 12), conteúdo de nitrogênio foliar (Nfoliar) e produção (PRODUC) observados durante o período experimental de acordo com os dois primeiros componentes principais da PCA; e distribuição das amostras em relação aos componentes quanto a sazonalidade, onde: 3ª linha de cafeeiros a oeste da aléia de acácia (AO3), de leucena (LO3) e de guandu (GO3); 1ª linha de cafeeiros a oeste da aléia de acácia (AO1), de leucena (LO1) e de guandu (GO1); 1ª linha de cafeeiros a leste da aléia de acácia (AL1), de leucena (LL1) e de guandu (GL1) e testemunha (TM).

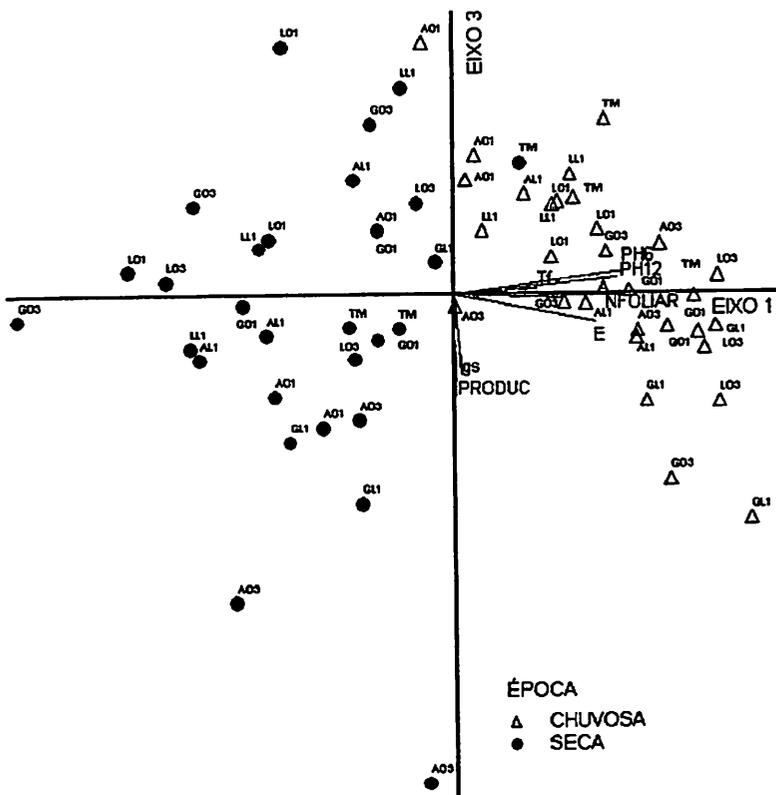


FIGURA 17 – Disposição vetorial das variáveis de resposta fisiológica dos cafeeiros: fotossíntese líquida (A), transpiração (E), condutância estomática (gs), temperatura foliar (Tf), potencial hídrico ao amanhecer (PH 6) e ao meio dia (PH 12), conteúdo de nitrogênio foliar (Nfoliar) e produção (PRODUC) observados durante o período experimental de acordo com o primeiro e o terceiro componentes da PCA; e distribuição das amostras em relação aos componentes quanto a sazonalidade, onde: 3ª linha de cafeeiros a oeste da aléia de acácia (AO3), de leucena (LO3) e de guandu (GO3); 1ª linha de cafeeiros a oeste da aléia de acácia (AO1), de leucena (LO1) e de guandu (GO1); 1ª linha de cafeeiros a leste da aléia de acácia (AL1), de leucena (LL1) e de guandu (GL1) e testemunha (TM).

O efeito da sazonalidade na fisiologia do cafeeiro é bastante evidente nas regiões onde há separação característica de épocas seca e chuvosa ao longo do ano, como no sudeste brasileiro (Oliveira, 2002; Silva et al. 2004). Todas as respostas fisiológicas dos cafeeiros avaliadas durante o período experimental parecem ser maiores na época chuvosa, com maiores temperaturas e maiores níveis de radiação solar.

As respostas fisiológicas da época chuvosa se caracterizaram por maiores valores de fotossíntese, transpiração, potencial hídrico, nitrogênio foliar e temperatura foliar. Essas variáveis foram as que, basicamente, compuseram o eixo 1, que foi significativo; sendo, portanto, importantes na determinação de diferenças entre os tratamentos ao se comparar as duas épocas de estudo.

Como o grupo formado pelas respostas fisiológicas dos cafeeiros na época seca foi oposto ao da época chuvosa, as respostas observadas em uma época são o inverso das observadas na outra. Comportamento semelhante de fotossíntese, nitrogênio foliar e de potencial hídrico foliar foi observado por Silva et al. (2004). Apesar de terem sido verificados maiores teores de nitrogênio foliar para a época seca em relação a chuvosa (Figura 9), a PCA mostrou que os teores de nitrogênio foliar foram mais determinantes nas respostas fisiológicas da época chuvosa que da época seca, concordando com os resultados de Fahl et al. (1994), que observaram que as trocas gasosas dos cafeeiros são beneficiadas por maiores teores foliares desse nutriente. Vale ressaltar que, conforme a Tabela 5, os teores de N foliar observados para os cafeeiros nas duas épocas de estudo indicaram ótimo estado nutricional quanto ao nutriente em questão, o que não causaria diferenças fisiológicas mesmo sendo observadas diferenças entre as épocas e entre os tratamentos.

A condutância estomática (gs) e a produção dos cafeeiros, que compõe os eixos 2 e 3 não significativos, parecem ter menos peso na separação dos tratamentos pelas épocas em comparação às variáveis que compõe o eixo 1,

podendo indicar que essas variáveis foram menos influenciadas pela sazonalidade e mais sujeitas ao tipo de leguminosa que sombreou os cafeeiros. Notou-se no eixo 2, composto principalmente pela condutância estomática, temperatura foliar e pela produção, que os cafeeiros sombreados com acácia e leucena estiveram mais abaixo do eixo, enquanto os tratamentos sombreados por guandu e a testemunha estiveram mais concentrados do lado superior do eixo 2. Contudo, deve-se destacar que os eixos 2 e 3 não foram significativos e, portanto, apenas os autovetores de gs, Tf e Produç do eixo 1, apesar de pequenos, devem ser considerados (Figuras 16, 17 e 18).

