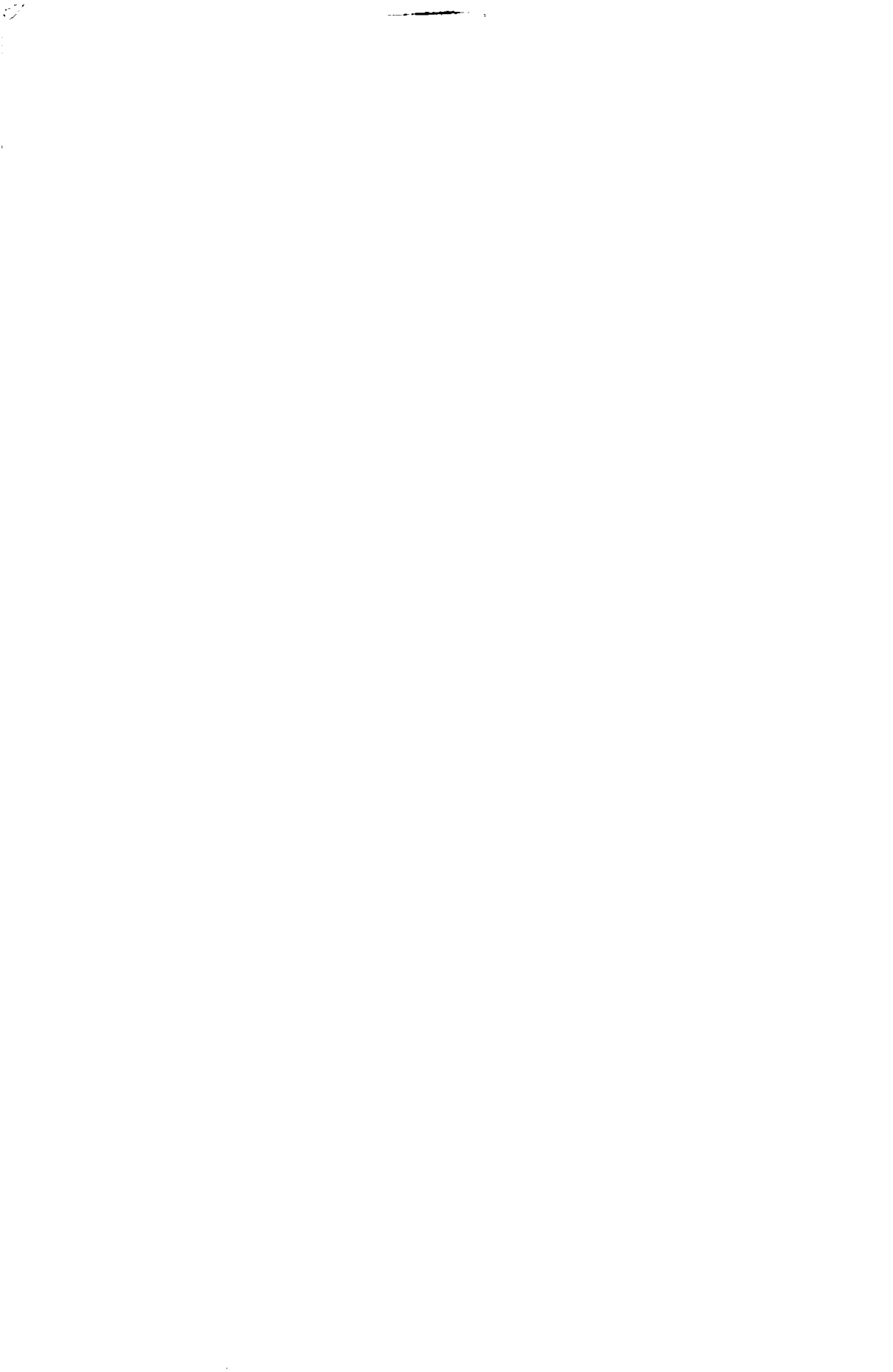




**COMPORTAMENTO ECOFISIOLÓGICO E PRODUÇÃO DO
CAFEEIRO (*Coffea arabica* L.) E DA SERINGUEIRA (*Hevea
brasiliensis* Arg. Muell) EM DIFERENTES SISTEMAS DE CULTIVO
EM VARGINHA - MG**

ERIVALDO ALVES DO NASCIMENTO

2002



ERIVALDO ALVES DO NASCIMENTO

**COMPORTAMENTO ECOFISIOLÓGICO E PRODUÇÃO DO
CAFEEIRO (*Coffea arabica* L.) E DA SERINGUEIRA (*Hevea brasiliensis*
Arg. Muell) EM DIFERENTES SISTEMAS DE CULTIVO EM
VARGINHA - MG**

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

Orientador
Prof. Dr. Luiz Edson Mota de Oliveira

LAVRAS
MINAS GERAIS - BRASIL
2002

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

Nascimento, Erivaldo Alves do

Comportamento ecofisiológico e produção do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) e da seringueira (*Hevea brasiliensis* Arg. Muell) em diferentes sistemas de cultivo em Varginha – MG. / Erivaldo Alves do Nascimento. -- Lavras : UFLA, 2002.

76 p. : il.

Orientador: Luiz Edson Mota de Oliveira

Dissertação (Mestrado) – UFLA.

Bibliografia

1. Cafe. 2. Seringueira. 3. Consorciação de cultura. 4. Produção. 5. Ecofisiologia vegetal. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD-633.73

-633.8952

-631.58

ERIVALDO ALVES DO NASCIMENTO

**COMPORTAMENTO ECOFISIOLÓGICO E PRODUÇÃO DO
CAFEIEIRO (*Coffea arabica* L.) E DA SERINGUEIRA (*Hevea brasiliensis*
Arg. Muell) EM DIFERENTES SISTEMAS DE CULTIVO EM
VARGINHA - MG**

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

APROVADA em 22 de fevereiro de 2002

Prof. Dr. Nelson Delú Filho

UFLA

Prof.^a Dra. Ângela Maria Soares

UFLA



Prof. Dr. Luiz Edson Mota de Oliveira
UFLA
(Orientador)

LAVRAS
MINAS GERAIS - BRASIL

DEDICO:

Aos meus pais, Heleno e Severina, pelo incentivo, dedicação e amor.

Aos meus irmãos Eraldo, José Everaldo e Silvana.

Aos meus sobrinhos Melissa, Tatiele e Vinícius.

“... um semeador saiu a semear. E, semeando, parte da semente caiu ao longo do caminho; os pássaros vieram e comeram. Outra parte caiu em solo pedregoso, onde não havia muita terra, e nasceu logo, porque a terra era pouco profunda. Logo, porém, que o sol nasceu, queimou-se, por falta de raízes. Outras sementes caíram entre os espinhos: os espinhos cresceram e as sufocaram. Outras, enfim, caíram em terra boa: deram frutos, cem por um, sessenta por um, trinta por um...”

MAT. 13, 1 - 17

AGRADECIMENTOS

A Deus, por nunca ter me abandonado.

À Universidade Federal de Lavras pela oferta do curso.

À CAPES (Coordenadoria de Aperfeiçoamento de Pessoal de Ensino Superior) pela concessão da bolsa.

À FAPEMIG e EMBRAPA/PNP&D CAFÉ pelo financiamento parcial do projeto.

Aos meus pais e meus irmãos pelo carinho, apoio e incentivo.

A Gislene pela sincera compreensão e amor.

Aos meus primos Leonardo, Catarina, Jailson e demais familiares pelo apoio dado durante o curso.

A Graça, minha cunhada, pelo incentivo.

À Profª Teresinha Rocha pelos primeiros ensinamentos na escola.

À Profª Lady Mary pela orientação na minha iniciação científica.

Ao Prof. Dr. Luiz Edson Mota de Oliveira pelos ensinamentos e orientação durante o curso de Mestrado.

Aos professores Nelson Delú Filho e Ângela Maria Soares pelas sugestões e colaborações neste trabalho.

Aos meus colegas de turma do mestrado: Gabriela, Juliana, Sandra, Cláudio e Darlan pelo companheirismo e união.

Aos demais colegas: Alessandro, Ana Hortência, Artiaga, Aurélio, Breno, Cíntia, Clara, Cláudia, Daniela, Edna, Elisana, Fabiano, Gustavo, Leandro, Luciano, Lucinea, Marco Antônio, Raírys, Raniere, Roberto, Rúbia, Rupert, Sabrina, Sílvia, Sílvia Mara e Vânia, pela saudável convivência.

Ao Prof. Evaristo e aos estudantes de iniciação científica Carlos Vinício, Érico, Nicolau e João Paulo pela contribuição nos estudos anatômicos e, em especial, a Giandré pela ajuda em todas as etapas deste trabalho.

Aos amigos de república, Deoclecio, Divino, Jorge, Nelson Sá e Patrício pela sincera amizade e companheirismo durante a realização do curso.

Aos funcionários do Setor de Fisiologia Vegetal, Evaristo, Izonel, Joel, Lena, Odorêncio e Tanhan, pelo suporte técnico dado ao trabalho.

Aos funcionários da Fazenda Experimental do Ministério da Agricultura de Varginha, Ivo, Guilherme e Leonardo pela contribuição nas atividades de campo.

BIOGRAFIA

ERIVALDO ALVES DO NASCIMENTO, filho de Heleno Medeiros do Nascimento e Severina Alves do Nascimento, nasceu em 15 de junho de 1973, em Pedra - PE. Iniciou o curso de Técnico em Agropecuária na Escola Agrotécnica Federal de Belo Jardim – PE, em 1991, concluindo-o em 1993. Em setembro de 1994, iniciou o curso de Engenharia Agrônômica na Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), graduando-se em março de 2000. Neste mesmo mês iniciou o curso de Mestrado em Agronomia/Fisiologia Vegetal na Universidade Federal de Lavras – MG (UFLA), concluindo-o em fevereiro de 2002.

SUMÁRIO

RESUMO.....	i
ABSTRACT.....	ii
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REFERENCIAL TEÓRICO.....	3
2.1 Consórcio.....	3
2.2 Sombreamento.....	5
2.3 Trocas gasosas.....	6
2.4 Estado hídrico da planta.....	10
2.5 Características morfoanatômicas em condições sombreadas	12
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	14
3.1 Época e localização do experimento.....	14
3.2 Material vegetal.....	15
3.3 Caracterização microclimática.....	16
3.4 Produção de borracha.....	17
3.5 Produção de café.....	18
3.6 Trocas gasosas.....	18
3.7 Fluorescência da clorofila.....	19
3.8 Potencial hídrico foliar	20
3.9 Anatomia foliar do cafeeiro em monocultivo e consorciado com seringueira.....	20
3.10 Análise estatística.....	21
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	21
4.1 Caracterização do ambiente.....	21
4.2 Produção de borracha.....	23
4.2.1 Produção de borracha e precipitação total mensal.....	23
4.2.2 Produção de borracha e características fisiológicas da seringueira.....	27
4.3 Variação diurna das características climáticas (DFFFA e DPV) e fisiológicas (fotossíntese líquida, condutância estomática, transpiração, temperatura foliar, eficiência fotossintética e eficiência fotoquímica do fotossistema II) do clone RRIM 600 em duas épocas distintas.....	35
4.4 Caracterização microclimática nos diferentes sistemas de cultivo do cafeeiro.....	39
4.5 Produção de café.....	46
4.6 Influência dos diferentes sistemas de cultivo na uniformidade da maturação dos frutos de café.....	48
4.7 Trocas gasosas e eficiência fotoquímica do fotossistema II no cafeeiro em monocultivo e consorciado com seringueira.....	49

4.8	Varição diurna das características fisiológicas do cafeeiro cultivar Mundo Novo em monocultivo e consorciado com seringueira em duas épocas distintas.....	56
4.9	Anatomia foliar do cafeeiro em monocultivo e consorciado com seringueira.....	61
5.	CONCLUSÕES.....	67
6.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	69

RESUMO

NASCIMENTO, Erivaldo Alves do. **Comportamento ecofisiológico e produção do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) e da seringueira (*Hevea brasiliensis* Arg. Muell) em diferentes sistemas de cultivo em Varginha - MG: UFLA, 2002. 76p. (Dissertação - Mestrado em Agronomia /Fisiologia Vegetal)***

O cultivo da seringueira em monocultivo ou consorciada com cafeeiro surge como alternativa promissora e uma opção para os cafeicultores. Porém, a produtividade de ambas as culturas é fortemente afetada pelas variações climáticas e pelo sistema de cultivo adotado. Nesse contexto, o objetivo deste trabalho foi avaliar os efeitos das variações dos fatores do clima e dos diferentes sistemas de cultivo sobre a produção de borracha e de café e também sobre as trocas gasosas, eficiência fotoquímica do PS II (Fv/Fm) e anatomia foliar do cafeeiro, em seringueiras e cafeeiros em diferentes sistemas de cultivo. Foram estudados cinco sistemas de cultivo que consistiram os tratamentos a seguir: seringueira em monocultivo (S), cafeeiro em monocultivo (C), três fileiras de cafeeiros entre fileiras duplas de seringueiras (SSCCSS), uma fileira de cafeeiros a cada fileira de seringueira (SCS) e três plantas de café a cada planta de seringueira na mesma fileira (SCSCS). A produção de borracha seca foi significativamente superior em "S", com as maiores médias nos meses de maior precipitação. As taxas fotossintéticas (A), condutância estomática (gs), transpiração (E), temperatura foliar e a razão Fv/Fm, avaliadas apenas em "S", foram maiores nos meses de maior precipitação. A produtividade do cafeeiro foi significativamente superior em "C", com maiores médias de frutos no estágio de maturação passa e menores médias no estágio cereja. As plantas dos sistemas "SSCCSS", "SCS" e "SCSCS" apresentaram os menores valores de A, gs, e E e maiores valores para a razão Fv/Fm. As plantas de café em "C" apresentaram médias superiores de espessura dos parênquimas paliçádico e lacunoso, limbo foliar, além de maior média de estômatos e células por mm² em relação aos demais sistemas de cultivo.

* Comitê Orientador: Prof. Dr. Luiz Edson Mota de Oliveira - UFLA (Orientador), Profa. Dra. Ângela Maria Soares - UFLA

ABSTRACT

NASCIMENTO, Erivaldo Alves do. **Ecophysiologic behavior of coffee and yield (*Coffea arabica* L.) and rubber trees (*Hevea brasiliensis* Arg. Muell) in different cultivation systems: UFLA, 2002. 76p. (Dissertation – Master in Agronomy - Plant Physiology)***

The culture of rubber tree in sole crop or rubber/coffee intercropping it appears as promising alternative and an option for the coffee planter, front to the constants variations of this product in the market. However the productivity of both cultures is strongly affects for the biophysical factors and for the system of adopted cultivation. In that context, the objective of this work was to evaluate the effects of different climatic conditions on the yield of dry rubber and of coffee and also on the gas exchanges and photochemical efficiency of the PS II (Fv/Fm) in both cultures in different cultivation systems. It was also evaluated the effect of the shading, provoked by the rubber trees, in the leaf anatomy of the coffee. For that, they were established five treatments: rubber in sole crop (S), coffee in sole crop (C), three coffee rows among double rows of rubber (SSCCSS), a coffee row to each rubber row (SCS) and three trees coffee to each rubber trees planted in the same row (SCSCS). The yield of dry rubber was higher significantly in S with the largest averages in the months of larger precipitation, in relation to the other systems. The photosynthetic rates (A), stomatal conductance (gs), transpiration (E), leaf temperature and relation Fv/Fm, just evaluated in S, they were larger in the months of larger precipitation, indicating strong influence of the climatic conditions on the yield of the rubber. The coffee productivity was higher significantly in C with larger averages of fruits in the passes maturation stadium and smaller averages in the cherry-colored stadium in relation to the other systems. The coffee plants of the systems SSCCSS, SCS and SCSCS presented reduced rates of A, gs, E and increase in the relationship Fv/Fm. The coffee plants in C presented averages significantly higher of thickness of the palisade parenchyma and spongy, leaf blade, besides adult estomata average and cells for mm² in relation to the systems SSCCSS, SCS and SCSCS.

* Guidance Committee: Prof. Dr. Luiz Edson Mota de Oliveira - UFLA (Major Professor), Profa. Dra. Ângela Maria Soares - UFLA

1 INTRODUÇÃO

A exploração da heveicultura fora da região amazônica, habitat natural da seringueira, tem se tornado uma atividade economicamente viável devido ao desenvolvimento de clones agronomicamente produtivos, mais resistentes às doenças e com alta capacidade de adaptação a grande número de padrões edafoclimáticos, como, por exemplo, PB 235, RRIM 600, IAN 3087, GT 1, RRIM 701, IAN 873, PR 255, IAC 15, IAN 3156. É com o objetivo de aumentar a oferta de borracha natural no Brasil, diminuindo os custos com a importação deste produto, que estes clones vêm sendo cultivados em diversos estados das regiões Centro - Oeste, Sul e Sudeste, em que a grande diversidade das características dos solos e, especialmente, do clima têm contribuído para o desenvolvimento de muitos estudos no sentido de avaliar os sistemas mais adequados para o cultivo da seringueira.

O estado de Minas Gerais apresenta-se com uma área superior a 3.000 ha já plantados, incluindo o Sul do Estado, Triângulo Mineiro, Zona da Mata, Alto do São Francisco e Rio Doce. E é nesta região que se encontra, também, instalada a cafeicultura nacional, apresentando vastas áreas em condições favoráveis de clima e solo e de grande potencial para a cultura do café e seringueira.

A exploração concomitante de ambas as culturas em uma mesma área, por meio de um sistema de cultivo adequado, contribuirá para uma maior proteção ao cafeeiro contra ventos frios, geadas e altas temperaturas, além de gerar novos empregos diretos e fixos no campo e agregar uma fonte de renda extra para os cafeicultores.

Trabalhos recentes têm sido conduzidos no sentido de encontrar o melhor sistema de cultivo de seringueira consorciada com outras culturas,

especialmente o café. Outros trabalhos têm se preocupado em avaliar a influência dos fatores edafoclimáticos sobre a produção de borracha natural e das culturas consorciadas com a seringueira. Maior ênfase tem sido dada à densidade de plantio no sistema consorciado, levando-se em consideração a influência da qualidade e quantidade da radiação interceptada pela superfície de cultivo sobre a produtividade das culturas consorciadas.

Além da radiação, outros fatores como disponibilidade de água no solo, fotossíntese, eficiência fotoquímica do fotossistema II (PSII), temperatura, precipitação, umidade relativa do ar e outros de caráter bioquímicos e anatômicos parecem influenciar diretamente a capacidade produtiva das culturas.

O presente trabalho teve como objetivo avaliar os efeitos das variações dos fatores do clima e dos diferentes sistemas de cultivo na anatomia foliar de plantas de café, na produção de borracha e de café, nas trocas gasosas e eficiência fotoquímica do PS II (F_v/F_m) em seringueiras e cafeeiros plantados a 16 anos, na região de Varginha – MG.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Consórcio

Entre as espécies de café, a de maior expressão econômica para as Américas é *Coffea arabica* L. por produzir o café mais apreciado por todos os países consumidores. A espécie é uma rubiácea que apresenta numerosas variedades e cultivares, oriunda da Etiópia, onde é cultivada em locais predominantemente sombreados nas regiões montanhosas ocidentais, entre 1.000 a 2.500 m de altitude, tendo sido introduzida no Brasil em 1727 (Miranda et al., 1999).

A seringueira (*Hevea brasiliensis* Muell. Arg.) é uma euforbiácea de origem amazônica com ocorrência e dispersão natural na Amazônia brasileira e países próximos, como Bolívia, Colômbia, Peru, Venezuela, Equador, Suriname e Guiana, mas que apresenta grande diversidade de clones comerciais. Tais clones podem ser perfeitamente cultivados em outras regiões do país em que há ampla diversidade das características edafoclimáticas (Lima, 1998; Pereira, 1992).

A produtividade das culturas é função da transformação da energia solar incidente sobre o dossel das plantas em produtos orgânicos, utilizando o processo fotossintético, bem como a alocação desses produtos nas diferentes partes da planta. Desta forma, a capacidade produtiva de uma cultura está diretamente relacionada à quantidade e qualidade da radiação que a superfície de cultivo consegue interceptar. A interceptação eficiente da radiação que incide sobre o dossel da cultura requer área foliar adequada e uniformemente distribuída (Schuch, 2001). No caso da seringueira, esta interceptação eficiente, que é de 80%, ocorre por volta dos quatro a cinco anos após o plantio. Durante este período, uma possibilidade seria consorciar a seringueira com outras

culturas de caráter temporário, como a bananeira (Rodrigo et al., 2001), ou de caráter permanente, como o cafeeiro (Freitas, 2000; Pereira et al., 1994). A partir dos cinco anos após o plantio consórcio deve ser feito com espécies culturais tolerante à sombra.

O consórcio das culturas da seringueira com o cafeeiro constitui uma modalidade do sistema tipo agrossilvicultural que tem sido definida e recomendada, principalmente para as regiões tropicais e subtropicais, especialmente quando existe algum fator edafoclimático como deficiência mineral e excesso de radiação ou biológico como agentes fitopagênicos não favorável à monocultura. Este consórcio também tem sido estudado e recomendado por apresentar vantagens para ambas as culturas em diversas regiões produtoras de borracha e café do Brasil (Fialho, 1982; Ribeiro et al., 1982; Sampaio et al., 1983; Matiello et al., 1985; Fernandes, 1986; Fancelli, 1986; Pereira, 1992; Pereira et al., 1994; Veneziano et al. 1994) e em outros países como Java (Dijkman, 1951).

Autores como Vandermeer (1989) e Tournebize & Sinoquet (1995) argumentam que o sistema em consórcio apresenta uma produção economicamente superior ao sistema de monocultivo. No entanto, Freitas (2000) constatou que a produção de café em sistema consorciado com seringueira foi menor que no monocultivo. Dentro do sistema consorciado, esta produção está diretamente relacionada com o espaçamento utilizado, sendo, portanto, superior no consórcio de cinco fileiras de plantas de café a cada fileira dupla de seringueira.

Segundo Freitas (2000), a produção de borracha e a circunferência do tronco das seringueiras não são influenciadas pelo sistema de cultivo. Lima (1998) e Oliveira (1999) constataram que a redução do crescimento do tronco de seringueira e da produção de borracha, especialmente durante o inverno no sul

de Minas Gerais, estão associados à redução do metabolismo da planta devido à queda das folhas nos meses mais frios.

Lima (1998) constatou que a maior produção de borracha do clone RRIM 600 ocorre em períodos de maiores precipitações e temperaturas médias (verão), quando o aumento da umidade relativa do ar e a disponibilidade de água no solo contribuem para uma melhor condição hídrica da planta, proporcionando um aumento no potencial de turgescência das células do tecido laticífero, permitindo maior fluxo de látex e contribuindo para um aumento na produção de borracha.

Sá (1991) atribui o aumento na produção de látex durante o verão à maiores taxas de fotossíntese favorecidas pela maior oferta de energia solar, de água e de folhas no dossel das seringueiras.

Maiores produções de látex têm sido obtidas sob condições de elevadas taxas de fotossíntese líquida e assimilação de CO₂, condutância estomática e transpiração, além de uma alta eficiência do uso da água (Lima, 1998). Já as maiores produções de café têm sido obtidas em plantio a pleno sol e em sistemas consorciados, utilizando espaçamentos maiores entre plantas, em que altas taxas fotossintéticas e menor déficit de pressão de vapor (DPV) têm sido verificados (Freitas, 2000; Ramalho et al., 1997).

2.2 Sombreamento

A produção de uma cultura no sistema consorciado depende, entre outros fatores, da latitude, estação, da espécie a ser consorciada, idade, arquitetura da copa, espaçamento e duração do sombreamento (Chirko et al., 1996). Uma outra característica importante a ser considerada no habitat sombreado são os “sunflecks” (feixes de luz solar) que penetram pelo dossel das plantas, atingindo as folhas sombreadas. Em ambiente densamente sombreado,

os feixes de luz solar podem influenciar a densidade de fluxo de fótons e induzir um aumento na taxa fotossintética das folhas sombreadas. Os “sunflecks” também desempenham papel importante no metabolismo do carbono das folhas inferiores em culturas adensadas que estão sombreadas pelas folhas superiores da planta (Abrams et al., 1995; Kappel & Flore, 1983).

Segundo Abrams et al. (1992) e Dias-Filho (1997), plantas de espécies florestais cultivadas a pleno sol apresentaram maior taxa de fotossíntese líquida em relação às plantas sombreadas. Entretanto, Layne & Flore (1993) observaram que plantas de *Prunus cerasus*, quando cultivadas a pleno sol, apresentaram redução na fotossíntese, condutância estomática e taxa de transpiração em relação às plantas sombreadas.

Turnbull (1991) e Ziegenhagen & Kausch (1995) argumentam que o desenvolvimento vegetal sob habitat sombreado, típico de copas densamente fechadas é induzido pelo processo de expansão celular, resultando em alongação da área foliar e do internódio, característica esta que tem-se mostrado como o principal efeito da baixa capacidade fotossintética e produção quântica neste ambiente.

2.3 Trocas gasosas

O cafeeiro, por apresentar saturação do processo fotossintético em níveis de irradiância variando entre 300 e 600 $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$, é considerado como uma planta de habitats sombreados, mas que pode ser perfeitamente cultivado a pleno sol por ser capaz de desenvolver características fisiológicas e anatômicas que permitem sua fotoaclimação sob altos níveis de irradiância (Freitas, 2000). O fato de o cafeeiro poder ser cultivado a pleno sol tem atraído a atenção de agricultores de todo o mundo devido à sua alta capacidade produtiva nessas condições (Ramalho et al., 1997).

A capacidade fotossintética de uma planta é controlada por fatores ambientais (radiação, concentração de CO₂, temperatura e déficit de pressão de vapor) e fisiológicos (estado hídrico, deficiência mineral, idade e estágio vegetativo) que envolvem mecanismos estomáticos e não estomáticos (Daudet & Tchamitchian, 1993).

A radiação é um fator ambiental que tem efeito direto sobre o processo fotossintético, podendo causar, quando em altos níveis, a fotoinibição (Daudet & Tchamitchian, 1993) ou induzir a fotoaclimatação (Ramalho et al., 1997). A fotoinibição é considerada um efeito negativo por provocar a redução do processo fotossintético devido a danos irreversíveis no fotossistema II. Esta fotoinibição é resultado de uma redução na fluorescência variável (Fv) e um aumento da fluorescência máxima (Fm) da clorofila, acarretando uma redução na eficiência fotoquímica do fotossistema II (Layne & Flore, 1993). Segundo esses mesmos autores, a fotoinibição é um fenômeno comum em plantas cultivadas a pleno sol, nas quais os altos níveis de radiação são frequentes, podendo ocorrer com o cafeeiro quando exposto a altas incidências de luz (Ramalho et al., 1997). O aumento na relação Fv/Fm com o decréscimo da disponibilidade de luz sugere um aumento da produção quântica das plantas sombreadas, permitindo maior eficiência na transferência de energia ao fotossistema II a partir luz capturada pela molécula de clorofila (Groninger et al., 1996).

A fotoaclimatação é uma característica desenvolvida por algumas espécies, em longo prazo, em resposta à variação dos níveis de radiação que atinge o dossel das plantas. A fotoaclimatação requer um ajustamento das reações fotossintéticas dependentes e independentes da luz. Porém, quando este ajustamento é insuficiente, a fotoinibição pode ocorrer como um resultado do acúmulo de moléculas excitadas na camada de pigmentos (Ramalho et al., 1997).

Segundo Boardman (1977) e Ashton et al. (1992), por causa da alta temperatura e radiação fotossinteticamente ativa, espécies de sol apresentam alta taxa de absorção de CO₂, alto ponto de compensação de luz, alta taxa de respiração e transpiração. Nestas espécies a absorção de CO₂ pode variar de 16 – 36 mg de CO₂ dm⁻² h⁻¹, enquanto, nas plantas de habitat sombreado, este valor varia apenas de 2 – 5 mg de CO₂ dm⁻² h⁻¹. Ainda segundo Boardman (1977), a curva de absorção de CO₂ em *Alocasia* e *Cordyline*, espécies de sombra, está diretamente relacionada com os feixes de luz que penetram através da copa, atingindo as folhas sombreadas. Para outras espécies de sombra, Corre (1983) verificou que a baixa taxa de transpiração e o aumento na resistência de difusão de CO₂ das folhas devido ao decréscimo no número e tamanho dos estômatos.

O movimento estomático é o meio pelo qual a planta controla a perda de vapor de água e o balanço energético entre si e o ambiente. Entre os fatores ambientais que influenciam o comportamento estomático, a radiação solar, disponibilidade de água no solo, déficit de pressão de vapor da atmosfera e temperatura são os mais importantes (Winkel & Rambal, 1990; Brunini & Cardoso, 1998). Os estômatos, inicialmente, respondem diretamente à alta intensidade luminosa, aumentando a concentração de solutos nas células-guarda e, conseqüentemente, a abertura estomática. Eles respondem também à concentração interna de CO₂ e, neste caso, há uma relação negativa, pois a alta concentração de CO₂ causa efluxo de solutos das células-guarda, provocando o fechamento estomático. Os estômatos também respondem à perda de água pela folha, fechando-se sob altas taxas de transpiração e baixa umidade. Sob condições de estresse hídrico e de alguns outros estresses ambientais, há fechamento estomático, induzido pela síntese de ácido abscísico (ABA) (Mott & Buckley, 2000).

A abertura estomática geralmente é favorecida com o aumento da radiação. Entretanto, períodos prolongados de alta radiação podem causar

decréscimos no potencial hídrico foliar, na condutância estomática e na transpiração devido ao fechamento estomático, normal em condições de estresse (Ellsworth & Reich, 1992; Will & Teskey, 1999).

O déficit hídrico no solo e/ou altas taxas transpiratórias, na maioria dos casos, provocam reduções no teor de água das folhas, levando as mesmas a apresentarem diferentes respostas, como fechamento estomático, reduzindo, conseqüentemente, a fotossíntese; outras desenvolvem outros mecanismos adaptativos para suportar as alterações na turgescência por meio de osmorreguladores; e há ainda aquelas que podem responder por vários outros mecanismos como senescência foliar (Corrêa et al., 1987).

Há evidências de que taxas elevadas de transpiração podem ocorrer em detrimento de um aumento no déficit de pressão de vapor, condutância estomática e radiação fotossinteticamente ativa incidente (Winkel & Rambal, 1990).

Os extremos da temperatura, alta ou baixa, dependendo da intensidade e da duração, impedem as atividades metabólicas, o crescimento e a viabilidade da planta, pois estes extremos podem danificar repentinamente as estruturas e as funções celulares. No caso do aparelho fotossintético, quando os valores críticos de temperatura são ultrapassados, as membranas dos cloroplastos podem sofrer danos irreversíveis, dependendo da espécie vegetal. No entanto, a fotossíntese ocorre dentro de uma faixa térmica ótima que varia de acordo com a espécie vegetal. Para as espécies C_3 , esta faixa fica em torno de 15 a 30° C, e para espécies C_4 , entre 25 e 40° C. No entanto, temperaturas superiores a estas podem elevar a temperatura foliar, acarretando senescência foliar acelerada e provocando reduções na taxa fotossintética líquida devido à baixa concentração de clorofila e a variações na relação clorofila a:b (Reynolds et al., 2000; Daudet & Tchamitchian, 1993).

A temperatura foliar elevada, devido à alta insolação, juntamente com o alto déficit de pressão de vapor (DPV) podem reduzir a fotossíntese através do fechamento estomático, acarretando em um aumento da resistência difusiva à entrada de CO₂ (Sheriff & Mattay, 1995; Abrams et al., 1992). No entanto, Miranda et al. (1999) verificaram que as altas temperaturas, tidas como fator limitante para o cultivo do *Coffea arabica* L. na região amazônica, não interferiram no rendimento das plantas, uma vez que a produção de café a pleno sol foi nitidamente superior à produção das plantas mantidas em condições sombreadas. Embora Chirko et al. (1996) e Welander & Ottosson (2000) tenham verificado que, em condições de cultivo a pleno sol, a temperatura da superfície do solo se eleva frequentemente acima da faixa ótima, devido ao excesso de radiação, este aumento, quando combinado com baixa umidade do solo, acarreta em alta resistência estomática, troca de CO₂ reduzida, baixa fixação de CO₂ e alta taxa de transpiração foliar.

2.4 Estado hídrico da planta

O estado hídrico da planta é resultado da interação de vários fatores: demanda evaporativa da atmosfera, estado hídrico do solo, densidade de plantio, sistema de cultivo e processos fisiológicos (Silva, 1999; Abrams et al., 1992). Processos fisiológicos como crescimento celular e fotossíntese, bem como produtividade, são fortemente influenciados pelo potencial hídrico e seus componentes. O potencial hídrico tem sido utilizado, na maioria dos casos, como o único parâmetro capaz de caracterizar, diretamente, o estado hídrico da planta, que também pode ser avaliado indiretamente por meio de avaliações de murcha, mudanças na coloração, enrolamento foliar, temperatura, espessura foliar, condutância estomática e taxa fotossintética (Silva, 1999).

Segundo Ellswort & Reich (1992), diferenças na disponibilidade de água no solo têm sido avaliadas a partir do potencial hídrico foliar de *Acer saccharum*, verificando-se que quanto maior o espaçamento da cultura, menor o potencial hídrico foliar, fato este atribuído à maior incidência de radiação e déficit de pressão vapor, concomitantemente com baixa fotossíntese líquida e condutância estomática.

Estudos realizados por Mendes et al. (2001) e Abrams et al. (1992) com espécies florestais revelaram que reduções no potencial hídrico foliar estão associadas à redução na disponibilidade de água no solo. Tanto o potencial hídrico ao amanhecer como o diurno apresentaram acentuada variação durante o período mais seco (verão), devido às restrições hídricas e ao aumento no déficit de pressão de vapor. Estes mesmos autores verificaram, também, que as plantas sombreadas sempre exibiram os maiores valores de potencial hídrico foliar e os menores valores de condutância estomática, como resultado de uma menor perda de água por transpiração e menores temperaturas. Para Rhodenbaugh & Pallardy (1993), a capacidade fotossintética em *Populus sp* pode atingir valores próximos de zero quando o potencial hídrico foliar é reduzido de $-1,0$ MPa a $-1,5$ MPa. Este mesmo comportamento foi observado em cafeeiros por Kumar & Tieszen (1976) e Matta et al. (1997), que verificaram redução na fotossíntese líquida em potencial hídrico foliar igual ou menor que -2 MPa.

A abertura estomática é inicialmente controlada para manter o estoque de água na planta e retardar o início do estresse hídrico, que levaria a limitações fotossintéticas, atribuídas ao efeito direto do estresse hídrico sobre as reações fotossintéticas no interior dos cloroplastos. O fechamento estomático no início de uma redução do potencial hídrico previne a planta de processos adversos como perda de água por transpiração e cavitação, além de controlar a taxa máxima do fluxo de água através do sistema hidráulico (Williams et al., 1996; Matta et al., 1997).

2.5 Características morfoanatômicas em condições sombreadas

Vários estudos conduzidos ao longo do tempo têm mostrado que as plantas de habitats sombreados são incapazes de atingir altas taxas fotossintéticas, mas são capazes de utilizar eficientemente a baixa intensidade de luz disponível no ambiente. Entretanto, apesar da alta eficiência na utilização da luz pelas plantas extremamente sombreadas, elas apresentam taxa fotossintética média e produção média de matéria seca muito abaixo das espécies de sol, devido à baixa intensidade de luz (Boardman, 1977).

A radiação que atinge o interior de um ambiente completamente sombreado por copas muito densas é proveniente, na maioria dos casos, dos feixes de luz que penetram por pequenas aberturas da copa, atingindo as folhas sombreadas. Esta radiação, que em alguns habitats sombreados constitui 60% da radiação fotossinteticamente ativa, varia em qualidade e quantidade e esta variação pode afetar o desenvolvimento, estrutura e função da folha, acarretando modificações no tamanho e na espessura das lâminas foliares (Lee et al., 2000; Boardman, 1977).

A principal adaptação à baixa intensidade de luz é a formação de lâminas foliares delgadas com alto conteúdo de água, resultante do processo de expansão e alongação da área foliar, comum em ambiente sombreado. Outra adaptação de grande importância é o decréscimo do sistema radicular, resultante de uma variação na capacidade competitiva das raízes e parte aérea por energia, água e nutrientes, levando ao equilíbrio funcional. Entretanto, uma classificação de plantas em espécies de sol ou de sombra não deve ser feita apenas com base nas características fisiológicas e anatômicas. As plantas são classificadas em espécies de sol ou de sombra dependendo da sua adaptabilidade à intensidade de luz disponível. Esta adaptabilidade é uma característica hereditária, sendo

determinada pelo genótipo, e resulta da adaptação genética ao ambiente natural. Portanto, as variações nas respostas das plantas a diferentes ambientes não podem ser explicadas apenas pelas influências dos fatores ambientais, uma vez que a variação genética exerce um importante papel nas respostas das plantas ao ambiente (Ziegenhagen et al., 1995; Boardman, 1977; Corré, 1983).

O nível de radiação pode afetar as características morfológicas, anatômicas e fisiológicas da folha, interferindo diretamente sobre espessura e tamanho das folhas, estrutura dos cloroplastos e componentes do processo fotossintético. As plantas, quando cultivadas a pleno sol, apresentam folhas bastante espessas devido ao desenvolvimento dos parênquimas paliçádico e lacunoso, induzido pela alta intensidade de luz, acarretando um aumento da área do mesofilo e uma maior condutância do mesofilo à difusão do CO₂ e fixação de carbono. Sob estas condições, têm-se observado, também, alta densidade de estômatos e alta condutância estomática. As plantas de habitat naturalmente sombreadas têm se caracterizado por apresentarem folhas maiores e delgadas com cloroplastos maiores e mais ricos em clorofilas, sendo maior o conteúdo de clorofila *b*, além de menor área foliar específica e menor o peso seco por área (Abrams et al., 1994; Boardman, 1977; Lee et al., 2000; Cui et al., 1991).

Trabalhos realizados com *Alocasia*, *Cordyline* e *Lomandra*, espécies de habitat sombreado, mostraram que as células do mesofilo adjacente à superfície superior da folha apresentaram grande número de cloroplastos, ao passo que, nas células adjacentes à superfície inferior, estas se apresentaram em pequena quantidade, além de terem parede celular e epiderme delgadas, com grandes espaços intercelulares (Boardman, 1977).

A espessura das lâminas foliares varia com a altura e grau de exposição ao sol, enquanto a área foliar decresce. A densidade estomática também aumenta de acordo com o grau de exposição ao sol (Klich, 2000). Portanto, as características anatômicas da folha são um importante fator na determinação de

respostas fisiológicas, e por conta disso, vários estudos têm sido conduzidos, ao longo do tempo, com o intuito de avaliar a relação entre trocas gasosas e estrutura foliar em uma ou mais espécies, considerando apenas um único parâmetro, a estrutura foliar. Características fisiológicas como condutância estomática e/ou fotossíntese líquida podem variar com a área foliar, densidade estomática, espessura de folha, massa foliar por área e comprimento das células-guarda. Além do mais, a estrutura foliar é considerada um forte indicador da disponibilidade de água e luz no ambiente (Abrams et al., 1994; Patton et al., 1989).

As características anatômicas foliares, particularmente densidade estomática, forma e tamanho dos espaços intercelulares do mesófilo, afetam a resistência no processo de trocas gasosas e podem limitar a assimilação de CO₂ devido à sua influência direta sobre o processo de absorção de CO₂. A anatomia foliar também afeta a absorção de luz pelos pigmentos, principalmente as clorofilas *a* e *b*. A absorção de luz por outros pigmentos, incluindo os carotenóides e flavonóides (como antocianinas), também é influenciada pelas características anatômicas. O conteúdo e distribuição destes pigmentos, influenciados pela anatomia, determinam a eficiência da absorção da radiação pelas folhas e a sua influência no processo fotossintético (Lee et al., 2000).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Época e localização do experimento

Este trabalho foi conduzido de fevereiro a novembro de 2001, em condições de campo, na fazenda experimental do Ministério da Agricultura, localizada no município de Varginha – MG, a 864 m de altitude, latitude 21° 33’

10°S e longitude 46° 26' 20"W GRW. O clima da região caracteriza-se por apresentar duas estações bem definidas: seca, de abril a setembro, e chuvosa, de outubro a março.