As projeções dessas variáveis no eixo 1 mostram que os seus autovetores possuem a mesma direção e sentido, indicando que a relação positiva entre produção, temperatura foliar e condutância estomática é significativa, apesar de pequena. Vale destacar que a PCA é uma análise multidimensional e que estão sendo apresentadas 3 dimensões e que apenas 1 foi significativa, assim, apesar da produção e gs estarem opostas no eixo 2, no eixo 1 e no eixo 3 estas variáveis apresentaram-se como nas definições clássicas de muitos trabalhos da fisiologia vegetal, ou seja, maiores valores de gs estão associados a maiores produções e menores temperaturas foliares.

Numa PCA com dados referentes à época chuvosa, apenas uma variável composta foi significativa, o eixo 2, que explicou cerca de 25% da variabilidade observada nos dados e, conforme foi possível verificar, este eixo esteve associado ao tipo de leguminosa (Tabela 9) (Figura 19).

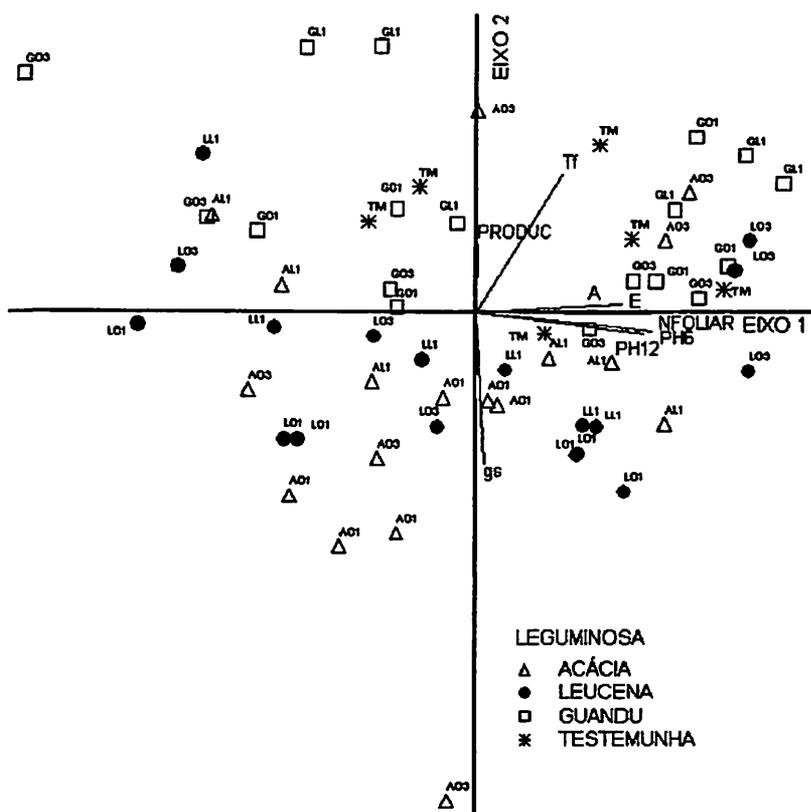


FIGURA 18 – Disposição vetorial das variáveis de resposta fisiológica dos cafeeiros: fotossíntese líquida (A), transpiração (E), condutância estomática (gs), temperatura foliar (Tf), potencial hídrico ao amanhecer (PH 6) e ao meio dia (PH 12), conteúdo de nitrogênio foliar (Nfoliar) e produção (PRODUC) observados durante o período experimental de acordo com os dois primeiros componentes principais da PCA; e distribuição das amostras em relação aos componentes quanto ao tipo de leguminosa, onde: 3ª linha de cafeeiros a oeste da aléia de acácia (AO3), de leucena (LO3) e de guandu (GO3); 1ª linha de cafeeiros a oeste da aléia de acácia (AO1), de leucena (LO1) e de guandu (GO1); 1ª linha de cafeeiros a leste da aléia de acácia (AL1), de leucena (LL1) e de guandu (GL1) e testemunha (TM).

TABELA 9 - Autovalores, porcentagem da variância explicada (%Variância), porcentagem da variância acumulada, teste de significância do eixo (broken-stick eigenvalue) e valores das componentes vetoriais para as variáveis: fotossíntese líquida (A), transpiração (E), condutância estomática (gs), temperatura foliar (Tf), potencial hídrico ao amanhecer (Ψ 6Hs) e ao meio dia (Ψ 12Hs), conteúdo de nitrogênio foliar (Nfoliar) e produção observados durante a época chuvosa (chuva) e na época seca (seca).

Eixo	Autovalor		% Variância		% Variância acumulada		Broken-stick eigenvalue
	chuva	seca	chuva	seca	chuva	seca	
1	2,385	2,389	29,809	29,866	29,809	29,866	2,718
2	1,993	1,472	24,916	18,405	54,725	48,271	1,718
3	1,072	1,270	13,402	15,877	68,127	64,147	1,218
Autovetores / Época							
Eixo	1		2		3		
Variável	chuva	seca	chuva	seca	chuva	seca	
A	-0,174	0,081	0,486	0,204	0,228	0,695	
E	-0,504	-0,050	0,153	-0,593	-0,355	0,190	
Gs	-0,117	-0,417	0,575	-0,436	-0,313	0,169	
Tf	-0,527	0,424	-0,242	0,338	0,091	0,366	
Ψ 6Hs	0,034	-0,507	-0,322	0,381	-0,175	0,026	
Ψ 12Hs	0,204	-0,521	-0,297	0,269	-0,731	0,134	
Nfoliar	-0,470	-0,305	-0,207	-0,005	-0,352	0,343	
Produção	-0,402	0,133	-0,341	-0,290	0,163	0,426	

Em geral, dentro dessa época e ao longo do eixo 2, os cafeeiros a oeste da acácia e do guandu e a testemunha apresentaram maior potencial hídrico ao amanhecer e maior produção; no entanto menor fotossíntese e menor condutância estomática em relação aos cafeeiros a leste dessas leguminosas e aqueles sob influência da leucena.