3.2 Material vegetal

As avaliações foram realizadas em plantas de café (*Coffea arabica* L. cultivar Mundo Novo) e seringueiras (*Hevea brasiliensis* Muell Arg. clone RRIM 600) ambas plantadas há 16 anos, em diferentes sistemas de cultivo, e até então nunca avaliadas. A implantação destes sistemas, inicialmente, teve como objetivo avaliar a viabilidade econômica da consorciação da cultura da seringueira com a cultura do cafeeiro. O experimento foi composto por cinco tratamentos: monocultivo de seringueira (S) e monocultivo de café (C), uma fileira de cafeeiros a cada fileira de seringueira (SCS) e três fileiras de cafeeiros a cada fileira dupla de seringueira (SSCCSS). O quinto tratamento foi constituído pelos cafeeiros conduzidos entre plantas de seringueira na mesma fileira, no sistema "SCS", em que três plantas de café foram plantadas a cada planta de seringueira (SCCCS); desta forma, os cafeeiros dos sistemas "SCS" e "SCSCS" foram consorciados com a mesma seringueira (Figura 1). O espaçamento utilizado para o cafeeiro em monocultivo foi de 3 m x 1 m e, para a seringueira em monocultivo, 3 m x 6 m, totalizando uma densidade de 3.333 e 555 plantas de café e seringueiras, respectivamente. No sistema "SSCCSS" os espaçamentos utilizados foram 3 m x 1 m para o cafeeiro e 12 m x 3m x 3m para a seringueira no sistema "SSCCSS", com uma densidade total de 3.555 plantas por hectare. Nos sistemas

“SCS” e “SCSCS” o espaçamento foi 6 m x 1m e 6 m x 3 m para as plantas de café e seringueira, respectivamente. Em ambos os sistemas a densidade total de plantio foi de 2.221 plantas por hectare.

S	C	SSCCSS	SCSCS	SCS
* * * *	*****	* * * * * * * *	* * * * * * * *	* * * * * * * *
* * * *	*****	* * * * * * * *	*****	*****
* * * *	*****	*****	* * * * * * * *	* * * * * * * *
* * * *	*****	*****	*****	*****
* * * *	*****	* * * * * * * *	* * * * * * * *	* * * * * * * *
* * * *	*****	* * * * * * * *	*****	*****
* * * *	*****	* * * * * * * *	* * * * * * * *	*****



Figura 1: Esquema representativo dos diferentes sistemas de cultivo de cafeeiros e seringueiras (16 anos após o plantio). Cafeeiros (*) e seringueiras (♣). Plantas avaliadas (* , ♣)

3.3 Caracterização microclimática

O microclima foi caracterizado, nos diferentes sistemas de cultivo do cafeeiro, em monocultivo e consorciado com seringueira, com a utilização de

um Datalogger-LI-COR (LI 1400) ao qual foram conectados sensores para caracterização da radiação global, temperatura do solo e do ar e umidade relativa. Tais sensores foram posicionados na altura do terço superior das plantas de café em todos os sistemas. As avaliações foram realizadas em dias típicos (sem nuvens), nos dias 14, 15 e 16 do mês de junho e 25, 26 e 27 do mês de outubro. Os valores instantâneos de cada variável foram registrados a cada 30 minutos, no período de 07:00h às 16:00h (horário solar).

3.4 Produção de borracha

Os painéis para sangria do látex em plantas de seringueira, que até então nunca tinham sido submetidas ao processo de sangria, foram abertos em janeiro de 2000, em todas as árvores da área experimental, mas apenas 6 plantas por tratamento foram selecionadas para avaliar a produção. O sistema de sangria adotado foi o de meia espiral (1/2S), numa inclinação de 35°, e duas sangrias por semana, espaçadas de 3 a 4 dias (d/3 e d/4), realizadas a 1,20 m da superfície do solo. Durante todo o período experimental não se utilizaram estimulantes para aumentar o fluxo de látex, pois esta é uma atividade que deve ser realizada apenas a partir do segundo ano de produção.

No geral, as sangrias foram iniciadas às 07:00h e o látex coletado no dia seguinte. Após cada sangria, adicionaram-se 2 ml de ácido acético diluído (vinagre) no látex para acelerar o processo de coagulação. O látex coagulado foi coletado e submetido à secagem em estufa a 70° C até atingir peso constante e posteriormente pesado, sendo os dados de produção apresentados em gramas de borracha seca por planta por sangria ($\text{g bs.planta}^{-1}.\text{sangria}^{-1}$) e em toneladas de borracha seca por hectare por ano ($\text{t bs.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$).

Os dados de produção de borracha seca foram obtidos a partir da média de oito sangrias mensais, realizadas nos meses de Fev, Abr, Mai, Jun, Jul, Out e

Nov. No mês de março não foi possível realizar a sangria devido à precipitação que ocorreu e acabou comprometendo a coleta de látex. Nos meses de agosto e setembro a sangria foi suspensa devido ao desfolhamento das plantas.

3.5 Produção de café

A colheita do café foi realizada nos primeiros dias do mês de agosto de 2001 por meio da derrixa manual. Os dados de produção foram obtidos a partir da média de trinta plantas por tratamento, sendo apresentados em litros de café por planta e sacas por hectare. Imediatamente após a colheita, foram coletados 15 litros de café por tratamento para proceder as avaliações da interferência do sombreamento na uniformidade de maturação dos frutos. Foram retiradas quatro amostras de 250 ml dos 15 litros e feita a contagem dos seguintes tipos de frutos: verde, verde-cana, cereja e passa.

3.6 Trocas gasosas

Ao longo do período experimental, foram avaliadas as seguintes características: densidade de fluxo de fótons fotossinteticamente ativos (DFFFA), taxa fotossintética líquida (A), condutância estomática (gs), transpiração (E), temperatura foliar, além da temperatura da câmara e umidade relativa da câmara, utilizadas para cálculos do déficit de pressão de vapor (DPV). As avaliações foram realizadas nas seguintes datas: 07/03, 25/04, 14/06, 06/07, 18/09, 25/10, 22/11, em folhas completamente expandidas do terceiro ou quarto par de folhas no cafeeiro e no folíolo central da folha de seringueira em estágio D de desenvolvimento, localizadas no terço inferior da copa e totalmente exposta à radiação, obedecendo ao sentido Leste-Oeste. Para estas avaliações,

utilizou-se o analisador de gás infravermelho (IRGA), sistema aberto, portátil, modelo ADC-LCA-4 (Hoddesdon, UK). No geral, as avaliações foram realizadas às 09:00h e 12:00h (horário solar), utilizando quatro plantas por tratamento, e às 15:00h para a avaliação da variação diurna do processo fotossintético.

Durante a condução deste trabalho foram realizadas avaliações das seguintes características: produção borracha seca, fotossíntese líquida (A), transpiração (E), condutância estomática (gs), densidade do fluxo de fótons fotossinteticamente ativa (DFFFA), déficit de pressão de vapor (DPV), potencial hídrico filar (Ψ_f) eficiência fotoquímica (Fv/Fm) e temperatura foliar (T_f). Estas características foram avaliadas apenas nas seringueiras do monocultivo, e por isso, o sistema de consócio não será considerado nestas análises.

3.7 Fluorescência da clorofila

A eficiência fotoquímica do fotossistema II (PSII) foi avaliada utilizando o fluorômetro PEA (Plant Efficiency Analyser, Hansatech, King's Lynn, Nor Kflok, UK). As folhas avaliadas foram as mesmas utilizadas nas avaliações das trocas gasosas. Porém, antes das avaliações, as folhas foram adaptadas ao escuro por 30 minutos com o auxílio dos cliques foliares. Foram realizadas as avaliações da fluorescência inicial (F_0), fluorescência máxima (Fm) e fluorescência variável ($F_v = F_m - F_0$), sendo utilizada, para as análises de eficiência fotoquímica do PSII, apenas a relação Fv/Fm. As avaliações foram realizadas no horário utilizado para as trocas gasosas nas mesmas folhas.

3.8 Potencial hídrico foliar

O estado hídrico das plantas foi avaliado pelo potencial hídrico foliar (Ψ_f) utilizando a bomba de pressão (Scholander). O Ψ_f foi determinado ao amanhecer, próximo às 06:00h, e ao meio dia (horário solar), concomitantemente com as avaliações com IRGA e PEA, utilizando as mesmas plantas.

3.9 Anatomia foliar do cafeeiro em monocultivo e consorciado com seringueira

No final do experimento, foi retirado um total de 10 folhas completamente expandidas do terço superior das mesmas plantas utilizadas para as demais avaliações. Posteriormente, estas folhas foram fixadas em FAA-70 (formaldeído + ácido acético + álcool etílico 70%) por 24 horas e, em seguida, conservadas em álcool etílico 70% até o momento do corte.

Os cortes transversais foram efetuados a mão livre, com o auxílio de lâminas de barbear e inclusão do material em pecíolo de imbaúba, sendo estes submetidos à clarificação em solução de hipoclorito de sódio a 20% de produto comercial por um período de três a cinco minutos, seguido de três lavagens em água destilada, e posteriormente submetidos ao processo de coloração com safra-blau, uma mistura de 5% de safranina com 95% de azul de astra (Bukatsh, 1972). Os cortes foram montados em lâminas semipermanentes com água glicerinada.

Com relação à caracterização dos estômatos, foram feitos cortes paradérmicos manuais utilizando lâminas de barbear. Os cortes foram realizados na parte mediana das folhas, na epiderme da face abaxial e submetidos ao

processo de coloração com safranina a 0,1% em água glicerinada diretamente na lâmina. As observações foram realizadas com o auxílio de câmara clara, em microscópio Olympus CBB, segundo a técnica de Labouriau, Oliveira & Salgado-Labouriau (1961). Em cada região da lâmina foliar, foram observados 4 campos, totalizando 40 campos por tratamentos (10 folhas por tratamento).

3.10 Análises estatísticas

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado com sub-parcelas divididas no tempo. Os dados obtidos foram submetidos às análises de variâncias, sendo que as médias foram comparadas pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade, utilizando o programa estatístico SISVAR versão 4.3 (Ferreira, 2000).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Caracterização do ambiente

A Figura 2 mostra as variações dos fatores meteorológicos ocorridas durante o período de avaliação. Observa-se que os maiores valores de temperatura máxima do ar foram registrados durante o mês de fevereiro, ao passo que as temperaturas mais baixas foram registradas durante os meses de junho e julho (Figura 2A). Nestes dois meses também foram registradas as menores precipitações (Figura 2B), com apenas 0,4 mm em junho e 3,4 mm em julho contra 204,5 mm em novembro, que se caracterizou por ser o mês de maior precipitação durante o período experimental. Na Figura 2C, observa-se que nos

meses de maio e junho foram registrados os menores valores de radiação global. No entanto, o mês de fevereiro caracterizou-se como sendo o período de maior disponibilidade de radiação. Durante o mês de agosto a umidade relativa do ar atingiu o valor mais baixo (Figura 2D), o que pode ser atribuído à baixa precipitação nos meses junho, julho e agosto. No entanto, as altas precipitações ocorridas nos meses de março e novembro contribuíram para o aumento da umidade relativa do ar durante estes respectivos meses.

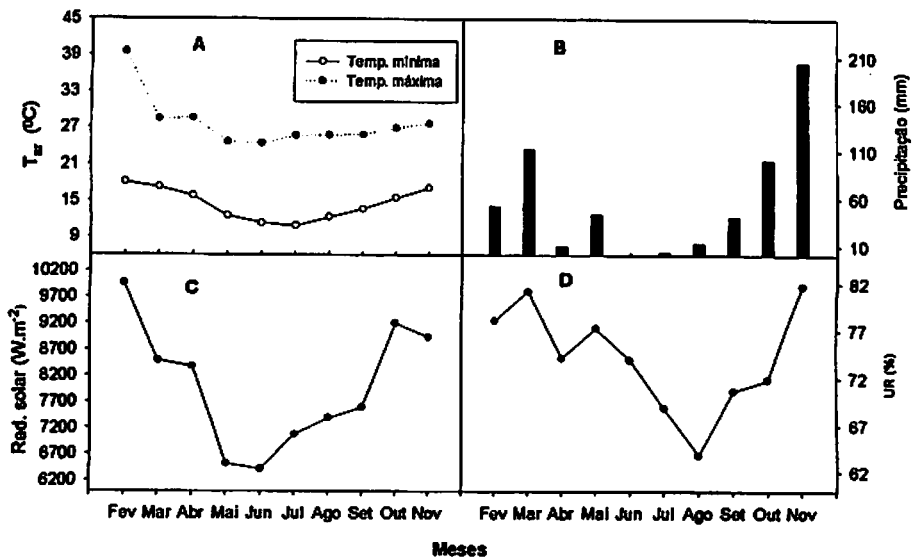


FIGURA 2: Média mensal das temperaturas máxima e mínima do ar (2A), total mensal da precipitação (2B) e total mensal da radiação global (2C) e média mensal da umidade relativa do ar (2D) durante o período experimental. Fonte: Estação Meteorológica da Fazenda Experimental do Ministério da Agricultura em Varginha-MG.

4.2 Produção de borracha seca

4.2.1 Produção de borracha e precipitação total mensal

Observa-se, na Figura 3A, que a média geral da produção de borracha foi significativamente superior no sistema em monocultivo (S), com uma média de 56,11 g bs.planta⁻¹.sangria⁻¹, enquanto a produção média nos sistemas de consócio com uma fileira de café a cada fileira de seringueira (SCS) e com três fileiras de café a cada fileira dupla de seringueira (SSCCSS) foi de 32,11 e 30,95 g bs.planta⁻¹.sangria⁻¹, respectivamente. Observa-se ainda, na Figura 3A, que houve grandes variações durante o período de seca embora, em todos os casos, a produção tenha sido significativamente superior no sistema "S", não havendo diferenças estatísticas entre os dois sistemas de consócio. Os dados da produção de borracha seca indicam que durante os meses de baixa precipitação e baixas temperaturas (maio, junho e julho) (Figura 3B) a produção de borracha foi significativamente inferior. Nos meses de maior precipitação e temperaturas elevadas (outubro e novembro) a produção apresentou diferenças significativas. Os dados do sistema "S" estão consideravelmente acima daqueles encontrados por Lima (1998) e semelhantes aos obtidos por Rao et al. (1998). Estas diferenças podem estar associadas às condições climáticas e/ou idade das plantas.

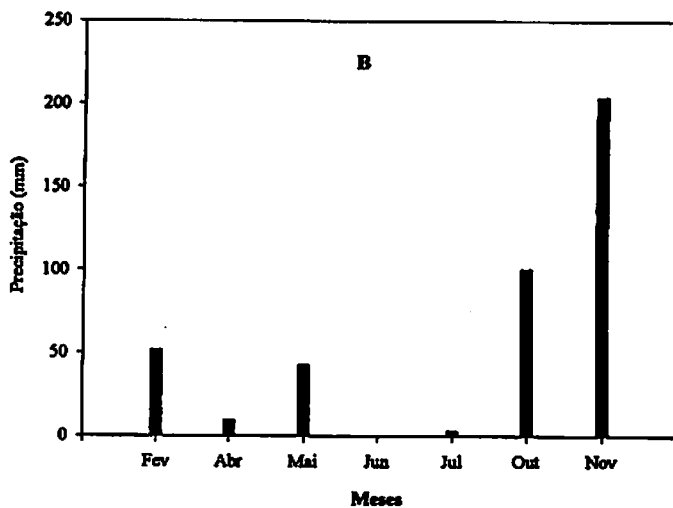
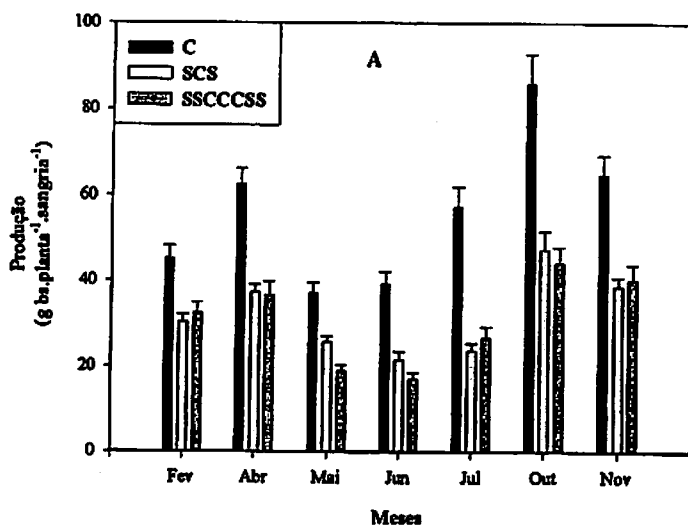


FIGURA 3: Produção de borracha seca do clone RRIM 600 em diferentes sistemas de cultivo (3A) e média mensal da precipitação (3B). Produção: média de 48 repetições. As barras indicam o erro padrão.

Observando as Figuras 2 e 3, constata-se que a produção de borracha é bastante influenciada pelas condições meteorológicas de radiação, precipitação, umidade relativa do ar e temperatura.

Quando os dados de produção de borracha seca foram transformados em produção por área (t/ha), observou-se que a produtividade das plantas no monocultivo de 3,11 t bs.ha⁻¹.ano⁻¹ foi significativamente superior aos sistemas “SCS” e “SSCCSS”, que apresentaram uma produtividade de 1,78 e 0,71 t bs.ha⁻¹.ano⁻¹, respectivamente. Por outro lado, o sistema “SCS” apresentou diferenças significativas de produtividade em relação ao consórcio “SSCCSS” (Figura 4). Resultados semelhantes foram anteriormente registrados por Gonçalves (1999), que verificou produtividade de 1,15, 1,90 e 3,13 t bs.ha⁻¹.ano⁻¹ utilizando os sistemas de 40, 70 e 140 sangrias/ano, respectivamente, no clone RRIM 600 aos cinco anos de produção na região de Presidente Prudente – SP.

Segundo Rao et al. (1998), o crescimento da seringueira ocorre uma vez ao ano, com o surgimento de novos ramos após a queda das folhas. Durante esse período, que ocorre entre a refofolamento e a maturidade dos novos ramos, quase todas as reservas de nutrientes são mobilizadas para o desenvolvimento das folhas jovens; com isso, poucas reservas serão utilizadas na síntese do látex, acarretando queda na produção de borracha ou até mesmo o comprometimento do crescimento. Por conta disso o processo de sangria foi suspenso durante os meses de agosto e setembro, período em ocorre o fenômeno. Ainda segundo Rao et al. (1998), neste processo as condições meteorológicas devem ser consideradas por afetarem a capacidade da seringueira de converter a luz em matéria seca. E neste caso, a radiação, por ser a fonte primária de energia, influencia diretamente a atividade fotossintética necessária para o crescimento e a produção de látex.

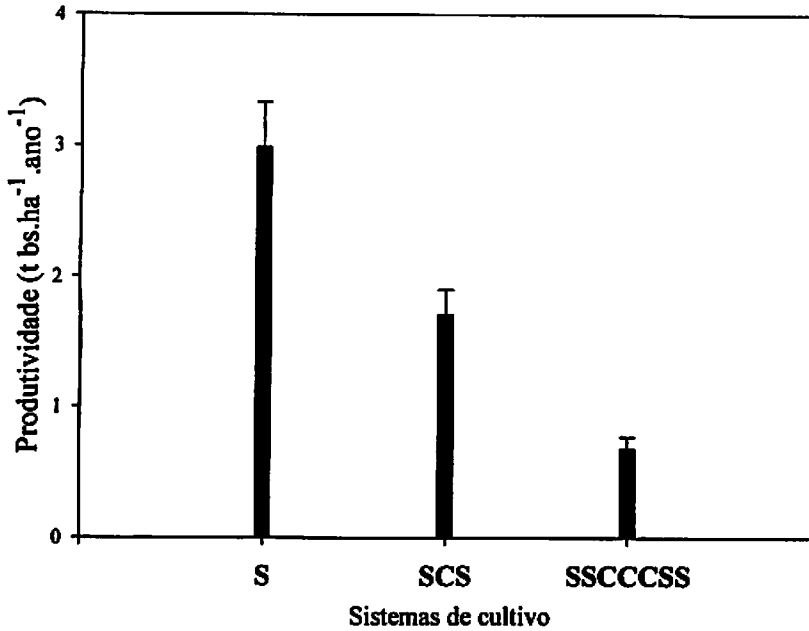


FIGURA 4: Produtividade média de borracha seca do clone RRIM 600 em diferentes sistemas de cultivo. As barras indicam o erro padrão.

De maneira geral observa-se que a produção de látex parece estar associada à radiação, precipitação e temperatura (Figuras 2 e 3A). Entretanto, períodos prolongados e intensos de seca e radiação solar associados a outros fatores climáticos, como baixa disponibilidade de água no solo, extremos de temperatura e DPV elevado, constituem fatores adversos à produção de borracha por afetarem negativamente a capacidade fotossintética das plantas e aumentarem a taxa de transpiração, diminuindo a quantidade de água necessária para o fluxo de látex. No entanto, durante o mês do novembro, observou-se redução na produção de borracha, apesar da elevada taxa de precipitação (Figura 3B). Segundo alguns autores (Rao et al., 1998; Jacob et al., 1989), esta redução na produção de látex pode estar associada a uma redução da radiação solar

durante o período chuvoso, resultando em baixas taxas fotossintéticas, ou ainda associada a uma diluição do látex, provocada por grandes volumes de chuvas, acarretando uma redução de 5-6% na produção. Nos meses de maio, junho e julho foram registrados os menores valores de temperatura e de produção de borracha seca, sendo que este comportamento corrobora aquele observado por Lima (1998) e Oliveira (1999). A seringueira, apesar de ser considerada uma espécie adaptada a temperaturas moderadas, é naturalmente afetada por temperaturas abaixo de 18°C e acima de 35°C (Rao et al., 1998). Temperaturas do ar de 18 a 24°C são consideradas ideais para o fluxo de látex e 27 – 33°C para o processo fotossintético (Shamgphu, 1986; Shuochang & Yangang, 1990; Zongdao & Xueqin, 1983). Temperatura do ar acima de 35°C promove o fechamento estomático, resultando em baixas taxas fotossintéticas e elevada transpiração (Rao et al., 1990). Segundo Pereira (1992) e Trindade (1982), a seringueira é mais produtiva em regiões com temperatura média anual igual ou superior a 20°C. No entanto, os valores mínimos de temperatura encontrados nos meses de junho e julho variaram entre 40 e 55% abaixo da temperatura considerada ideal para fluxo de látex.

4.2.2 Produção de borracha e características fisiológicas da seringueira

Observa-se, na Figura 5, que a menor produção média de borracha foi obtida nos meses de maio e junho, com 37,29 e 36,05 g bs.planta⁻¹.sangria⁻¹, respectivamente, e a produção média significativamente maior foi obtida no mês de outubro, seguida da produção dos meses de abril e novembro. Este comportamento produtivo também foi observado por Lima (1998) e por Oliveira (1999). Segundo estes autores e Rao et al., (1998), a variabilidade na produção

de borracha pode estar associada às variações dos fatores climáticos que influenciam o fluxo e a biossíntese do látex, como precipitação e temperatura.

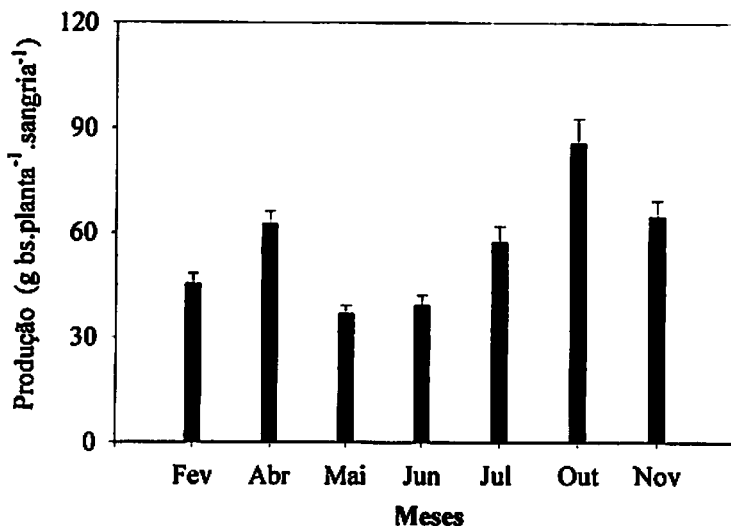


FIGURA 5: Variação média mensal da produção de borracha seca do clone RRIM 600 no sistema em monocultivo. As barras indicam o erro padrão.

Analisando a figura 6, observa-se que, no geral, houve diferenças significativas das características avaliadas entre os horários e meses de avaliação. A densidade de fluxo de fótons fotossinteticamente ativos (DFFFA) variou significativamente entre os horários e os meses de avaliação, variando entre $366 \mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$, em março, e $2.051 \mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$, em novembro, durante as avaliações realizadas às 09:00h (Figura 6A). Nas avaliações realizadas às 12:00h (Figura 5B), observaram-se variações significativas, com médias variando entre $1.489 \mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$, em setembro, e $2.088 \mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$, em novembro.

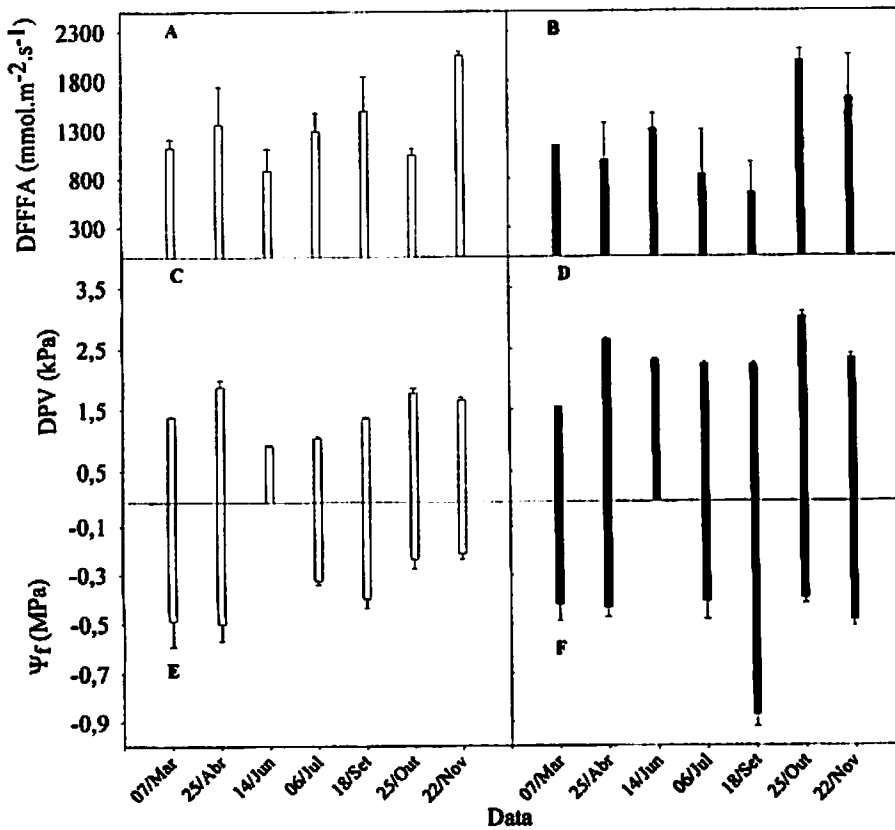


FIGURA 6: Densidade de fluxo de fótons fotossinteticamente ativos (DFFFA - Fig. 6A e 6B) e déficit de pressão de vapor (DPV - Fig. 6C e 6D), às 09:00h (□) e às 12:00h (■) e potencial hídrico foliar (ψ_f - Fig. 6E e 6F), às 06:00h (□) e às 12:00h (■) no clone RRIM 600. Cada ponto refere-se a a média de quatro repetições. As barras indicam o erro padrão.

Essa variação sazonal da radiação tem sido observada e relacionada, em outros trabalhos, com a produção de borracha e com outras características fisiológicas como fotossíntese, condutância estomática e transpiração, além de características climáticas como precipitação e déficit de pressão de vapor (DPV) (Rodrigo et

al., 2001; Lima, 1998; Rao et al., 1998). Entretanto, neste trabalho, os dados sugerem que não houve influência direta da radiação (DFFFA) sobre a produção de borracha. No entanto, a variabilidade na produção de borracha parece estar mais associada ao estado hídrico da planta, uma vez que foi verificada uma relação positiva entre o potencial hídrico foliar ao amanhecer e a produção de borracha (Figuras 5 e 6E).

Os valores médios de DPV (Figuras 6C e 6D) foram menores nos meses de junho e julho (0,8 e 0,9 kPa) e maiores em abril (2,0 kPa) nas avaliações realizadas às 09:00h. Às 12:00h, o valor mínimo (1,5 kPa) foi registrado no mês de março, e o máximo (3,0 kPa), em outubro (Figura 6). Segundo Rao et al., (1998), o aumento na radiação provoca aumento da temperatura, a qual, por sua vez, provoca aumento no DPV, influenciando indiretamente a regulação estomática e a transpiração, acarretando redução da turgescência dos vasos laticíferos e, conseqüentemente, do volume de látex escoado durante a sangria. No entanto, observa-se que, neste trabalho, as médias mais altas do DPV estão associadas aos meses mais chuvosos, o que pode ter impedido tais efeitos, uma vez que as maiores produções de borracha foram registradas nestes meses.

Analisando as Figuras 6E e 6F, observa-se que o potencial hídrico foliar ao amanhecer (06:00h) foi significativamente menor no mês de março em relação aos meses de outubro e novembro. Ao meio dia, apenas no mês de setembro foi observado potencial hídrico foliar significativamente menor que os outros meses. Resultados semelhantes foram obtidos por Oliveira (1999), segundo o qual o alto potencial hídrico foliar observado nos meses de maiores precipitações reflete uma maior disponibilidade de água no solo, que, associada a outros fatores climáticos (radiação solar, temperatura e umidade relativa do ar), influencia positivamente a pressão de turgescência das células dos tecidos laticíferos, aumentando o fluxo de látex e, conseqüentemente, a produção de borracha seca.

Verifica-se nas Figuras 7A e 7B que a taxa de fotossíntese líquida (A) foi maior às 9:00h nos meses de abril, outubro e novembro, os quais, por sua vez, foram os meses de maior produção de borracha, significativa apenas com relação aos valores obtidos em abril e setembro. O mesmo comportamento foi observado nas avaliações realizadas às 12:00h. No entanto, a taxa fotossintética líquida foi significativamente superior apenas no mês de abril, em relação aos meses de julho e setembro. Estes valores corroboram aqueles encontrados no clone RRIM 600 por Lima (1998), em trabalhos conduzidos em épocas semelhantes.

As variações na fotossíntese estão estritamente associadas com as variações na transpiração (E) (Figuras 7C e 7D) e condutância estomática (gs) (Figuras 7E e 7F). A transpiração foi significativamente superior apenas em abril, às 09:00 e 12:00h. A condutância estomática foi significativamente superior apenas em abril, às 9:00h. Às 12:00h não houve diferenças significativas, embora os maiores valores tenham sido registrados no momento de taxas de fotossíntese líquida significativas.

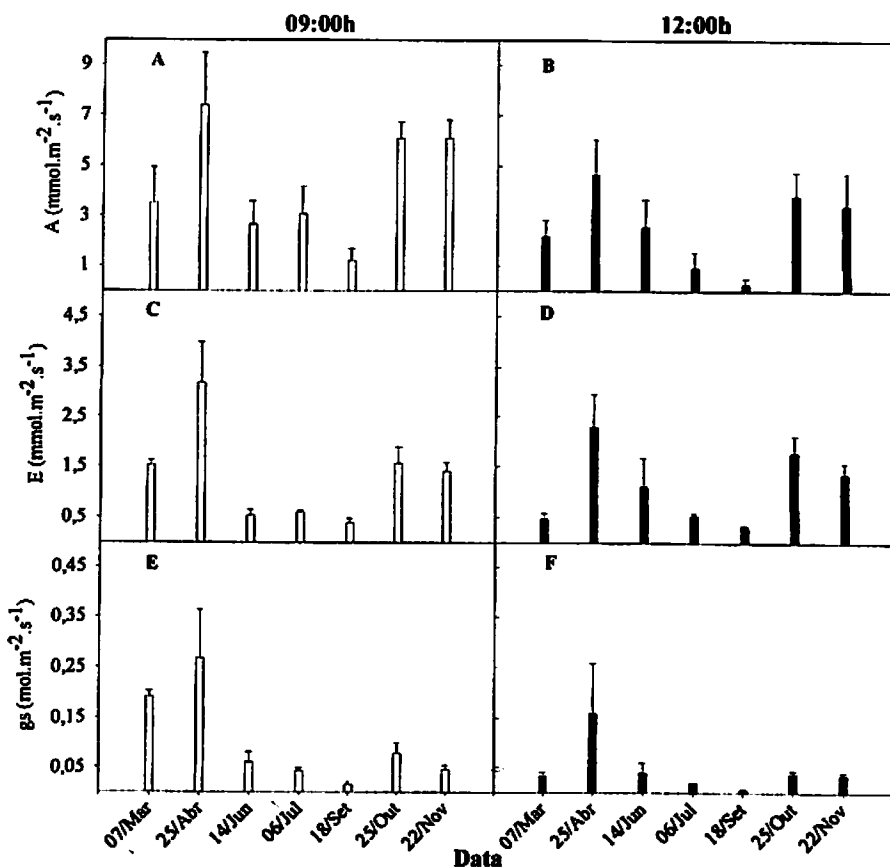


FIGURA 7: Fotossíntese líquida (A – 7A e 7B), transpiração (E – 7C e 7D) e condutância estomática (gs – 7E e 7F) no clone RRIM 600. Avaliações realizadas às 09:00h (□) e às 12:00h (■), considerando-se o horário solar. Cada ponto refere-se a média de quatro repetições. As barras indicam o erro padrão.

A eficiência fotoquímica do fotossistema II (Fv/Fm) não apresentou diferenças significativas entre os meses, bem como entre os horários de avaliação (Figura 8A e 8B), apesar de um leve declínio observado nas avaliações realizadas às 12:00h nos meses de junho, julho e setembro. Estes resultados indicando que não houve indicativo de estresse durante o período das avaliações.

Resultados semelhantes foram obtidos por Lima (1998) em plantas de seringueira do clone RRIM 600, onde este autor observou que a variação na relação F_v/F_m é resultante do decréscimo em F_m , sem quaisquer alterações em F_0 , uma vez que, mesmo sob o declínio da relação F_v/F_m , as taxas de fotossíntese não foram alteradas.

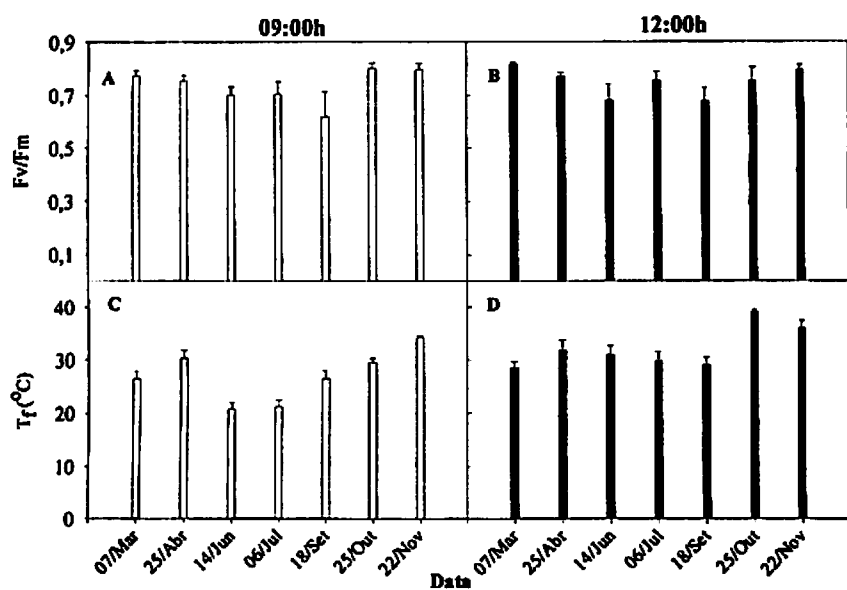


FIGURA 8: Eficiência fotoquímica do fotossistema II (F_v/F_m - 8A e 8B) e temperatura foliar (T_f - 8C e 8D) no clone RRIM 600. Avaliações realizadas às 09:00h (□) às 12:00h (■), considerando-se o horário solar. Cada ponto refere-se a média de quatro repetições. As barras indicam o erro padrão.

Observa-se ainda, na Figura 8, que ocorreram diferenças na temperatura foliar de acordo com o período e o horário de avaliação. Às 09:00h foram observadas diferenças significativamente inferiores nos meses de junho e julho

(Figura 8C). Nas avaliações realizadas às 12:00h, observou-se um comportamento diferente, ou seja, as temperaturas mais baixas foram registradas nos meses de abril, junho, julho e setembro (Figura 8D). Estas variações parecem estar relacionadas às condições microclimáticas do período de avaliação, uma vez que, durante os meses de baixa disponibilidade de água no solo e baixas temperaturas (junho e julho), os valores de temperatura foliar foram significativamente mais baixos que aqueles observados em fevereiro, outubro e novembro, quando condições microclimáticas de temperatura e precipitação foram elevadas. Resultados semelhantes foram obtidos por Cascardo (1991) em plantas jovens de seringueira do clone RRIM 600 submetidas a diferentes regimes hídricos. Este autor constatou que as plantas cultivadas sob baixa disponibilidade de água apresentaram baixas temperaturas foliares. Ainda segundo este autor, as diferenças de temperatura foliar na seringueira em relação a outras espécies, como, por exemplo, feijão, são menores, e isto pode ser atribuído a mecanismos característicos da espécie utilizados para dissipar o calor ou evitar a radiação excessiva, como a presença de cera epicuticular.

4.3. Variação diurna das características microclimáticas (DFFFA e DPV) e fisiológicas (fotossíntese líquida, condutância estomática, transpiração, temperatura foliar, eficiência fotossintética e eficiência fotoquímica do fotossistema II) do clone RRIM 600 em duas datas distintas

As avaliações das características microclimáticas e fisiológicas foram realizadas nos dias 06 de julho e 22 de novembro, cujas características meteorológicas estão apresentadas Tabela 1.

TABELA 1: Características meteorológicas dos dias de avaliação. Radiação solar (Rad. solar), precipitação (Precip.), temperatura máxima (Temp. max.) e mínima (Temp. mín) do ar, evapotranspiração (ET) e umidade relativa do ar (UR). Obtidas na Estação Meteorológica da Fazenda Experimental do Ministério da Agricultura em Varginha-MG.

Data	Rad. solar W.m ²	Temp. max. °C	Temp. mín. °C	Precip. mm	ET mm	UR %
06/07/01	6.843	26,6	9,9	0,0	2,5	57,0
22/11/01	10.100	28,0	16,9	0,0	3,3	77,1

A figura 9 apresenta as variações diurnas da fotossíntese líquida (A), condutância estomática (gs), transpiração (E), densidade do fluxo de fótons fotossinteticamente ativos (DFFFA), déficit de pressão de vapor (DPV) e temperatura foliar (T_f) em julho e novembro.