Ao longo do eixo 1 houve separação dos cafeeiros mais sombreados em relação aos que receberam maiores níveis de radiação direta (AO3, LO3, GO3 e TM). Nestes tratamentos pôde-se observar maior conteúdo de nitrogênio foliar, maior temperatura foliar e maior produção, no entanto este eixo não foi significativo. Na época chuvosa, os menores valores de fotossíntese e de

condutância estomática para os cafeeiros a oeste da acácia e do guandu e para a testemunha (AO3, GO3 e TM) podem estar associados ao estresse por excesso de radiação, como indicado por Nascimento (2002) e Oliveira (2002).

Assim como ocorreu na época chuvosa, a PCA das respostas fisiológicas dos cafeeiros estudados dentro da época seca apresentou 1 eixo significativo, o eixo 3, que explicou 16% da variação observada (Tabela 9). Ao longo deste eixo significativo foi possível observar a separação dos tratamentos quanto ao tipo de leguminosa, com a predominância dos cafeeiros influenciados pela acácia e pela leucena mais abaixo no eixo, com menor fotossíntese, transpiração e condutância estomática; e mais superior no eixo, os cafeeiros sob influência do guandu e testemunha, com valores maiores dessas variáveis (Figura 20). Vale lembrar que as variáveis que não aparecem na análise tiveram pequeno peso na determinação das características de cada grupo/tratamento.

Através dos resultados das PCA's para as variáveis fisiológicas dos cafeeiros estudados, foi possível verificar que cerca de 40 % da variação pode ser atribuída a sazonalidade, no eixo 1. Na época chuvosa, o tratamento “tipo de leguminosa” foi responsável por 25% das diferenças observadas; e na época seca apenas por 16%. O restante da variabilidade pode ser atribuída ao efeito da posição da linha de cultivo e a outras fontes de variação que vão desde possíveis erros experimentais a respostas de fatores não avaliados.

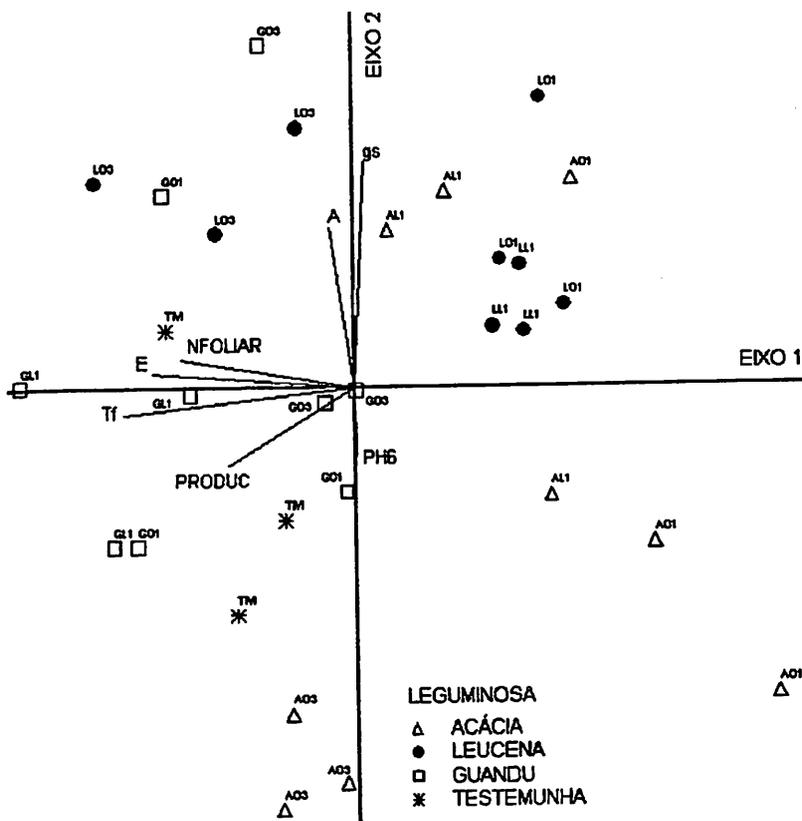


FIGURA 19 - Disposição vetorial das variáveis de resposta fisiológica dos cafeeiros: fotossíntese líquida (A), transpiração (E), condutância estomática (gs), temperatura foliar (Tf), potencial hídrico ao amanhecer (PH 6) e ao meio dia (PH 12), conteúdo de nitrogênio foliar (Nfoliar) e produção (PRODUC) observados durante o período experimental de acordo com os dois primeiros componentes principais e distribuição das amostras em relação aos componentes quanto ao tipo de leguminosa, onde: 3ª linha de cafeeiros a oeste da aléia de acácia (AO3), de leucena (LO3) e de guandu (GO3); 1ª linha de cafeeiros a oeste da aléia de acácia (AO1), de leucena (LO1) e de guandu (GO1); 1ª linha de cafeeiros a leste da aléia de acácia (AL1), de leucena (LL1) e de guandu (GL1) e testemunha (TM) observados na época chuvosa.