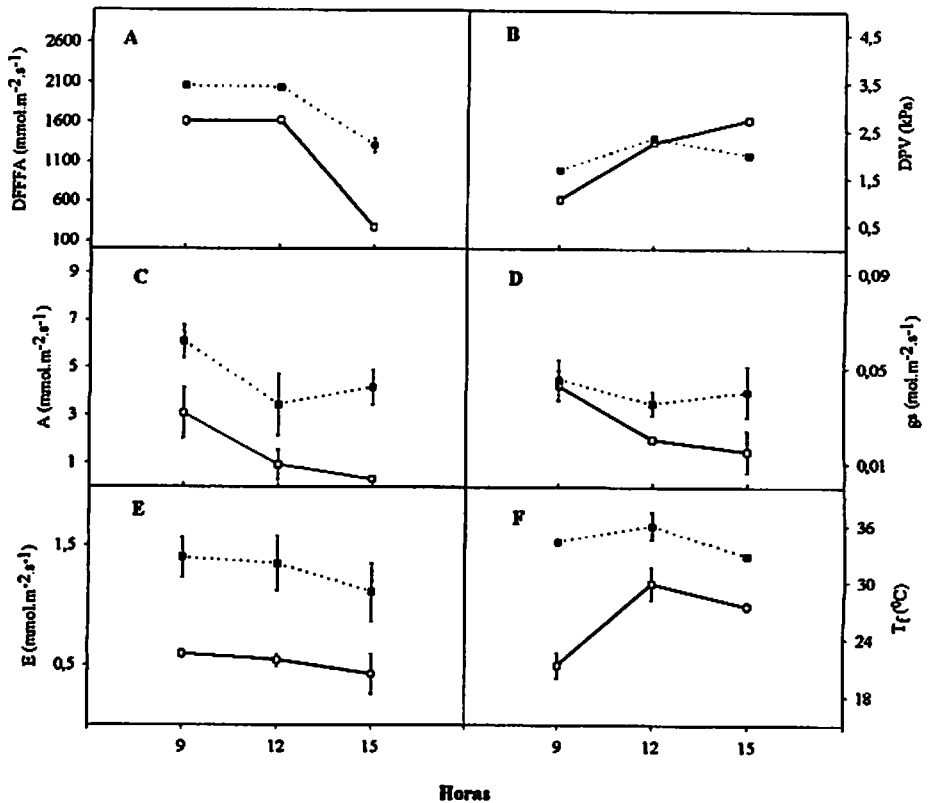


FIGURA 9: Variação diurna da densidade de fluxo de fótons fotossinteticamente ativa (DFFFA – 9A), déficit de pressão de vapor (DPV – 9B) fotossíntese líquida (A – 9C), condutância estomática (gs – 9D), e transpiração (E – 9E), e temperatura foliar (T_f – 9F) no clone RRIM 600, em 06/julho (□) e 22/novembro (■). Cada ponto refere-se a média de quatro repetições. As barras indicam o erro padrão.

No geral, a DFFFA média foi significativamente menor no mês de julho (Figura 9A). Considerando o horário de avaliação, observa-se que não houve

diferenças significativas entre as 09:00h e as 12:00h nos meses de julho e novembro, sendo o horário das 15:00h o de menor DFFFA. O DPV foi significativamente menor às 09:00h (1,0 kPa), em julho, e às 15:00h (1,9 kPa), em novembro. Às 12:00h não houve diferenças significativas entre os meses. Considerando o horário de avaliação, observa-se que, em julho, houve um aumento progressivo do DPV, que pode ser atribuído à menor frequência de chuvas e baixa umidade relativa do ar. Em novembro o DPV alcançou os maiores valores às 12:00h, com uma média de 2,3 kPa, declinando para 1,9 kPa às 15:00h (Figura 9B). Este declínio pode estar associado à redução da radiação e ao aumento da umidade relativa, decorrente das constantes precipitações. A baixa precipitação e aumento gradual do DPV podem ter contribuído para a diferença na produção de borracha entre julho e novembro. Segundo Devakumar et al. (1988) e Rao et al. (1990), a adequada disponibilidade de água no solo e os baixos valores de DPV são essenciais para manter a planta de seringueira em estado hídrico adequado.

Na Figura 9C, observa-se que a taxa de fotossíntese líquida (A) em novembro atingiu os maiores valores de assimilação de CO₂. Em, julho, observou-se uma redução progressiva da taxa de fotossíntese líquida, com médias variando entre 3,09 e 0,325 $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$. Neste trabalho, constatou-se que as maiores taxas de assimilação líquida de CO₂, nas duas épocas de avaliação, foram obtidas às 09:00h, não concordando com os resultados obtidos por Lima (1998), que trabalhando com o clone RRIM 600, constatou que a maior taxa de fotossíntese líquida (4,44 $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$) foi obtida às 12:00h, em avaliações realizadas em agosto. Em outras avaliações realizadas em dezembro, este autor observou a maior taxa (6,78 $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$) às 09:00h. Ainda segundo este autor, estas taxas fotossintéticas estão dentro faixa de valores encontrada em vários outros trabalhos com plantas jovens de seringueira.

Em geral as diferenças na condutância estomática (g_s) e transpiração (E) foram significativamente maiores em novembro (Figuras 9D e 9E). Os baixos valores de condutância estomática e transpiração verificados em julho parecem estar associados com a redução da taxa de assimilação líquida de CO_2 . Esta redução pode estar associada às baixas temperaturas registradas na época. Em trabalhos realizados com seringueiras, Zongdao & Xueqin (1983) verificaram que a temperatura considerada ótima para a atividade fotossintética desta espécie é de aproximadamente 27 – 33°C. No entanto, temperaturas acima de 35°C induzem o fechamento estomático, que resulta também em baixas taxas fotossintéticas e elevada respiração.

Foi verificado que as reduções na taxa de assimilação líquida de CO_2 e condutância estomática estão associadas ao aumento na temperatura foliar, indicando que a temperatura foliar é uma característica que está negativamente relacionada com a fotossíntese e a condutância estomática. Em novembro, observou-se que não ocorreram variações significativas entre os horários de avaliação, ao passo que, em julho, houve um aumento significativo entre os valores obtidos às 09:00h e às 12:00h. No geral, a temperatura foliar foi significativamente maior em novembro (Figura 9F).

Observando-se a Figura 10A, nota-se que, em ambas as épocas de avaliação, a eficiência de carboxilação (A/C_i) apresentou variações semelhantes àsquelas encontradas na fotossíntese líquida e condutância estomática, sugerindo limitações de natureza apenas estomáticas.

A eficiência fotoquímica do fotossistema II (F_v/F_m) não apresentou diferenças significativas ao longo do dia de avaliação (Figura 10B). Em novembro a relação F_v/F_m apresentou valor médio de 0,80; portanto, este valor encontra-se dentro da faixa de valores considerada ótima, que varia entre 0,80 e 0,83 (Lima, 1998). Em julho, apesar de a média ter sido de 0,79, foi verificado que, às 12:00h, o valor da relação F_v/F_m foi de 0,66. Esta redução na relação

Fv/Fm pode estar associada a uma fotoinibição reversível, uma vez que este valor é recuperado durante a tarde.

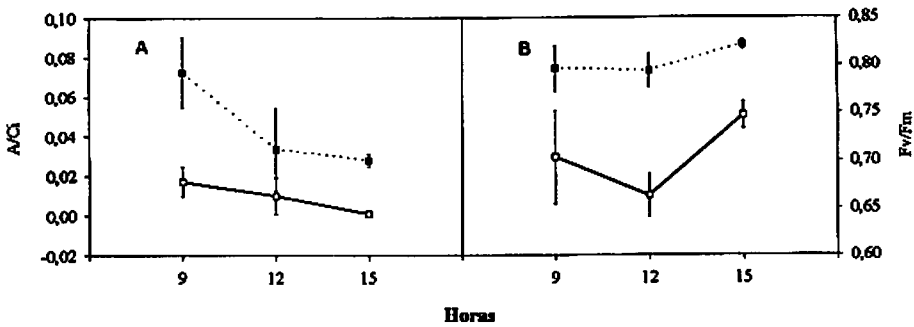


FIGURA 10: Variação diurna da eficiência fotossintética (A/Ci – 9A) e eficiência fotoquímica do fotossistema II (Fv/Fm – 9B) no clone RRIM 600, em 06/julho (□) e 22/novembro (■). Cada ponto refere-se a média de quatro repetições. As barras indicam o erro padrão.

Segundo Hideg & Murata (1997), a fotoinibição reversível se caracteriza por provocar danos reversíveis ao PSII sob baixa radiação, neste tipo de fotoinibição a energia é eficientemente dissipada na forma de calor e a proteína D1 danificada é totalmente substituída por uma recentemente sintetizada.

4.4 Caracterização microclimática nos diferentes sistemas de cultivo do cafeeiro

Caracterização do microclima nos diferentes sistemas de cultivo do cafeeiro foram realizadas nos dias 14, 15 e 16 de junho e nos dias 25,26 e 27 de

outubro, cujos dados diários de radiação e precipitação estão apresentados na tabela 2.

TABELA 2: Características meteorológicas dos dias de avaliação. Radiação solar (Rad. solar), precipitação (Precip.), temperatura máxima (Temp. max.) e mínima (Temp. mín) do ar, evapotranspiração (ET) e umidade relativa do ar (UR). Obtidas na Estação Meteorológica da Fazenda Experimental do Ministério da Agricultura em Varginha-MG.

Data	Rad. solar W.m⁻²	Temp. max. °C	Temp. mín. °C	Precip. mm	ET mm	UR %
14/junho	6.760	25	9,8	0,0	1,9	72,3
15/junho	5.529	25,1	10,8	0,0	1,6	69,1
16/junho	5.614	26,2	13	0,0	1,9	65,6
25/outubro	10.059	27,1	15,3	0,0	3,6	68,6
26/outubro	12.351	27,4	12,9	0,0	4,3	62,2
27/outubro	12.906	27,9	13,1	0,0	4,5	59,5

Observa-se na Tabela 2 que os dias de avaliação do mês de junho caracterizaram-se por apresentar os menores valores de radiação global, temperaturas máximas e mínimas e evapotranspiração, não sendo observadas variações da precipitação e umidade relativa do ar.

De maneira geral não houve diferenças significativas da radiação solar entre os tratamentos de cafeeiros consorciados “SSCCSS”, “SCS” e “SCSCS”. No entanto, foi significativamente superior no cafeeiro em monocultivo (C) entre as 10:00 horas da manhã e as 02:00 horas da tarde, nas

avaliações realizadas em junho (Figura 11). As médias da radiação no sistema de cultivo “C” foram de quatro a seis vezes superiores aos sistemas de consórcio “SSCCSS”, “SCS” e “SCSCS”, evidenciando maior interceptação da radiação solar nos sistemas consorciados. Por outro lado, observou-se que no mês de outubro a radiação em “C” foi significativamente superior em relação ao mês de junho entre as 09:00 horas da manhã e as 02:30 horas da tarde (Figura 12), indicando que durante o mês de outubro houve uma maior disponibilidade de radiação solar. Embora com resultados bem superiores, este mesmo comportamento pode ser observado na Tabela 1, através da qual se constata que no mês de junho houve menor incidência de radiação.

Considerando interceptação da radiação solar, observa-se que nos sistemas de cultivo em consórcio a superfície vegetal constituída pela copa da seringueira permite que o cafeeiro receba uma intensidade de radiação constante durante o dia. Estes resultados confirmam dados anteriormente obtidos em consórcios de seringueiras com bananeiras por realizados Rodrigo et al. (2001), que verificaram maior interceptação da radiação solar em maiores densidades de plantio, conduzindo duas e três fileiras de bananeiras a cada fileira de seringueira e utilizando o mesmo espaçamento do monocultivo.

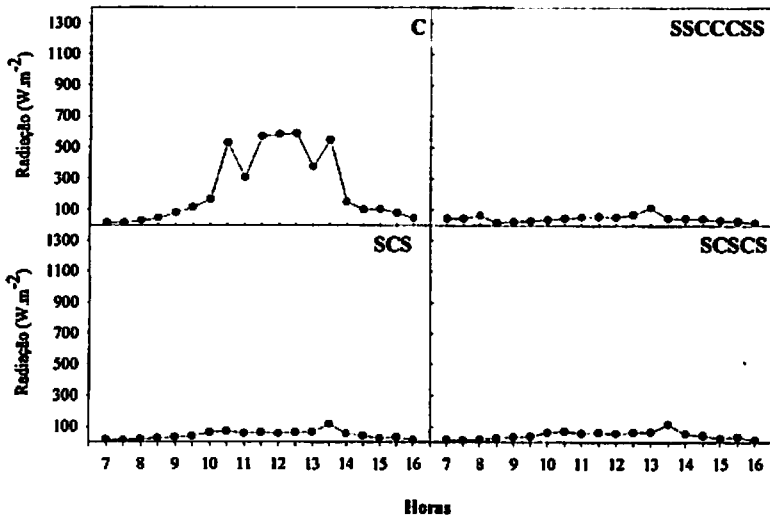


FIGURA 11: Distribuição da radiação instantânea nos diferentes sistemas de cultivo de cafeeiros no mês de junho. Cada ponto refere-se à média de três repetições.

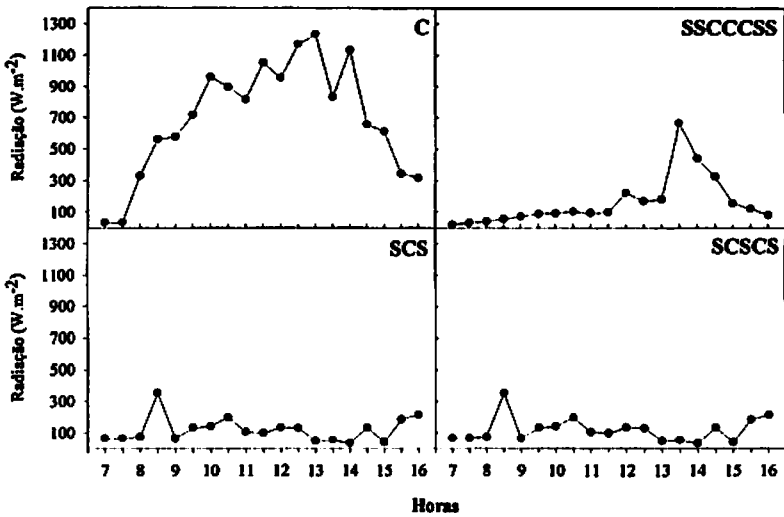


FIGURA 12: Distribuição da radiação instantânea nos diferentes sistemas de cultivo de cafeeiros no mês de outubro. Cada ponto refere-se à média de três repetições.

Observa-se, na Figura 13, que no mês de junho não houve grandes variações das características avaliadas (temperaturas do solo e do ar e umidade relativa do ar) entre os diferentes sistemas de cultivo, embora no sistema "C" tenham sido observados valores menores de temperaturas do solo durante o dia o que pode estar associado às práticas constantes de capinas deixando o solo desnudo e mais susceptível às variações climáticas.

Analisando a Figura 14, nota-se que, em outubro, a do solo no sistema "C" foi superior aos sistemas consorciados em todos os horários de avaliação. Observa-se um pequeno aumento dessa temperatura no sistema "SSCCCCSS" ao longo do dia, ao passo que, nos sistemas "SCS" e "SCSCS", essa temperatura permaneceu constante durante o curso diário. A temperatura do ar teve um aumento acentuado ao longo do dia no sistema "C", porém não variando entre os sistemas consorciados.

Como era de se esperar a umidade relativa apresentou uma relação inversa com a temperatura do ar, observando-se que aumentos na temperatura promovem o decréscimo desta variável (Figuras 13 e 14).

Considerando as duas épocas de avaliação (Figuras 13 e 14), observa-se que os dados de temperatura do solo e do ar e umidade relativa obtidos em outubro foram superiores aos obtidos em junho, evidenciando a influência da radiação incidente sobre essas características.

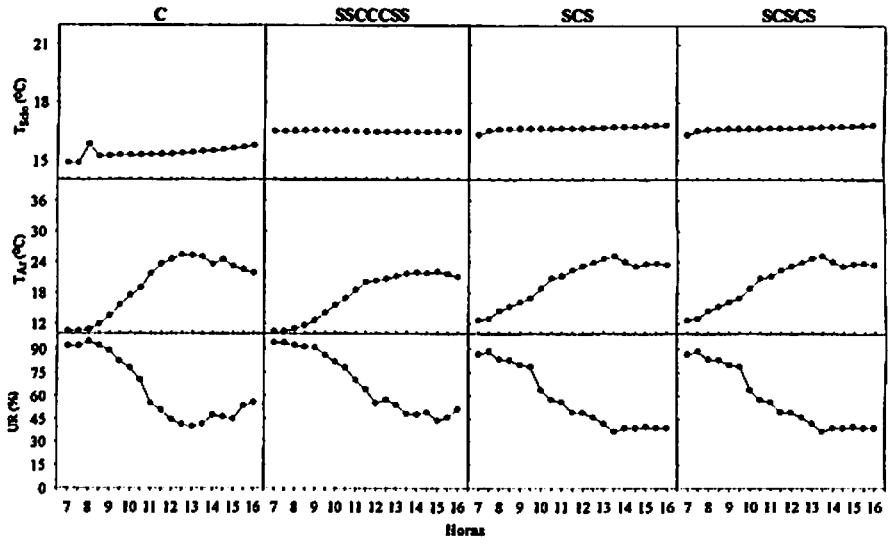
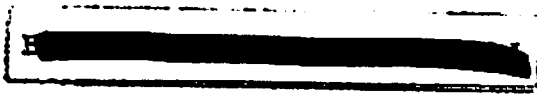


FIGURA 13: Distribuição da temperatura do solo (T_{solo} ; °C) e do ar (T_{ar} ; °C) e umidade relativa do ar (UR; %) nos diferentes sistemas de cultivo de cafeeiros. Valores referentes a um dia de avaliação no mês de junho.

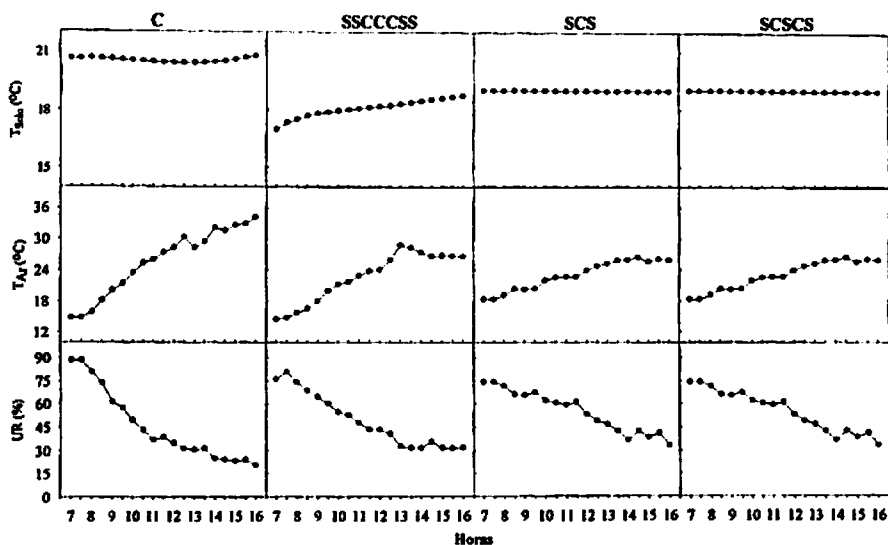


FIGURA 14: Distribuição da temperatura do solo (T_{solo} ; °C) e do ar (T_{ar} ; °C) e umidade relativa do ar (UR; %) nos diferentes sistemas de cultivo de cafeeiros. Valores referentes a um dia de avaliação no mês de outubro

A seringueira é considerada uma planta de copa densa que, após os quatro anos de idade, constitui uma cobertura vegetal capaz de interceptar 80% ou mais da radiação direta incidente (Rodrigo et al., 2001). Com a atenuação da radiação direta pela copa da seringueira, a radiação que atinge as plantas de café sombreadas é predominantemente constante, contribuindo para baixas oscilações das temperaturas máxima e mínima do solo e do ar. Por outro lado, o cafeeiro do monocultivo está mais susceptível às variações climáticas, podendo sofrer maiores oscilações de radiação e temperatura e, conseqüentemente, da umidade relativa do ar.

4.5 Produção de café

Observa-se, na Figura 15, que a produção média de café foi fortemente influenciada pelo sistema de cultivo. No cafeeiro em monocultivo (C), a produtividade média de 8,1 litros de café por planta foi significativamente superior em relação aos outros tratamentos. No consórcio com três fileiras de café a cada fileira dupla de seringueira (SSCCSS), a produtividade média de 4,16 litros de café por planta apresentou diferenças significativas em relação aos consócios com uma fileira de café a cada fileira de seringueira (SCS) e três plantas de café a cada planta de seringueira na mesma fileira (SCSCS).

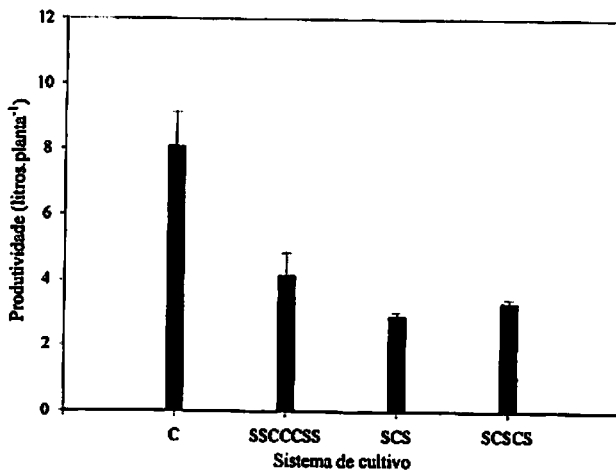


FIGURA 15: Produtividade de cafeeiros do cultivar Mundo Novo em diferentes sistemas de cultivo. Média de trinta plantas tratamento. As barras indicam o erro padrão.

A produtividade média nos sistemas de cultivo “SCS” e “SCSCS” foi de 2,93 e 3,33 litros de café por planta, respectivamente, não diferindo entre si. Estas diferenças podem estar associadas ao nível de sombreamento provocado pela seringueira, pois verificou-se que há uma redução progressiva na produção do cafeeiro à medida que diminui o espaçamento entre seringueiras. Similarmente, Miranda (1999), trabalhando com vários cultivares de café, entre eles o cultivar Mundo Novo, consorciados com ingazeiros e bananeiras de grande porte, constatou que o excesso de sombra sobre o cafeeiro foi responsável pela acentuada redução na produção deste arbusto.

Quando os dados de produção de café foram transformados em produção por área (sacas/ha), observou-se que a produtividade das plantas no monocultivo de 66 sacas/ha foi significativamente superior aos sistemas “SSCCCCSS”, “SCS” e “SCSCS”, que apresentaram uma produtividade de 27, 15 e 13 sacas/ha, respectivamente. Por outro lado, o sistema “SSCCCCSS” apresentou diferenças significativas de produtividade em relação aos consórcios “SCS” e “SCSCS” (Figura 16). Resultados semelhantes foram anteriormente registrados por Freitas (2000) e por Miranda (1999), que verificaram reduções na produtividade do cafeeiro em sistemas consorciados e mais sombreados, utilizando seringueiras, ingazeiros e bananeiras. Com relação ao consórcio “SSCCCCSS”, a maior produtividade em relação aos sistemas “SCS” e “SCSCS” pode estar associada a uma maior disponibilidade hídrica do solo devido a menor interceptação das chuvas pela copa da seringueira e a maior densidade de plantio.

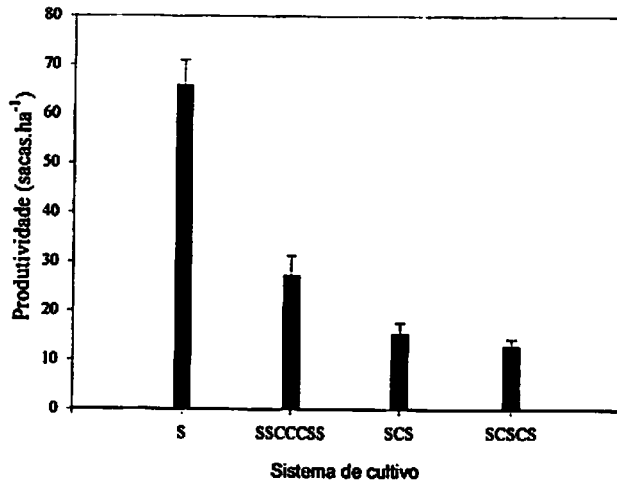


FIGURA 16: Produtividade de cafeeiros do cultivar Mundo Novo em diferentes sistemas de cultivo. Média de trinta plantas por tratamento. As barras indicam o erro padrão.

4.6 Influência dos diferentes sistemas de cultivo na uniformidade da maturação dos frutos de café

Assim como a produtividade do cafeeiro, em litros/planta, a maturação dos frutos também parece ser influenciada pelo nível de sombreamento natural ao qual as plantas estão submetidas. Para analisar tal influência, foram considerados os seguintes estádios de maturação dos frutos de café: verde, verde-cana, cereja e passa (seco).

Como se pode observar na Tabela 3, não houve grandes diferenças entre os sistemas de cultivo com relação aos estádios de maturação verde e verde-cana, apesar de, no sistema “C”, os valores tenderem a ser menores.

TABELA 3: Estádios de maturação dos frutos de cafeeiros em diferentes sistemas de cultivo. Cada dado refere-se à média de quatro repetições. Médias seguidas da mesma letra não difere entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

Classificação dos frutos

Sistema de cultivo	Verde ml/L	Verde-cana ml/L	Cereja ml/L	Passa ml/L
C	182 AB	17 B	95 C	708 A
SSCCSS	195 AB	52 AB	145 B	608 B
SCS	168 B	33 AB	225 A	574 BC
SCSCS	225 A	50 AB	188 A	537 C
D.M.S	43	33	36	63
CV (%)	10,6	41,4	10,6	4,9

Por outro lado, verificou-se que o sistema “C” apresentou a menor quantidade de frutos no estágio cereja e a maior quantidade de frutos no estágio passa em relação os outros sistemas. Este mesmo comportamento foi observado no sistema “SSCCSS” em relação aos consórcios “SCS” e “SCSCS”. Estes resultados sugerem que a maturação do café a pleno sol ocorre em um período mais curto e mais uniforme.

4.7 Trocas gasosas e eficiência fotoquímica do fotossistema II no cafeeiro em monocultivo e consorciado com seringueira

Analisando os dados apresentados nas Figuras 16A, B, C e D, observa-se que no cafeeiro em monocultivo (C) os valores médios sazonais da densidade de fluxo de fótons fotossinteticamente ativos (DFFFA) foram significativamente

superiores aos sistemas de consórcio com três fileiras de café a cada fileira dupla de seringueira (SSCCSS), uma fileira de cafeeiros a cada fileira de seringueira (SCS) e três plantas de café a cada planta de seringueira na mesma fileira (SCSCS), em ambos os horários de avaliação. Os valores médios de DFFFA no sistema “C” foram de 1.498 e 1.977 $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ às 09:00 e às 12:00h, respectivamente, durante o período experimental. Nos sistemas “SSCCSS”, “SCS” e “SCSCS” os valores médios foram 80,7, 52 e 66,5 $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$, às 09:00h, e 67,6, 91,6 e 100,6 $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$, às 12:00h, respectivamente, não diferindo entre si em ambos os horários.

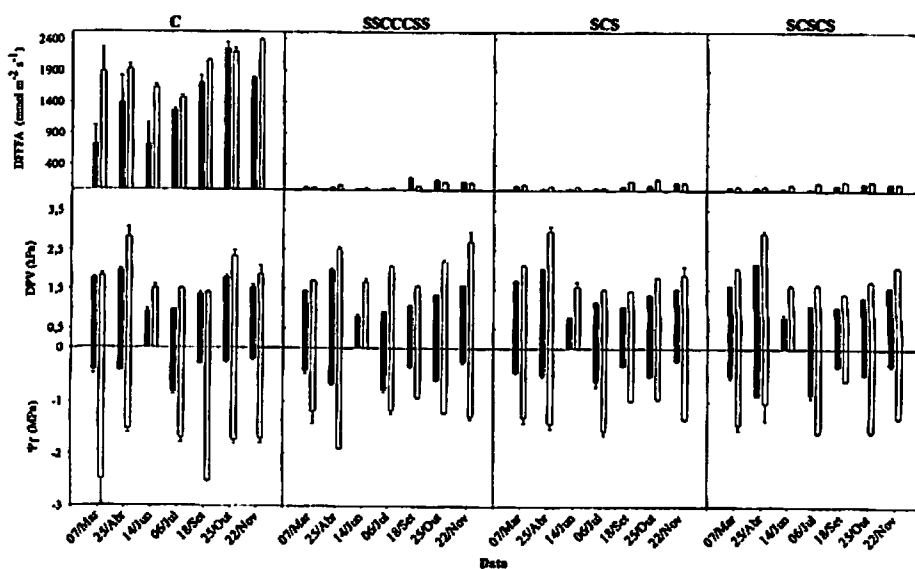


FIGURA 16: Densidade de fluxo de fótons fotossinteticamente ativos (DFFFA), déficit de pressão de vapor (DPV) avaliados às 09:00h (□) e às 12:00h (■) e potencial hídrico foliar (ψ_f) determinado às 06:00h (□) e às 12:00h (■) em cafeeiros do cultivar Mundo Novo em diferentes sistemas de cultivo. Cada ponto refere-se a média de quatro repetições (as barras indicam o erro padrão).

Com base nestes dados, verifica-se que o cafeeiro consorciado com seringueira, nestas condições, sofre um sombreamento excessivo, uma vez que densidades de fluxo de fótons fotossinteticamente ativos foi bastante reduzida devido a interceptação da radiação pela copa da seringueira. O déficit de pressão de vapor atmosférico (DPV) não apresentou grandes variações entre os tratamentos. No entanto, observou-se que esta variável foi significativamente superior nas avaliações realizadas às 12:00h. Nestas avaliações, observou-se um pico do DPV nos meses de outubro e novembro, nos sistemas "C" e "SSCCSS", respectivamente. Nos consórcios "SCS" e "SCSCS", observou-se uma menor variação do DPV em ambos os horários de avaliação, evidenciando a existência de um microclima propiciado pela forte interceptação da radiação solar pelo dossel da seringueira (Figuras 16E, F, G e H).

Analisando o potencial hídrico foliar (ψ_f) ao amanhecer, através das Figuras 16I, J, K e L observa-se que, no geral, não houve diferenças significativas, embora o sistema de cultivo C tenha mostrado uma leve tendência a apresentar valores mais altos, refletindo uma melhor condição hídrica das plantas, o que pode estar ligado à menor competitividade por água no monocultivo. No geral, o ψ_f ao meio dia, no sistema de cultivo "C", apresentou os menores valores em relação aos outros tratamentos, sendo significativamente inferiores apenas nos meses de março (- 2,5 MPa), setembro (- 2,5 MPa) e outubro (- 1,7 MPa). Apesar de estes valores estarem próximos ou acima daquele observado por Kumar & Tieszen (1976) como limite (- 2,0 MPa) para fotossíntese, verifica-se que, com exceção do mês de setembro, nos meses de março e outubro foram registrados os maiores valores de fotossíntese líquida no monocultivo de cafeeiros (Figura 16). Resultados contrastantes foram encontrados por da Matta et al. (1997) em trabalhos com os cultivares de café Catuaí e Kouillou submetidos a diferentes regimes hídricos, sob condições

controladas, os quais verificaram que a taxa fotossintética sofreu uma redução de $3,0 \mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ em ψ_r de $-0,2$ MPa para $-0,3 \mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ em ψ_r de $-2,7$ MPa.

Nas figuras 17 e 18 estão apresentadas as variações das trocas gasosas, da eficiência fotossintética e fotoquímica do fotossistema II, bem com da temperatura foliar ocorrida durante as épocas de avaliação. Observa-se, nas Figuras 17A, B, C e D, que a taxa de fotossíntese líquida (A) às 09:00h, no sistema de cultivo "C" ($3,2 \mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$), foi significativamente superior aos sistemas "SSCCSS" ($1,5 \mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$), "SCS" ($1,4 \mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$) e "SCSCS" ($1,5 \mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$). Diferenças significativas em "C" também foram observadas nos meses de março ($5,8 \mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$) e junho ($3,6 \mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$) em relação aos demais tratamentos. Não houve diferenças significativas nas avaliações realizadas às 12:00h entre os tratamentos. No entanto, constatou-se que no sistema C as diferenças foram significativamente superior e inferior nos meses de março ($4,7 \mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$) e junho ($0,5 \mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$), respectivamente. Constatou-se, também, que não houve diferenças significativas entre os sistemas de cultivo "SSCCSS", "SCS" e "SCSCS", em ambos os horários de avaliação.

Resultados semelhantes foram obtidos por Yamaguchi & Friend (1979), que constataram que as taxas de fotossíntese líquida foram significativamente maiores em plantas de café cultivadas a pleno sol. Fahl et al. (1994) observaram que plantas de café submetidas a altos e baixos níveis de adubação nitrogenada, quando cultivadas a pleno sol, apresentaram taxa fotossintética líquida superior às plantas cultivadas sob sombra com os mesmos níveis de adubação.

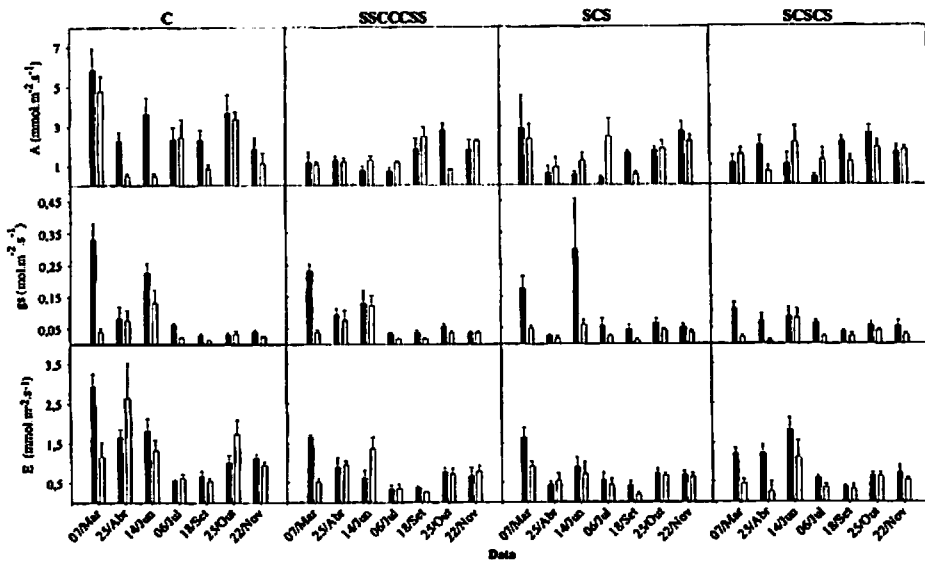


FIGURA 17: Fotossíntese líquida (A), condutância estomática (gs) e transpiração (E). Avaliações realizadas às 09:00h (■) às 12:00h (□) em cafeeiros do cultivar Mundo Novo em diferentes sistemas de cultivo. Cada ponto refere-se a média de quatro repetições. As barras indicam o erro padrão.

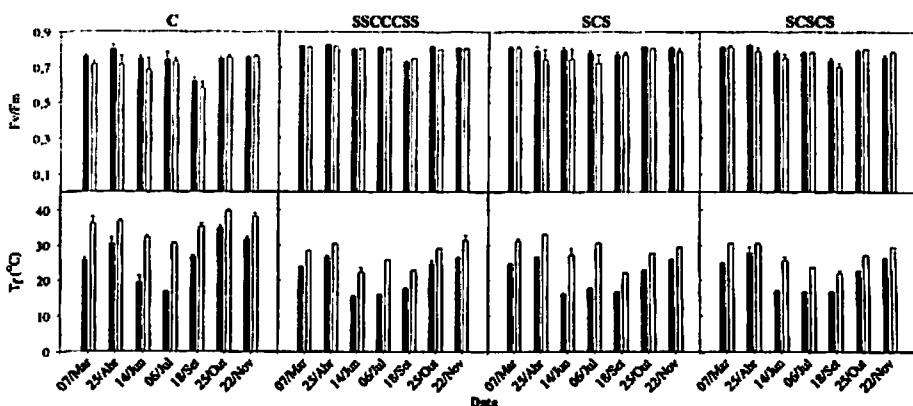


Figura 18: Eficiência fotoquímica do fotossistema II (Fv/Fm) e temperatura foliar (T_l) em cafeeiros do cultivar Mundo Novo em diferentes sistemas de cultivo. Avaliações realizadas às 09:00h (■) às 12:00h (□). Cada ponto refere-se a média de quatro repetições (as barras indicam o erro padrão).

Resultados semelhantes também têm sido verificados com outras espécies. Zanela (2001) verificou que a espécie *Acacia mangium* apresentou maiores taxas de fotossíntese em plantas conduzidas a pleno sol. Abrams & Mostoller (1995), trabalhando com diferentes espécies, submetidas a diferente níveis de sombreamento natural, constataram que a fotossíntese foi significativamente superior em plantas cultivadas a pleno sol, mesmo sob a condição de alta irradiância, elevado DPV, baixo ψ_f e elevada temperatura foliar. Entretanto, resultados contrastantes foram verificados por Kumar & Tieszen (1976), que atribuíram a redução na taxa fotossintética, em plantas de café a pleno sol, ao aumento da temperatura foliar. Ainda segundo estes autores, a taxa fotossintética seria afetada apenas quando a temperatura foliar atingisse valores superiores a 25 °C.

Com relação à condutância estomática (gs), observa-se, nas Figuras 17E, F, G e H, que às 09:00h, o sistema de cultivo “C” apresentou os maiores valores

médios. Por outro lado, nas avaliações realizadas às 12:00h, com exceção do mês de abril, este sistema apresentou os menores valores médios de gs. Este decréscimo na gs pode estar relacionado com o fechamento estomático acarretado pelo aumento da temperatura foliar (Figura 18) e do DPV (Figura 16). Resultados similares foram obtidos por Zanela (2001), que observou que a espécie *Acacia mangium* apresentou maiores taxas de gs em plantas estabelecidas a pleno sol em relação às sombreadas. Ainda segundo este autor, plantas expostas a altas irradiâncias geralmente apresentam maiores valores de gs do que aquelas expostas a ambientes sombreados, desde que as condições de oferta de água não sejam limitantes, sendo, que neste caso, a abertura estomática é governada pela disponibilidade de energia no ambiente.

Geralmente, observa-se que a transpiração (E) no sistema de cultivo "C" foi significativamente superior aos outros sistemas, variando entre 1,4 $\text{mmol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$, às 09:00h, e 1,3 $\text{mmol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$, às 12:00h. Nos sistemas "SSCCSS", "SCS" e "SCSCS", os valores médios foram de 0,77 $\text{mmol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$, 0,76 $\text{mmol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ e 0,7 $\text{mmol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$, às 09:00h, e 0,70 $\text{mmol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$, 0,6 $\text{mmol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ e 0,5 $\text{mmol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$, às 12:00h, respectivamente (Figuras 17I, J, K e L).

Observa-se que houve uma pequena relação entre gs e E com o DPV e temperatura foliar, visto que os maiores valores destas variáveis correspondem aos menores valores de DPV e temperatura foliar.

Com relação à eficiência fotoquímica do fotossistema II (Fv/Fm), observa-se nas Figuras 18A, B, C e D que não houve grandes variações desta característica ao longo do período experimental, indicando a ausência de estresse nos diferentes sistemas de cultivo.

Os dados apresentados nas Figuras 18E, F, G e H mostram que ocorreram diferenças na temperatura foliar de acordo com o horário e a época de avaliação. Apresentando valores menores nos meses de maio, junho e julho, e

maiores valores nos meses de fevereiro, março, outubro e novembro. Estas diferenças evidenciam a influência da sazonalidade sobre esta variável.

Normalmente a temperatura foliar representa uma resposta integrada da planta com as condições ambientais, como também ao conteúdo de água no solo (Cascardo, 1991). Neste caso, as variações na temperatura foliar estão associadas às diferentes condições microclimáticas existentes nos diferentes sistemas de cultivo. Nos sistemas consorciados e, neste caso, densamente sombreados, pouca radiação solar ultrapassa o dossel da seringueira, fazendo com que não ocorram oscilações bruscas na temperatura foliar. Observa-se ainda, com base nos dados apresentados nas Figuras 17 e 18, que houve uma relação direta entre o DPV e a temperatura foliar.