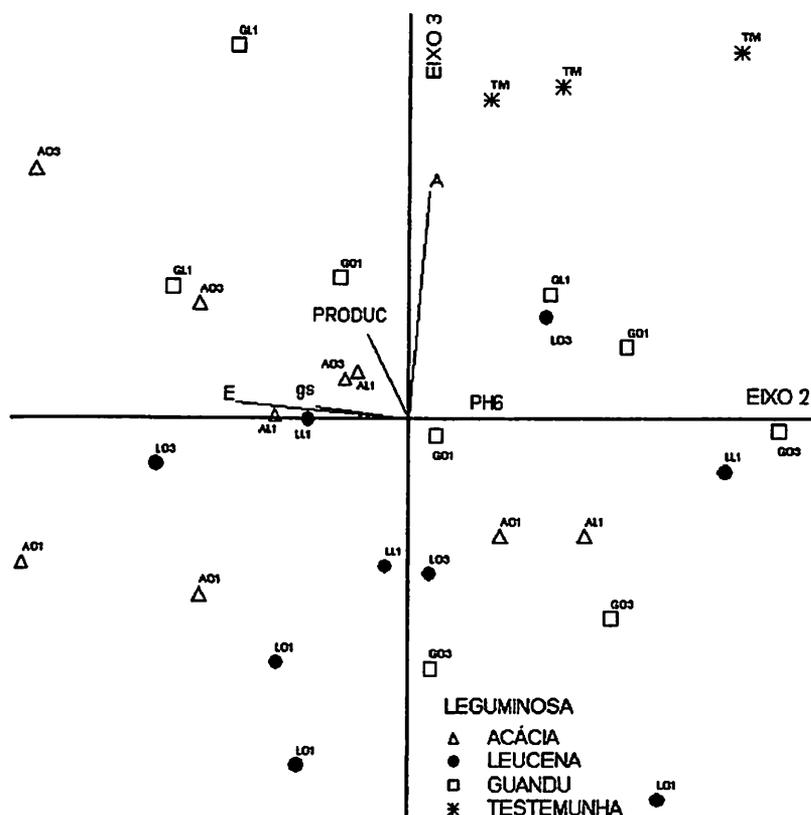


FIGURA 20 - Disposição vetorial das variáveis de resposta fisiológica dos cafeeiros: fotossíntese líquida (A), transpiração (E), condutância estomática (gs), temperatura foliar (Tf), potencial hídrico ao amanhecer (PH 6) e ao meio dia (PH 12), conteúdo de nitrogênio foliar (Nfoliar) e produção (PRODUC) observados durante o período experimental de acordo com os dois primeiros componentes principais e distribuição das amostras em relação aos componentes quanto ao tipo de leguminosa, onde: 3ª linha de cafeeiros a oeste da aléia de acácia (AO3), de leucena (LO3) e de guandu (GO3); 1ª linha de cafeeiros a oeste da aléia de acácia (AO1), de leucena (LO1) e de guandu (GO1); 1ª linha de cafeeiros a leste da aléia de acácia (AL1), de leucena (LL1) e de guandu (GL1) e testemunha (TM) observados na época seca.

4.9 Correlações entre as principais variáveis estudadas

Algumas correlações, obtidas pela matriz de correlações da PCA, entre as principais variáveis estudadas puderam ser observadas neste trabalho. As correlações envolveram tanto as variáveis de resposta fisiológica dos cafeeiros quanto as de respostas ambientais (Tabela 10).

A DFFFA (Densidade de Fluxo de Fótons Fotossinteticamente Ativos) teve maior correlação direta com a temperatura foliar e com a transpiração e correlacionou-se negativamente com a densidade do solo. A evidente relação entre o incremento na temperatura foliar com o aumento da radiação incidente sobre as folhas dos cafeeiros também foi observada por vários autores, dentre eles Kumar & Tiezen (1980) e Silva et al. (2004). A relação positiva entre DFFFA e transpiração (E) também concorda com os resultados apresentados por esses últimos autores.

No entanto, provavelmente, essa correlação permitiu que a temperatura foliar tivesse correlação positiva com a transpiração. Neste caso, a transpiração aumentou em função da maior disponibilidade de energia, o que não refletiu uma menor temperatura foliar. Foi interessante observar que a condutância estomática esteve negativamente correlacionada com a temperatura foliar, indicando que maior quantidade de estômatos abertos ocorrem com temperaturas foliares menores e, quando há estômatos abertos geralmente há transpiração e redução da temperatura foliar, indicando que a relação entre transpiração e temperatura foliar deve estar sendo influenciada por outras variáveis em segundo plano.

Deve ser lembrado que existem múltiplas interações entre as variáveis estudadas e que, mesmo não sendo comum tal comportamento, outras variáveis podem estar distorcendo a relação que comumente seria observada entre g_s e E, já que a PCA analisa as variáveis em muitas dimensões.

A correlação negativa entre DFFFA e Ds (Tabela 10), apesar de seu valor elevado (-0,85), não indica a existência de uma relação entre o incremento da radiação e a redução da densidade do solo, mas mostra que os ambientes mais sombreados tiveram maior densidade do solo. Maiores valores de densidade do solo podem estar associados a menor porosidade e menor capacidade do solo em reter água. Isso pode ter contribuído para que fossem verificados baixos valores de potencial hídrico nas primeiras linhas de cafeeiro a leste e a oeste das leguminosas, e menor umidade do solo nas primeiras linhas sombreadas pela leucena, assim como maior manutenção da umidade do solo nas linhas que receberam fitomassa da poda e maior intensidade luminosa (AO3, LO3 e GO3) (Figuras 3 e 7), sendo este mais um exemplo evidente das interações entre variáveis na determinação das correlações pela PCA (Justo, 2003).

Em relação às trocas gasosas, a fotossíntese líquida, a transpiração e a condutância estomática estiveram mais correlacionadas com a umidade do ar (DPV) do que com a radiação (DFFFA). A fotossíntese teve correlação positiva com o DPV, com a transpiração, com a temperatura foliar, com o potencial hídrico ao amanhecer e com o conteúdo de nitrogênio foliar; a condutância estomática e a transpiração apresentaram correlações negativas com o DPV. A transpiração ainda se correlacionou positivamente com o conteúdo de nitrogênio foliar; e a condutância estomática correlacionou-se negativamente com a temperatura foliar e com a produção dos cafeeiros (Tabela 10).

Maiores valores de DPV associados a maior umidade do solo, que manifesta no potencial hídrico ao amanhecer próximo de zero, indicam maior abertura estomática e maior fotossíntese, desde que a radiação não seja fator limitante (Valio, 2001). Os resultados de correlações observados podem indicar que, ao longo do período experimental, os cafeeiros estudados não experimentaram momentos de acentuado estresse por radiação solar, e que as suas trocas gasosas foram controladas por fatores estomáticos, pelo DPV e pela

disponibilidade de água no solo, como também observado por Lima et al. (2002) e Silva et al. (2004).

O conteúdo de nitrogênio foliar correlacionado positivamente com as taxas fotossintéticas dos cafeeiros foi observado por vários autores, dentre eles Fahl et al. (1994) e Da Matta et al. (1999), contudo a relação direta entre o teor foliar desse nutriente e a transpiração pode estar relacionada ao processo de absorção da solução do solo e não ao processo fisiológico específico.