Os resultados acima verificados mostram que o cafeeiro cultivado a pleno sol (C) foi mais eficiente do ponto de vista fotossintético, apesar de altos níveis de irradiância, elevadas temperaturas foliares e alto DPV, sugerindo que o cafeeiro pode ser identificado como uma espécie facultativa, exibindo características de adaptação ao ambiente sombreado e a pleno sol.

4.8 Variação diurna das características fisiológicas do cafeeiro cultivar Mundo Novo em monocultivo e consorciado com seringueiras em duas datas distintas

As avaliações das características microclimáticas e fisiológicas foram realizadas nos dias 06 de julho e 22 de novembro, cujas características meteorológicas estão apresentadas Tabela 1.

Observa-se, nas Figuras 19A, B, C e D, que os níveis de DFFFA foram maiores no sistema "C"; dentro deste sistema, foram maiores nas avaliações realizadas em novembro. No entanto, observa-se que a variação ao longo do dia foi semelhante em ambas as épocas. Nos sistemas consorciados, os níveis de

DFFFA foram relativamente baixos, com valores médios variando entre 31,5 e 144 $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$, em julho, e entre 83,91 e 100,58 $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$, em novembro. Com relação ao DPV, constatou-se que não houve diferenças significativas entre os sistemas "C" e "SSCCSS" em julho. Em novembro, o sistema "SSCCSS" apresentou médias significativamente superiores em relação aos demais sistemas. Quanto ao horário, verificou-se que o DPV foi sempre menor às 09:00 horas, em julho, do que em novembro. Porém, ao final do dia (às 15:00h) o DPV sempre foi maior em julho do que novembro (Figuras 19E, F, G e H). Isto denota a forte influência da temperatura e da precipitação sobre o DPV, pois julho, apesar de ter tido sempre menores temperaturas pela manhã, teve também menor precipitação, acarretando reduções na umidade relativa do ar e, conseqüentemente, aumentando o DPV. Em novembro, constatou-se que apenas o sistema "C" apresentou aumento do DPV ao longo do dia. Nos sistemas de cultivo "SSCCSS", "SCS" e "SCSCS", observou-se que o DPV aumentou até as 12 horas, sofrendo reduções durante a tarde. Comportamento semelhante foi observado para DFFFA em todos os tratamentos, em ambas as épocas de avaliação.

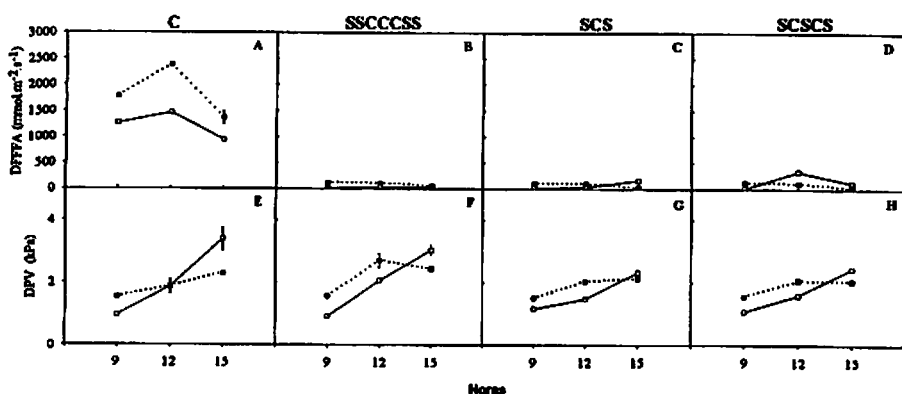


FIGURA 19: Variação diurna da densidade do fluxo de fótons fotossinteticamente ativos (DFFFA – Fig. 19A,B,C e D), déficit de pressão de vapor (DPV – Fig. 19E,F,G e H) em cafeeiros do cultivar Mundo Novo em diferentes sistemas de cultivo, em julho (□) e novembro (■). Cada ponto refere-se a média de quatro repetições. As barras indicam o erro padrão.

Observa-se, na figura 20A, B, C e D, que a fotossíntese líquida (A) não diferiu entre os sistemas de cultivo nas duas épocas de avaliação. Considerando o horário de avaliação, verificou-se que não houve diferenças significativas entre os tratamentos às 09:00h e às 12:00h. No entanto, verificou-se que às 15:00h o sistema “C” apresentou taxas fotossintéticas significativamente superiores aos demais sistemas em novembro. Nas avaliações de julho, verificou-se que não houve diferenças significativas na condutância estomática (gs) (Figuras 20E, F, G e H) e transpiração (E) (Figuras 20I, J, K e L) entre os sistemas de cultivo. Em novembro, constatou-se que estas variáveis foram superiores nos sistemas “C” e “SSCCSS”. Com relação ao horário de avaliação, observou-se que em todos os sistemas de cultivo a gs apresentou uma maior variação em relação à E. Esta variação pode estar associada ao mecanismo estomático, que neste caso, regula mais a gs do que a E. Observou-se, também, que as variações na DFFFA e no

DPV estão associadas às variações ocorridas na A, gs e E nas avaliações realizadas no dia 06 de julho. Em novembro, estas variações mantiveram-se associadas apenas nos sistemas “SCS” e “SCSCS”. Estas diferenças podem estar associadas às diferentes respostas dos sistemas de cultivo às condições microclimáticas de cada sistema.

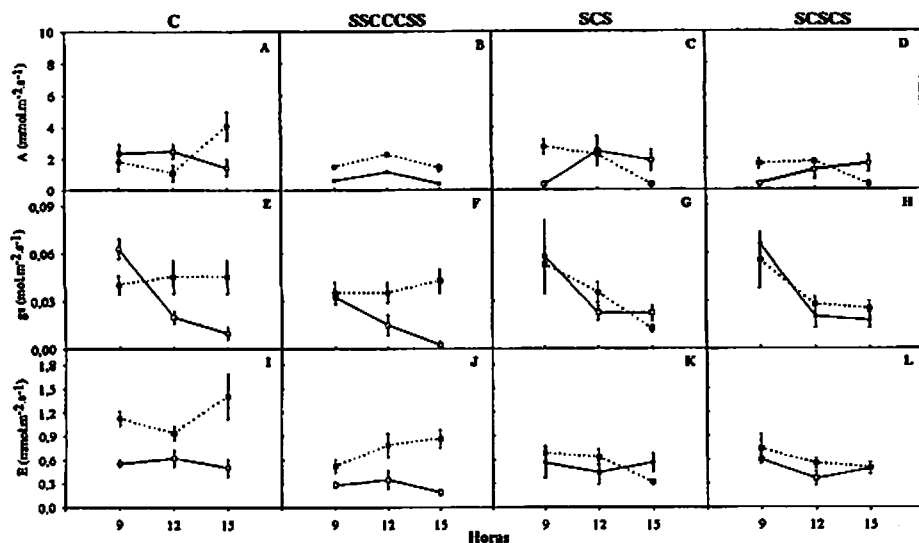


FIGURA 20: Variação diurna da fotossíntese líquida (A - Fig. 20A,B,C e D), condutância estomática (gs - 20E, F, G e H) e transpiração (E - Fig. 20I, J, K e L) em cafeeiros do cultivar Mundo Novo em diferentes sistemas de cultivo, em julho (□) e novembro (■). Cada ponto refere-se a média de quatro repetições. As barras indicam o erro padrão.

Em alguns casos, estes resultados não concordam com aqueles obtidos por Mosqueras et al. (1999) em cafeeiros, que verificaram as maiores taxas

fotossintéticas às 10:00 horas ($8 - 10 \mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$), e as menores, às 13:00 e 14:00 horas ($2,5 \mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$).

No entanto, estas variações diurnas das trocas gasosas obtidas com o cafeeiro corroboram os resultados obtidos para outras espécies, descritas na literatura por Zanela (2001), Almeida (2001) e Poorter & Oberbauer (1993), trabalhando espécies florestais. Com relação às variações ocorridas na A, gs e E em 22 de novembro, resultados semelhantes foram observados por Will & Teskey (1998), também com espécies florestais.

Analisando as Figuras 21A, B, C e D, observa-se que a eficiência de carboxilação (A/Ci) não diferiu significativamente entre os sistemas de cultivo, bem como entre horários e datas de avaliação.

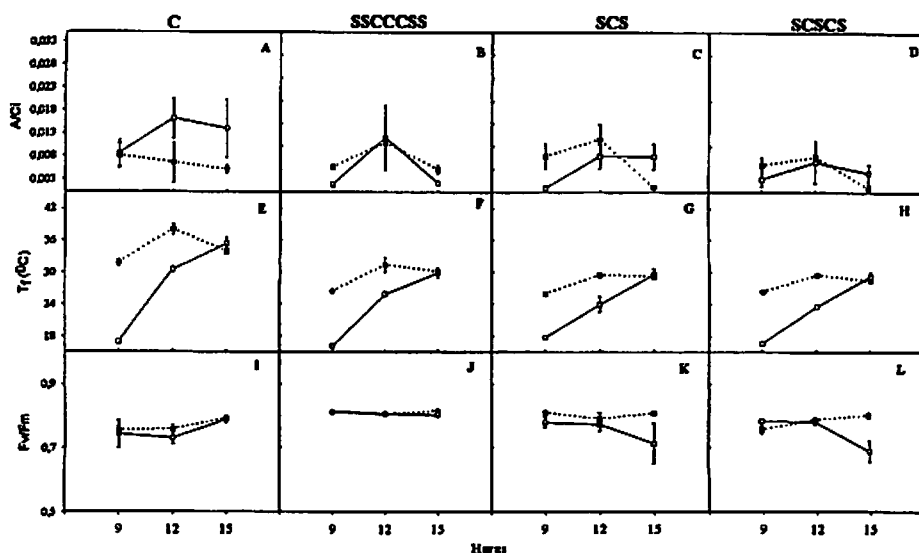


FIGURA 21: Variação diurna da eficiência fotossintética (A/Ci), temperatura foliar (T_l) e eficiência fotoquímica do fotossistema II (Fv/Fm) em cafeeiros do cultivar Mundo Novo em diferentes sistemas de cultivo, em julho (□) e novembro (■). Cada ponto refere-se a média de quatro repetições. As barras indicam o erro padrão.

Com exceção do sistema “C”, a A/Ci tendeu a apresentar maiores valores às 12:00h , mostrando, desta forma, uma pequena relação com a taxa fotossintética líquida. Quanto à temperatura foliar (Figuras 21E, F, G e H), constatou-se uma relação positiva desta variável com a DFFFA e DPV.

A relação F_v/F_m não apresentou diferenças significativas entre os sistemas de cultivo (Figuras 21I, J, K e L). Entretanto, no final do dia essa relação foi menor nos sistemas “SCS” e “SCSCS” em julho do que em novembro.

4.9 Anatomia foliar do cafeeiro em monocultivo e consorciado com seringueira

Os dados apresentados na Tabela 4 mostram que o cafeeiro cultivado a pleno sol, no sistema “C”, apresentou as maiores médias em espessura do limbo foliar e dos parênquimas paliádico e lacunoso. Por outro lado, observou-se que não houve diferenças significativas entre os sistemas de cultivos com relação às epidermes abaxial e adaxial. Nos sistemas consorciados, observaram-se maiores espaços intercelulares, o que constitui uma característica importante no processo fotossintético das plantas na condição de sombreamento por aumentar a eficiência de carboxilação, facilitando a realização das trocas gasosas devido à maior difusão dos gases nos tecidos. Resultados semelhantes foram obtidos em trabalhos realizados com diferentes cultivares de *C. arabica*, inclusive o cultivar Mundo Novo, por Voltan et al. (1992) e Fahl (1989), que verificaram que as plantas cultivadas a 50% e 30% da luz solar apresentaram reduções de 6,5% e 13%, respectivamente, na espessura total do limbo foliar. Estes autores verificaram, também, que as plantas cultivadas sob o nível do 100% de luz solar apresentaram maior espessura dos parênquimas paliádico e lacunoso.

Os dados apresentados na Tabela 5 mostram que o sistema de cultivo a pleno sol (C) apresentou médias significativamente superiores ($P < 0,05$) de estômatos por mm^2 e número de células por mm^2 . Neste sistema de cultivo, verificou-se, também, o maior índice estomático e maior diâmetro equatorial. Com relação ao diâmetro polar, não se observaram diferenças significativas ($P < 0,05$) entre os sistemas de cultivo.

Tabela 4: Espessura da epiderme abaxial, adaxial, parênquima paliçádico, parênquima lacunoso e limbo foliar no cafeeiro cultivar Mundo Novo em diferentes sistemas de cultivo. Média de 20 repetições. As médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

Sistema de cultivo	Epiderme abaxial (μm)	Epiderme adaxial (μm)	Esp. Par. Paliçádico (μm)	Esp. Par. lacunoso (μm)	Espessura limbo (μm)
C	39,05 A	40,16 A	151,13 A	328,51 A	558,85 A
SSCCSS	31,10 A	48,27 A	79,30 B	299,87 B	458,54 B
SCS	33,06 A	67,11 A	68,27 B	302,18 B	470,62 B
SCSCS	28,13 A	44,14 A	76,24 B	285,76 B	434,27 B

Tabela 5: Valores médios do número de estômatos, número de células, índice estomático, diâmetro polar e equatorial dos estômatos no cafeeiro cultivar Mundo Novo em diferentes sistemas de cultivo. Média de 40 repetições. As médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

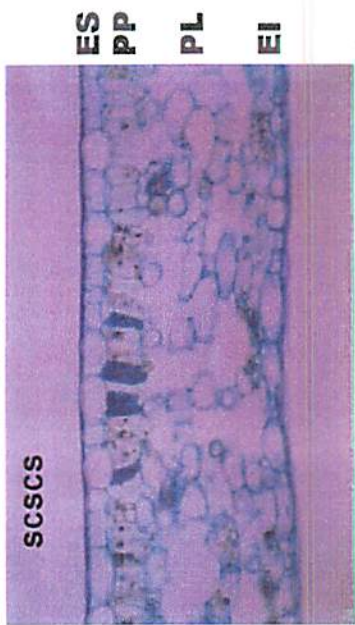
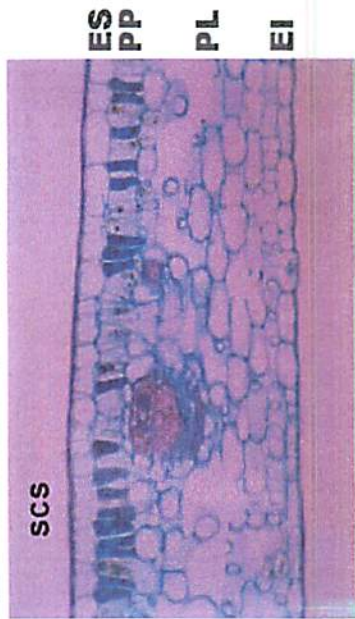
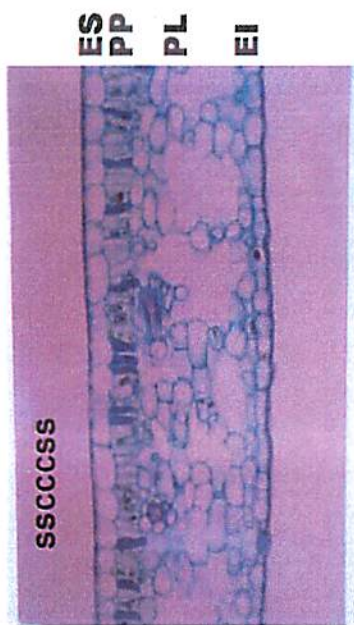
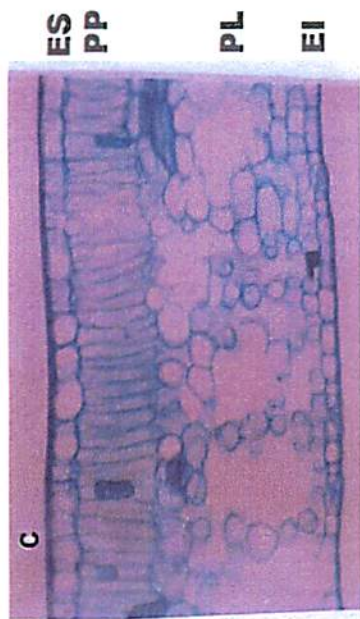
Sistemas de cultivo	Nº de estômatos/mm²	Nº de células/mm²	Índice estomático (%)	Diâmetro polar (µm)	Diâmetro equatorial (µm)
C	197,21 A	941,28 A	17,42 A	27,09 A	17,30 B
SSCCSS	132,46 B	846,93 B	13,60 B	26,72 A	16,82 B
SCS	127,65 B	741,11 D	14,69 B	27,16 A	18,69 A
SCSCS	125,80 B	795,87 C	13,48 B	26,53 A	17,06 B

Nas seções transversais da lâmina foliar (Figura 22), observa-se que todos os sistemas de cultivo apresentaram uma epiderme uniestratificada. Observa-se, ainda, que o mesofilo das plantas no sistema “C” apresenta o parênquima paliçádico constituído por células mais alongadas e mais organizadas que os sistemas “SSCCSS”, “SCS” e “SCSCS”. O parênquima lacunoso no sistema “C” apresenta-se constituído por células menores e mais organizadas, resultando em menores espaços intercelulares. Estas características podem estar associadas com as maiores taxas de fotossíntese líquida verificadas nas plantas do sistema “C”.

Nos cortes paradérmicos (Figura 23), observa-se a forte influência do sombreamento sobre as dimensões das células epidérmicas e densidade estomática nas folhas do cafeeiro. Como pode ser observado numericamente na Tabela 6, estas características variaram de acordo com o nível de sombreamento produzido pela copa da seringueira.

Similarmente, Voltan et al. (1992), trabalhando com diferentes níveis de sombreamento, verificaram que o número de estômatos por mm² no cultivar Mundo Novo decresceu linearmente com o nível de luz ao qual as plantas foram submetidas. No entanto, eles verificaram que os diferentes níveis de radiação não tiveram influência significativa sobre o comprimento e a largura dos estômatos.

As variações na anatomia foliar observadas neste trabalho corroboram as obtidas com outras espécies, quando submetidas a diferentes regimes de luz (Zanela, 2001; Almeida, 2001; Klich, 2000; Abrams & Mostoller, 1995). Zanela (2001) observou que plantas das espécies *Hymenaea courbaril*, *Malucra tinctoria* e *Acacia mangium*, quando cultivadas a pleno sol, apresentam folhas mais espessas devido a maiores espessuras do mesofilo e dos parênquimas paliádico e lacunoso.



— 50 μm

FIGURA 22: Seção transversal do mesofilo das folhas de cafeeiros do cultivar Mundo Novo em diferentes sistemas de cultivo. Epiderme superior (ES), parênquima paliçádico (PP), parênquima lacunoso (PL), epiderme inferior (EI).