O DPV esteve negativamente relacionado com o tempo de sombreamento dos cafeeiros (HsSom), com a umidade do solo (Usolo) e com o teor de matéria orgânica no solo (MO). A umidade do solo parece ter contribuído para a redução do DPV e, a MO, para maior umidade do solo.

Com o aumento do sombreamento, foi possível observar redução do DPV e dos potenciais hídricos ao amanhecer e ao meio dia solar, assim como incremento no teor de matéria orgânica no solo (Tabela 10). De modo geral, o sombreamento parece propiciar uma melhor manutenção do estado hídrico do cafeeiro, entretanto isto pode estar menos relacionado à umidade do solo e mais ligado à redução do DPV, o que se explicaria pela pequena correlação entre umidade do solo e horas de sombreamento (HsSom). Esta correlação não está de acordo com os resultados apresentados por Beer et al. (1998) que observaram que os benefícios na manutenção da umidade da lavoura cafeeira podem ser alcançados com a proteção do solo por fitomassa, através da técnica de *mulching*, dispensando o uso de árvores na lavoura.

No entanto, o incremento de matéria orgânica no solo com o aumento do sombreamento foi provavelmente relacionado à presença das árvores junto aos cafeeiros, favorecendo a deposição de fitomassa pela queda de folhas das leguminosas e deposição de fitomassa advinda do manejo de poda. O sombreamento pode proporcionar também um ambiente favorável à proliferação

e atividade de microorganismos capazes de decompor e mineralizar esta matéria orgânica, elevando, além do teor de MO, a disponibilidade de nutrientes.

Contudo, a matéria orgânica do solo correlacionou-se negativamente com temperatura foliar, DPV e nitrogênio foliar, além de estar correlacionada positivamente com o sombreamento, com o potencial hídrico foliar ao amanhecer e com a produção. A matéria orgânica aumenta a união entre os agregados do solo, propiciando menor densidade do solo e seu maior armazenamento de água (Wotmann et al., 2000). Pelo efeito do sombreamento nos tratamentos mais ricos em matéria orgânica, maiores potenciais hídricos ao amanhecer e menores temperaturas das folhas dos cafeeiros foram observados ao se elevar o conteúdo de matéria orgânica no solo, resultados semelhantes foram observados por Paulo et al. (2001). Maior conteúdo de matéria orgânica no solo pode causar redução do nitrogênio disponível às plantas uma vez que os microorganismos decompositores retiram tal nutriente do solo no processo de decomposição da matéria orgânica, como anteriormente discutido (Wortmann et al., 2000).

O efeito da MO nas características físicas e químicas do solo, a maior umidade do solo e da atmosfera e redução da temperatura foliar podem ter proporcionado a relação positiva do teor de matéria orgânica com a produção, já que esta resposta dos cafeeiros foi positivamente relacionada com a umidade e negativamente correlacionada com a densidade do solo e com o potencial hídrico ao amanhecer e ao meio dia (Tabela 10).

Em geral, pelos valores de correlação observados para as variáveis estudadas neste trabalho, a maior produção do cafeeiro pareceu ser propiciada por valores mais elevados de DPV e de umidade do solo acompanhados por um fechamento estomático. Tais características puderam ser verificadas nos cafeeiros mais produtivos, como a terceira linha a oeste da acácia e os arborizados com guandu.

Variável	MO	Prod	Nfolia	ψ_{12H}	ψ_{6H}	Tf	gs	E	A	Ds	Usolo	HsSom	DPV	DFFFA
DFFFA	-0,21	0,37	0,38	0,15	0,17	0,87	-0,33	0,52	0,31	-0,85	0,24	-0,47	0,27	1,00
DPV	-0,64	0,64	-0,26	-0,26	-0,25	0,53	-0,60	-0,97	0,65	0,11	-0,42	-0,60	1,00	
HsSom	0,78	-0,12	-0,23	-0,50	-0,98	-0,33	-0,11	-0,22	-0,16	0,30	-0,15	1,00		
Usolo	0,33	0,49	0,48	0,78	0,76	0,26	0,18	0,47	0,31	-0,22	1,00			
Ds	-0,20	-0,49	0,32	-0,17	-0,93	0,29	-0,73	0,19	-0,11	1,00				
A	-0,20	0,10	0,45	0,30	0,39	0,41	0,16	0,39	1,00					
E	0,11	0,16	0,60	0,38	0,38	0,47	0,16	1,00						
gs	0,27	-0,57	0,17	0,20	0,15	-0,44	1,00							
Tf	-0,49	0,25	0,18	0,26	0,28	1,00								
ψ_{6H}	0,44	-0,72	0,54	0,86	1,00									
ψ_{12H}	0,11	-0,42	0,52	1,00										
Nfolia	-0,48	0,22	1,00											
Prod	0,87	1,00												
MO	1,00													

TABELA 10 – Correlações entre as principais variáveis estudadas: DFFFA (Densidade de fluxo de fótons fotossinteticamente ativos), DPV (déficit de pressão de vapor), HsSom (% de duração da sombra/dia), Usolo (umidade do solo), Ds (densidade do solo), A (fotossíntese líquida), E (transpiração), gs (condutância estomática), Tf (temperatura foliar), ψ_{6H} e ψ_{12H} (potencial hídrico foliar ao amanhecer e ao meio dia, Nfolia (teor de nitrogênio foliar), Prod (produção), MO (matéria orgânica).

5 CONCLUSÕES

A arborização de cafeeiros com leguminosas proporcionou melhores condições microclimáticas, principalmente nas linhas sob acácia e leucena, que proporcionaram uma condição de maior sombreamento que em relação ao guandu. O sombreamento e a deposição de fitomassa nos cafeeiros sob acácia reduziram o efeito da sazonalidade nas características microclimáticas desses cultivos, o que pode ser importante na manutenção de produções estáveis ao longo dos anos e para a redução dos efeitos desfavoráveis da seca e do frio em uma época do ano.

A leucena competiu com o cafeeiro por fatores de produção do solo e da atmosfera; uma vez que as plantas sob influência dessa leguminosa apresentaram uma condição de déficit hídrico na estação seca e menores potenciais hídricos na época chuvosa, além de maior crescimento e menor produção em relação aos demais cafeeiros estudados, o que pode ser um indicativo de competição por luz. Este efeito de competição parece ter sido mais severo nos tratamentos a leste da aléia de leucena (LL1 e GO3).

Os melhores resultados de trocas gasosas e de produção, em geral, foram observados para os cafeeiros a oeste da acácia e nas primeiras linhas arborizadas por guandu, indicando que uma condição de maior sombreamento na época chuvosa, com poda de raleio da leguminosa na época seca acompanhado pela deposição de fitomassa nas linhas de cultivo podem propiciar o desenvolvimento e a produção estável do cafeeiro.

A arborização de cafeeiros, com a acácia e o guandu, e a prática de poda e deposição de fitomassa anualmente nas linhas de cultivo podem ser uma alternativa viável para a redução de investimentos em pequenas e médias lavouras, em fase de produção, mesmo em locais propícios para a cafeicultura,

pois favorece condições microclimáticas mais adequadas para a planta, evitando que haja danos na época seca, mantendo maior umidade no solo ao longo do ano e, com o tempo, melhorano suas condições físicas e químicas.

Contudo, alguns aspectos devem ser esclarecidos, especialmente em relação ao manejo do sistema arborizado por poda e as relações de custo-benefício da arborização, visando obter informações quanto ao nível adequado de radiação para o cafeeiro ao longo do ano e como isso pode ser conseguido pelo manejo de poda, ao mesmo tempo que seja praticada a deposição de fitomassa nas linhas de cultivo. Alguns aspectos relacionados ao arranjo das árvores na área de cultivo, relacionando a fisiologia do cafeeiro com a produção e com os aspectos técnicos e econômicos de diferentes sistemas, também devem ser abordados em estudos futuros.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRAMS, M. D.; MOSTOLLER, S. A. Gas exchange, leaf structure and nitrogen in contrasting successional tree species growing in open and understory sites during a drought. *Tree Physiology*, Victoria, v. 15, n. 6, p. 361-370, June 1995.

ALVES, J. D. **Relação entre a redutase do nitrato e a fotossíntese no cafeeiro (*Coffea arabica* L.)**. 1986. 39p. Dissertação (Mestrado em Fisiologia Vegetal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

ANGELOCCI, L. R. **Água na planta e trocas gasosas / energéticas com a atmosfera: introdução ao tratamento biofísico**. Piracicaba: ESALQ, 2002. 272 p.

ASBJORNSEN, H.; ASHTON, M. S.; VOGT, D. J.; PALACIOS, S. Effects of habitat fragmentation on the buffering capacity of edge environments in a seasonally dry tropical oak forest ecosystem in Oaxaca, Mexico. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, Amsterdam, v. 103, n. 3, p. 481-495, Aug. 2004.

AWONAIKE, K. O.; DANSO, S. K. A.; ZAPATA, F. Nitrogen fixation in *L. leucocephala* L. as affected by rooting volume and competition with *E. Camaldulensis*. *Agroforestry Systems*, Amsterdam, v. 33, n. 3, p. 195-203. 1996.

BAKER, N. R. Light-use efficiency and photoinhibition of photosynthesis in plants under environmental stress. In: SMITH, J. A. C.; GRIFFITHS, H. (Ed.). **Water deficit plant responses from cell to community**. Oxford: Bios Scientific, 1993. p. 221-235.

BARBER, J.; ANDERSON, B. Too much of a good thing: light can be bad for photosynthesis. *Trends in Biochemical Science*, Oxford, v. 17, n. 2, p. 61-66, Feb. 1992.

BARROS, R. S.; MAESTRI, M.; VIEIRA, M.; BRAGA FILHO, L. J. Determinação de área foliar de folhas do café (*Coffea arabica* L. cv. 'Bourbon Amarelo'). *Revista Ceres*, Viçosa, v. 20, n. 107, p. 44-52, jan./mar. 1973.

BEER, J.; MUSCHLER, R.; KASS, D.; SOMARRIBA, E. Shade management in coffee and cacao plantations. *Agroforestry Systems*, Amsterdam, v. 38, n. 1/3, p. 139-164, 1998.

CAMPOS, A. C. M.; BARBOSA, J. P. R. A. D.; SOARES, A. M. Estudo do sistema radicular de cafeeiros consorciados com seringueiras. In: CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UFLA – CICESAL, 26., 2003, Lavras. *Anais...* Lavras, 2003. p. 95.

CANNELL, M. G. R.; VAN NOORDWIJK, M.; ONG, C. K. The central agroforestry hypothesis: the trees must acquire resources that the crop would not otherwise acquire. *Agroforestry Systems*, Amsterdam, v. 34, n. 1, p. 27-31, 1996.

CARAMORI, P. H.; ANDROCIOLI FILHO, A.; LEAL, A. C. Coffee shade with *Mimosa scabrella* Benth. for frost protection in southern Brazil. *Agroforestry Systems*, Amsterdam, v. 33, n. 3, p. 205-214, 1996.

COELHO, F. E.; OLIVEIRA, F. das C.; ARAÚJO, E. C. E.; VASCONCELOS, L. F. L. Distribuição de raízes de laranja "Pêra" sob sequeiro e irrigação por microaspersão em solo arenoso. *Pesquisa Agropecuária brasileira*, Brasília, v. 37, n. 5, p. 603-611, maio 2002.

COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS - CFSEMG. *Recomendações para uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª Aproximação*. Viçosa, MG, 1999. 359 p.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. *Café, Safra 2004/2005. Terceiro levantamento – Agosto de 2004*. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/download/Safra/Safracafe.pdf>>. Acesso em: 12 jul. 2004.

Da MATTA, F. M. Ecophysiological constraints on the production of shaded and unshaded coffee: a review. *Field Crops Research*, Amsterdam, v. 86, n. 2/3, p. 99-114, Mar. 2004.

Da MATTA, F. M.; AMARAL, J. A. T. do; RENA, A. B. Growth periodicity in trees of *Coffea arábica* L. in relation to nitrogen supply and nitrate reductase activity. *Field Crops Research*, Amsterdam, v. 60, n. 3, p. 223-229, Feb. 1999.



FAHL, J. I.; CARRELI, M. L. C.; VEIGA, 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, n. 1, p. 161-169, Jan. 1994.

FERNANDES FILHO, E. I.; VALLE, F. X. R.; LIBERATO, J. R. **QUANT - A software to quantify plant disease severity**. 2001. Patente: n.00046606.

FOEREID, B.; BRO, R.; MOGENSENA, V. O.; PORTER, J. R. Effects of windbreak strips of willow coppice — modelling and field experiment on barley in Denmark. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, Amsterdam, v. 93, n. 1/3, p. 25-32, Dec. 2002.

FONTES, R. E. **Estudo Econômico da Cafeicultura no sul de Minas Gerais**. 2001. 94 p. Dissertação (Mestrado em Economia Rural) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

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

FRANCO, C. G. S. **Impacto das variáveis macroeconômicas sobre o desempenho das cooperativas de café do Estado de Minas Gerais**. 2002. 104 p. Dissertação (Mestrado em Economia Rural) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.

FREITAS, R. B. de; OLIVEIRA, L. E. M. de; DELÚ FILHO, N.; SOARES, A. M. Influência de diferentes níveis de sombreamento no comportamento fisiológico de cultivares de café (*Coffea arabica* L.). *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, v. 27, n. 4, p. 804-810, out./dez. 2003.

FROTA, A. B.; SCHIFFER, S. R. **Manual de conforto térmico**. São Paulo: Studio Nobel, 1995. 250 p.

FURIA, L. R. R. **Relações ecológicas entre as culturas de milho (*Zea mays*) e seringueira (*Hevea brasiliensis*) em um sistema agroflorestal**. 2000. 103p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.

GARDINER, E. S.; SCHWEITZER, C. J.; STANTURF, J. A. Photosynthesis of nuttall oak (*Quercus nuttallii* Palm.) seedlings interplanted beneath an eastern cottonwood (*Populus deltoides* Bartr. ex Marsh.) nurse crop. **Forest Ecology and Management**, v. 149, n. 1/3, p. 283-294, Aug. 2001.

GHOSH, P. K. Growth, yield, competition and economics of groundnut/cereal fodder intercropping systems in the semi-arid tropics of India. **Fields Crops Research**, Amsterdam, v. 88, n. 2/3, p. 227-237, Aug. 2004.

GIRANDA, R. do N. Aspectos qualitativos de cafés (*Coffea arabica* L.) submetidos a diferentes processos de secagem. 1998. 83 p. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

GOMES, I. A. C. Alterações morfofisiológicas em folhas de cafeeiros (*Coffea arabica* L.) Oeiras, sob influência do sombreamento por leguminosas. 2004. 63 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia - Fisiologia Vegetal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

GREGORY, P. J. Approaches to modelling the uptake of water and nutrients in agroforestry systems. **Agroforestry Systems**, Amsterdam, v. 34, n. 1, p. 51-65, 1996.

GROSSMAN, J.M. Exploring farmer knowledge of soil processes in organic coffee systems of Chiapas, Mexico. **Geoderma**, Amsterdam, v. 111, n. 3/4, p. 267-287, Feb. 2003.

JARAMILLO-ROBLEDO, A.; VALENCIA-ARISTIZABAL, G. Los elementos climáticos y el desarrollo de *Coffea arabica* L., en Chinchina, Colombia. **Cenicafé**, Caldas, v. 31, n. 4, p. 127-143, oct./dic. 1980.

JUSTO, C. F. Aspectos ecofisiológicos de plantas jovens de *Xylopia brasiliensis* Sprengel em sub-bosque de mata e de eucaliptal. 2003. 117 p. Dissertação (Mestrado em Fisiologia Vegetal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

KENT, M.; COKER, P. **Vegetation description and analysis: a practical approach**. Chichester: John Wiley, 1994. 363 p.

KRAUSE, G. H.; WEIS, E. Chlorophyll fluorescence and photosynthesis: the basics. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, Palo Alto, v. 42, p. 313-349, 1991.

KUMAR, D.; TIESZEN, L. L. Photosynthesis in *Coffea arabica*. II. Effects of water stress. **Experimental Agriculture**, v. 16, p. 21-27, 1980.

LIMA, A. L. S.; Da MATTA, F. M.; PINHEIRO, H. A.; TOTOLA, M. R.; LOUREIRO, M. E. Photochemical responses and oxidative stress in two clones of *Coffea canephora* under water deficit conditions. **Environmental and Experimental Botany**, Oxford, v. 47, n. 3, p. 239-247, May 2002.

LONGSDON, S.D.; LINDEN, D.R. Interactions of earthworms with soil physical conditions influencing plant growth. **Soil Science**, Baltimore, v. 154, n. 4, p. 330-337, Apr. 1992.

LOSE, S. J.; HILGER, T. H.; LEIHER, D. E.; KROSCHER, J. Cassava, maize and tree root development as affected by various agroforestry and cropping systems in Bénin, west Africa. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 100, n. 2/3, p. 137-151, Dec. 2003.

LYNGBAEK, A. E.; MUSCHLER, R. G.; SINCLAIR, F. L. Productivity and profitability of multistrata organic versus conventional coffee farms in Costa Rica. **Agroforestry Systems**, Amsterdam, v. 53, n. 22, p. 205-213, 2001.

MACEDO, R. L. G.; PEREIRA, A. V.; PEREIRA, E. B. C.; VENTORIM, N. Análise técnica do potencial de utilização da seringueira em sistemas agroflorestais permanentes. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE ECOSISTEMAS FLORESTAIS, 5., FOREST 98, 1999, Curitiba. **Anais...** Rio de Janeiro: Biosfera, 1999. 4 p.

MENDES, A. N. G.; GUIMARÃES, R. J. **Economia cafeeira: o agronegócio**. Lavras: UFLA/ FAEPE. 2000. 42 p.

MIRANDA, E. M. de.; PEREIRA, R. de C. A.; BERGO, C. L. Comportamento de seis linhagens de café (*Coffea arabica* L.) em condições de sombreamento e a pleno sol no estado do Acre, Brasil. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 23, n. 1, p. 62-69, jan./mar. 1999.

MONTAÑÉZ, L.; HERAS, L.; ABADÍA, J.; SANZ, M. Plant analysis interpretation base on a new index: Deviation from Optimum Percentage (DOP). **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 16, n. 7, p. 1289-1308, 1993.

MORAIS, H.; MARUR, C. J.; CARAMORI, P. H.; RIBEIROA, 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, out. 2003.

MUSCHLER, R. G. Shade improves coffee quality in a sub-optimal coffee zone of Costa Rica. **Agroforestry Systems**, Amsterdam, v. 85, n. 3, p. 131-139, 2001.

NASCIMENTO, E. A. do. **Comportamento ecofisiológico e produção do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) e da seringueira (*Hevea Brasiliensis* Muell. Arg.) em diferentes sistemas de cultivo em Varginha – MG. 2002. 76 p. Dissertação (Mestrado em Fisiologia Vegetal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.**

NYGREN, P. Um modelo de los padrones de sombra de arboles manejados com podas periódicas em sistemas agroforestales. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 28, n. 2, p. 177-188, fev. 1993.

OKUDA, T. Café: safra 2004/05 será de 112 a 117 milhões de sacas, diz OIC. **O Estado de São Paulo**, São Paulo, 20 de setembro de 2004. Disponível em: <http://www5.estadao.com.br/agronegocios/noticias/2004/set/20/77.htm>. Acesso em: 12 jul. 2004.

OLIVEIRA, C. R. M. **Avaliações biofísicas e anatômicas de cafeeiros (*Coffea arabica* L.) e seringueiras (*Hevea brasiliensis* Muell. Arg.) na fase de estabelecimento em diferentes cultivos em Lavras-MG. 2002. 70 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Fisiologia Vegetal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.**

PAULO, E. M.; BERTON, R. S.; CAVICHIOLI, J. C.; BULISANI, E. A.; KASAI, F. S. Produtividade do café apoaã em consórcio com leguminosas na região da alta paulista. **Bragantia**, Campinas, v. 60, n. 3, p. 195-199, 2001.

PEETERS, L. Y. K.; SOTO-PINTO, L.; PERALES, H.; MONTROYA, G.; ISHIKI, M. Coffee production, timber, and firewood in traditional and Inga-shaded plantations in Southern Mexico. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 95, n. 2/3, p. 481-493, May 2003.

PEÑUELAS, J.; FILELLA, I.; LLUSIÀ, J.; SISCART, D.; PIÑOL, J. Comparative field study of spring and Summer leaf gas exchange and photobiology of the mediterranean trees *Quercus ilex* and *Phillyrea latifolia*. **Journal of Experimental Botany**, Cambridge, v. 49, n. 319, p. 229-238, Feb. 1998.

ROMERO-ALVARADO, Y.; SOTO-PINTO, L.; GARCÍA-BARROS, L.; BARRERA-GAYTÁN, J. F. Coffee yields and soil nutrients under the shades of *Inga* sp. vs. Multiple species in Chiapas, México. **Agroforestry Systems**, Amsterdam, v. 54, n. 3, p. 215-224, 2002.

SAES, M. S. M.; SOUZA, M. C.; OTANI, M. N. Strategic alliances and sustainable coffee production: the shaded system of Baturite, state of Ceará, Brazil. **International Food and Agribusiness Management Review**, São Paulo, v. 6, n. 2, 2003.

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

SANTOS, A. J. dos.; LEAL, A. C.; GRAÇA, L. R.; CARMO, A. P. C. do. Viabilidade econômica do sistema agroflorestal *Grevilea* x Café na região norte do Paraná. **Cerne**, Lavras, v. 6, n. 1, p. 089-100, 2000.

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 degulata* as coffee shade in Costa Rica. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 175, n. 1/3, p. 205-215, Mar. 2003.

SELLAMI, M. H.; SIFAOU, M. S. Estimating transpiration in an intercropping system: measuring sap flow inside the oasis. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 59, n. 3, p. 191-204, Apr. 2003.

SILVA, E. A.; Da MATTA, F. M.; DUCATTI, C.; REGAZZI, A. J.; BARRROS, R. S. Seasonal changes in vegetative growth and photosynthesis of Arabica coffee trees. **Fields Crops Research**, Amsterdam, n. 2/3, Oct. 2004.

SILVA, W. da. **Interferência de *Brachiaria brizantha* sobre *Eucalyptus citriodora* e *Eucalyptus grandis* cultivados em solos com diferentes teores de água**. 1997. 89 p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

SOTO-PINTO, L.; PERFECTO, I.; CABALLERO-NIETO, J. C. Shade over coffee: its effects on berry borer, leaf rust and spontaneous herbs in Chiapas, México. *Agroforestry Systems*, Amsterdam, v. 55, n. 1, p. 37-45, June 2002.

SOTO-PINTO, L.; PERFECTO, I.; CASTILLO-HERNANDEZ, J.; CABALLERO-NIETO, J. C. Shade effect on coffee production at the northern Tzeltal zone of the state of Chiapas, Mexico. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, Amsterdam, v. 80, n. 1/2, p. 61-69, Aug. 2000.

SOUZA, N. L. de. *Comportamento fisiológico de cultivares de Coffea arabica L. submetidos a diferentes níveis de radiação solar*. 2001. 41 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia - Fisiologia Vegetal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

THOMAZIELLO, R. A.; FAZUOLI, L. C.; PEZZOPANE, J. R. M.; FAHL, J. I.; CARELLI, M. L. C. *Café arábica: cultura e técnicas de produção*. Campinas: IAC, 2000. 82 p. (IAC. Boletim Técnico, n. 187).

VALIO, I. F. M. Effects of shading and removal of plant on growth of *Trema micrantha* seedlings. *Tree Physiology*, Victoria, v.21, n. 1, p. 65-70, Jan. 2001.

VANDERMEER, J. H. *The ecology of intercropping*. Cambridge: Cambridge University Press, 1989. 237 p.

VILELA, A. E.; RAVETTA, D. A. The effects of radiation on seedling growth and physiology in four species of *Proposis L.* (Mimosaceae). *Journal of Arid Environments*, London, v. 44, n. 4, p. 415-423, 2000.

* WORTMANN, C. S.; McINTYREB, B. D.; KAIZZIC, C. K. Annual soil improving legumes: agronomic effectiveness, nutrient uptake, nitrogen fixation and water use. *Field Crops Research*, Amsterdam, v. 68, n. 1, p. 75-83, Sept. 2000.