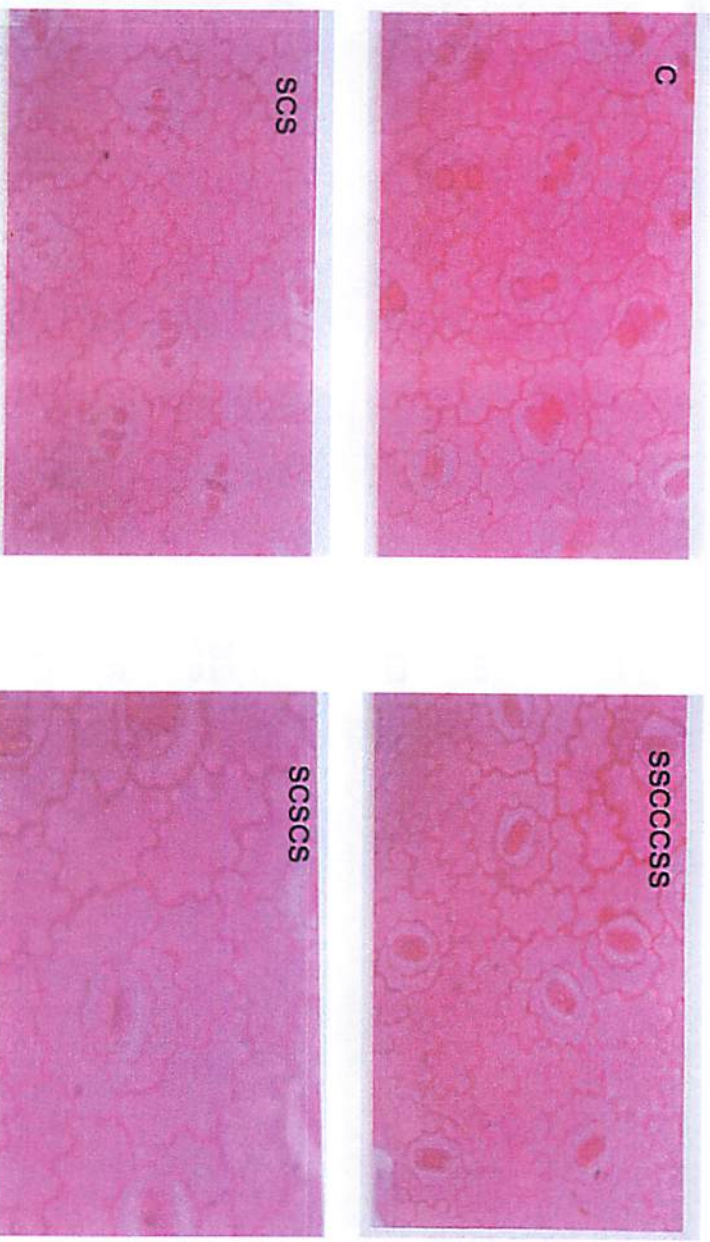


FIGURA 23: Corte paradérmico de folhas de cafeeiros do cultivar Mundo Novo em diferentes sistemas de cultivo.

5 CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos e apresentados anteriormente pode-se chegar às seguintes conclusões:

A produção de borracha é claramente influenciada pelas condições climáticas de cada estação, sendo o período de maior pluviosidade, o mais favorável às condições hídricas da planta e, conseqüentemente, a produção de borracha.

O sistema de cultivo adotado para a seringueira influencia fortemente a produção de borracha, sendo o sistema em monocultivo o que expressa a maior produtividade.

As características de trocas gasosas observadas na seringueira em monocultivo mostram uma forte influência sobre a produção de borracha, pois a produção atinge valores elevados quando as plantas apresentam maiores taxas de fotossíntese líquida.

O nível de sombreamento produzido pela seringueira influencia o rendimento do cafeeiro, reduzindo-o à mediada que diminui o espaçamento entre plantas de seringueira. O cafeeiro apresentou maior rendimento no sistema em monocultivo com valores elevados de frutos no estágio de maturação passa e valores reduzidos de frutos no estágio cereja. A condição de sombra influencia o estágio de maturação do café, pois o cafeeiro cultivado sob condições sombreadas não apresentou diferenças significativas entre os diferentes estádios de maturação dos frutos em relação ao cultivo a pleno sol.

Com relação às trocas gasosas, o cultivo do cafeeiro a pleno sol, de uma maneira geral, apresentou desempenho fotossintético superior ao cultivo consorciado.

Nos sistemas consorciados o cafeeiro apresentou características anatômicas semelhantes de parênquima paliçádico e lacunoso, espessura do limbo foliar, número de estômatos por mm² e índice estomático, mostrando que o cafeeiro apresenta uma grande amplitude fenotípica em tais condições.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABRAMS, M. D.; KLOEPEL, B. D.; KUBISKE, M. E. – Ecophysiological and morphological responses to shade and drought in two contrasting ecotypes of *Prunus serotina*. *Tree Physiology*, Victoria, v. 10, n. 4, p. 343-355, June 1992.
- ABRAMS, M. D.; KUBISKE, M. E.; MOSTOLLER, S. A. Relating wet and dry year ecophysiology to leaf structure in contrasting temperate tree species. *Ecology*, Washington, v. 75, n. 1, p. 123-133, Jan. 1994
- 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.
- ALMEIDA, L. P. Germinação, crescimento inicial e anatomia foliar de plantas jovens de *Cryptocarya aschersaniana* MEZ. sob diferentes níveis de radiação. 2001. 96p Dissertação (Mestrado em fisiologia vegetal). Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.
- ASHTON, P. M. S.; BERLYN, G. P. Leaf adaptations of some *Shorea* species to sun and shade. *New Phytologist*, Cambridge, v. 121, n. 4, p. 587-596, Aug. 1992.
- BOARDMAN, N. K. Comparative photosynthesis of sun and shade plants. *Annual Review of Plant Physiology*, Palo Alto, v. 28, p. 355-77, 1977.
- BRUNINI, O.; CARDOSO, M. Efeito do déficit hídrico no solo sobre o comportamento estomático e potencial da água em mudas de seringueira. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 33, n. 7, p. 1053-1060, jul. 1998.
- BUKATSH, F. Beneskensgem zeir doppelfarbeing astrablau-safranina. *Microkosmos*, Amsterdam, v. 61, p. 255, 1972.

- CASCARDO, J. C. de M. Comportamento biofísico, nutricional e metabólico de plantas de seringueira (*Hevea brasiliensis* Muell. Arg.), em função da aplicação de gesso e a disponibilidade de água no solo. 1991. 130p. Dissertação (Mestrado). Escola Superior de Agricultura de Lavras, Lavras, MG.
- CHIRKO, C. P.; GOLD, M. A.; NGUYEN, P. V.; JIANG, J. P. Influence of orientation on wheat yield and photosynthetic photon flux density (Q_p) at the tree and crop interface in a *Paulownia* – wheat intercropping system. *Forest Ecology and Management*, Amsterdam, v. 89, p. 149-156, 1986.
- CORRE, W. J. Growth and morphogenesis of sun and shade plants I. The influence of light intensity. *Acta Botanica Neerlandica, Irenelaarn*, v. 32, n. 1/2, p. 49-62, Feb. 1983.
- CORRÊA, A. F. F.; RANZANI, G.; FERREIRA, L. G. R. Relações entre o déficit hídrico e alguns processos fisiológicos e bioquímicos em quatro clones de seringueira. *Acta Amazônica, Manaus*, v. 16/17, p. 3-12, 1986/87.
- CUI, M.; VOGELMANN, T. C.; SMITH, W. K.; Chlorophyll and gradients in sun and shade leaves of *Spinacia oleracea*. *Plant, Cell and Environment*, Oxford, v. 14, n. 5, p. 493-500, May 1991.
- DAUDET, F. A.; TCHAMITCHIAN, M. Radiative exchange and photosynthesis. Crop structure and light microclimate. In: INRA. *Characterization and applications*. Paris, 1993. p. 401-417.
- DEVAKUMAR, A. S.; RAO, G. G; REJAGOPAL, R.; RAO, P. S.; GEORGE, M. J.; VIJAYAKUMAR, K. R.; SETHURAJ, M. R. Studies on soil-plant-atmosphere system in *Hevea*: II. Seasonal effects on water relations and yield. *Indian Journal of natural Rubber Research*, Kottayam, v. 1, n. 1, p. 45-60, 1998.
- DIAS-FILHO, M. B. Physiological response of *solanum crinitum* lam. to contrasting light environments. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 32, n. 8, p. 789-796. Ago. 1997
- DIJKMAN, M. J. *Hevea: thirty years of research in Far East Florida*. Miami: University of Miami, 1951. 87p.

- ELLSWORTH, D. S.; REICH, P. B. Water relations and gas exchange of *Acer saccharum* seedlings in contrasting natural light and water regimes. *Tree Physiology*, Victoria, v. 10, n. 1, p. 01-20, Jan. 1992.
- FAHL, J. I.; CARELLI, M. L. C.; VEGA, J.; MAGALHÃES, A. C. Nitrogen and irradiance levels affecting net photosynthesis and growth of Young coffe plants (*Coffea arabica* L.), *Journal of Horticultural Science*, Ahsford, v. 69, n. 1, p. 161-169, Jan. 1994
- FANCELLI, A. L. Culturas intercalares e coberturas vegetais em seringais In: SIMPÓSIO SOBRE A CULTURA DA SERINGUEIRA NO ESTADO DE SÃO PAULO, 1., 1986, Piracicaba. *Anais...* Campinas: Fundação Cargill, 1986. p.229-243.
- FERNANDES, D. R. Manejo do cafezal. In: RENA, A. B.; MALAVOLTA, E.; ROCHA, M.; YAMADA, T. (Ed.). *Cultura do cafeeiro: fatores que afetam a produtividade*. Piracicaba: Associação Brasileira para a Pesquisa da Potassa e fósforo, 1986. p.275-299.
- FERREIRA, D.F. Análise estatísticas por meio do Sisvar para Windows versão 4.0. In: REUNIÃO ANUAL DA REGIÃO BRASILEIRA DA SOCIEDADE INTERNACIONAL DE BIOMETRIA, 45., 2000, São Carlos, SP. *Anais...* São Carlos: Sociedade Internacional de Biometria, 2000. p.255-258.
- FIALHO, J. de F. Consorciação de seringueira. In: CURSO INTENSIVO DE HEVEICULTURA PARA TÉCNICOS AGRÍCOLAS, 5., 1982, Manaus. *Anais...* Brasília: SUDHEVEA/EMBRAPA, 1982. p.105-108. Coletânea.
- FREITAS, R. B. de. *Avaliações ecofisiológicas de cafeeiros (Coffea arabica L) e seringueiras (Hevea brasiliensis Muell. Arg.) em diferentes sistemas de cultivo*. 2000. 57p Dissertação (Mestrado em fisiologia vegetal). Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.
- GONÇALVES, P. de S. Recomendação de clones de seringueira para o Estado de São Paulo. In: CICLO DE PALESTRAS SOBRE A HEVEICULTURA PAULISTA, 1., 1998, Barretos. *Anais....* Barretos: SAA/APABOR, 1999. p.115-140.
- GRONINGER, J. W.; SEILER, J. R.; PETERSON, J. A.; KREH, R. E. Growth and photosynthetic responses of four Virginia Piedmont tree species to shade. *Tree Physiology*, Victoria, v. 16, n. 9, p. 773-778, Sept. 1996.

- HIDEG, É.; MURATA, N. The irreversible photoinhibition of the photosystem II complex in leaves of *Vicia faba* under strong light. *Plant Science*, Limerick, v. 130, n. 2, p. 151-158, Dec. 1997.
- JACOB, J. L.; PREVOT, J. C.; ROUSSEL, D.; LACROTTE, R.; SERRES, E.; d'AUZAC, J.; ESCHBACH, J. M.; OMONT, H. Yield limiting factors, latex physiological parameters, latex diagnosis and clonal typology. *Physiology of Rubber Tree Latex*, p. 345-382, 1989.
- KAPPEL, F.; FLORE, J. A. Effect of shade on photosynthesis, specific leaf weight, leaf chlorophyll content, and morphology of young peach trees. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, Alexandria, v. 108, n. 4, p. 541-544, July 1983.
- KITAJIMA, K. Relative importance of photosynthetic traits and allocation patterns as correlates of seedling shade tolerance of 13 tropical trees. *Oecologia*, Berlin, v. 98, n. 3/4, p. 419-428, Aug. 1994.
- KLICH, M. G. Leaf variations in *Elaeagnus angustifolia* related to environmental heterogeneity. *Environmental and Experimental Botany*, Elmsford, v. 44, n. 3, p. 171-183, Dec. 2000.
- KUMAR, D.; TIESZEN, L. L. Some aspects of photosynthesis and related processes in *Coffea arabica* L. *Coffee*, Nairobi, v. 41, n. 486, Sep. 1976.
- LAYNE, D. R.; FLORE, J. A. Physiological responses of *Cereus* to whole plant source manipulation. Leaf gas exchange, chlorophyll fluorescence, water relations and carbohydrate concentrations. *Physiologia Plantarum*, Copenhagen, v. 88, n. 1, p. 44-51, May 1993.
- LEE, D. W.; OBERBAUER, S. F.; JOHNSON, P.; KRISHNAPILAY, B.; MANSOR, M.; MOHAMAD, H.; YAP, S. K. Effects of irradiance and spectral quality on leaf structure and function in seedlings of two southeast Asian *Hopea* (Dipterocarpaceae) species. *American Journal of Botany*, Columbus, v. 87, n. 4, p. 447-455, Apr. 2000.
- LIMA, D. U. de. Avaliação sazonal da produção de borracha e do metabolismo do carbono e do nitrogênio em plantas de seringueira (*Hevea brasiliensis* Muell. Arg.) cultivadas em Lavras – MG. 1998. 71p Dissertação (Mestrado em fisiologia vegetal). Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

- MATIELLO, J. B.; DI PIETRO, C.; CAMARGO A. P. **Combinação de café com seringueira**. Rio de Janeiro: MIC/IBIC/GERCA, 1985. p.9. Instruções técnicas sobre a cultura do café no Brasil.
- MATTA, F. M. da; MAESTRI, M.; BARROS, R. S. Photosynthetic performance of two coffee species under drought, *Photosynthetica*, Prague, v. 34, n. 2, p. 257-264, 1997.
- MENDES, M. M.; GAZARINI, L. C.; RODRIGUES, M. L. Acclimation of *Myrtus communis* to contrasting Mediterranean light environments – effects on structure and chemical composition of foliage and plant water relations. *Environmental and Experimental Botany*, Elmsford, v. 45, n.2, p. 165-178, Apr. 2001.
- MIRANDA, E. M. de.; PEREIRA, R. de C. A.; BERGO, C. L. Comportamento de seis linhagens de café (*Coffea arabica* L.) em condições de sobreamento e a pleno sol no estado do Acre, Brasil. *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras-MG, v. 23, n. 1, p. 62-69, jan./mar. 1999.
- MOTT, K. A.; BUCKLEY, T. N. Patchy stomatal conductance: emergent collective behaviour of stomata. *Trends in Plant Science*, London, v. 5, n. 6, p. 258-262, June 2000.
- OLIVEIRA, D. P. de. **Variação sazonal da produção de borracha e a atividade da invertase nos clones RRIM 600 e GT-1 de seringueira (*Hevea brasiliensis* Muell. Arg.)**. 1999. 71p Dissertação (Mestrado em fisiologia vegetal). Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.
- PATTON, L.; JONES, M. B. Some relationships between leaf anatomy and photosynthetic characteristics of willows. *New Phytologist*, Cambridge, v. 111, n. 4, p. 657-661, Apr. 1989.
- PEREIRA, J. da P. **Seringueira formação de mudas, manejo e perspectivas no Noroeste o Paraná**. Londrina: Instituto Agrônômico do Paraná, 1992. 60p.
- PEREIRA, J. da P.; ANDROCIOLI FILHO, LEAL, A. C.; RAMOS, A. L. M. Consorciação de seringueira e cafeeiro em fase terminal e o seu efeito na redução do período de imaturidade do seringal. In: CONGRESSO BRASILEIRO SOBRE SISTEMAS AGROFLORESTAIS, 1., 1994, Porto Velho. *Anais...Colombo: EMBRAPA-CNPQ*, 1994. v. 1, p.103-111. Documentos, 27.

- RAMALHO, J. C.; PONS, T. L.; GROENEVELD, H. W.; NUNES, M. A. Photosynthetic responses of *Coffea arabica* leaves to a short-term high light' exposure in relation to N availability. *Physiologia Plantarum*, Copenhagen, v. 101, n. 1, p. 229-239, Sept. 1997.
- RAO, G. G.; RAO, P. S.; REJAGOPAL, R.; DEVIKUMAR, A. S.; VIJAYAKUMAR, K. R.; SETHURAJ, M. R. Influence of soil, plant and meteorological factors on water relations and yield in *Hevea brasiliensis*. *International Journal of Biometeorology*, New York, v. 34, n. 3, p. 175-180, 1990.
- RAO, P. S.; SARASWATHYAMMA, C. K.; SETHURAJ, M. R. Studies on the relationship between yield and meteorological parameters of para rubber tree (*Hevea brasiliensis*). *Agricultural and Forest Meteorology*, Amsterdam, v. 90, n. 3, p. 235-245, Apr. 1998.
- REYNOLDS, M. P.; DELGADOB, M. I.; GUTIERREZ-RODRIGUEZ, M.; LARQUE-SAAVEDRA, A. Photosynthesis of wheat in a warm, irrigated environment I: Genetic diversity and crop productivity. *Field Crops Research*, Amsterdam, v. 66, n. 1, p. 37-50, Apr. 2000.
- RIBEIRO, S. I.; VENEZIANO, W.; LISBOA, S. de N.; MEDRADO, M. J. S. Associação da seringueira com a cultura do café, no município de Ouro Preto em Rondônia. Porto Velho: EMBRAPA-UEPAE, 1992.
- RODRIGO, V. H. L.; STIRLING, C. M.; TEKLEHAIMANOT, Z.; NUGAWELA, A. Intercropping with banana to improve fractional interception and radiation-use efficiency of immature rubber plantations. *Field Crops Research*, Amsterdam, v. 69, n.3, p. 237-249, Mar. 2001.
- SÁ, T. D. de A. Avaliação ecofisiológica de seringueiras (*Hevea brasiliensis* Muell. Arg.), submetidas a diferentes intensidades de sangria, em ambientes contrastantes do estado de São Paulo. 1991. 132p Tese (Doutorado em Biologia Vegetal). Universidade de Campinas, Campinas, SP.
- SAMPAIO, J.; C. E. S.; LAINETTI, A.; COSTA, P. Viabilidade técnica e econômica da formação de seringais em cultivo em consórcio com cafezais e pomares cítricos no Estado de São Paulo. Manaus – AM, 1983. p.11. Trabalho apresentado na reunião dos experimentos de consorciação de seringueira com outros cultivos, Manaus 24 a 28 jun. 1983.

- SCHUCH, L. O. B. Densidade de semeadura. *Seed News*, Pelotas, v. 5, n. 5, p. 10-12, set./out. 2001.
- SHANGPHU, L. Judicious tapping with stimulation based on dynamic analysis of latex production. In: **IRRDB RUBBER PHYSIOLOGY AND EXPLOITATION MEETING 1986 - SCATC**, 1986, Hainan, China. **Proceedings....** Hainan, China: IRRDB, 1986. p.230-239.
- SHERIFF, D. W.; MATTAY, J. P. Simultaneous effects of foliar nitrogen, temperature, and humidity on gas exchange in *Pinus radiata*. *Australian Journal of Plant Physiology*, East Melbourne, v. 22, p. 615-626, 1995.
- SHUOCHANG, A.; YAGANG, G. Exploration of the high yield physiological regulation of *Hevea brasiliensis* in Xshunangbanna. In: **IRRDB SYMPOSIUM PHYSIOLOGY AND EXPLOITATION OF HEVEA BRASILIENSIS**, 1990, Kunming, China. **Proceedings...** Kunming: IRRDB, 1990. p.83-92.
- SILVA, S. da. **Respostas fisiológicas de três gramíneas promissoras para revegetação ciliar de reservatórios hidrelétricos submetidas a diferentes regimes hídricos**. 1999. 74p. Tese (Mestrado). Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.
- TOURMEBIZE, R.; SINOQUET, H. Light interception and partitioning in a shrub/grass. *Agricultural Forest of Meteorology*, Amsterdam, v. 72, n. 3/3, p. 277-294, Jan. 1995.
- TRINDADE, D. R. **Exigências climáticas da seringueira**. Belém: FCAP, 1982. 2p. FCAP. Curso de Especialização em Heveicultura, 10.
- TURNBULL, M. H. The effect of light quantity and quality during development on the photosynthetic characteristics of six Australian rainforest tree species. *Oecologia*, Berlin, v. 87, n. 1, p. 110-117, 1991.
- VANDERMEER, J. **The ecology of intercrop ping**. Cambridge, 1989.
- VENEZIANO, W.; MEDRADO, M. J. S.; RIBEIRO, S. I.; LISBOA, S. de M.; MENEZES L. C. C. de; COSTAS, J. N. M.; SANTOS J. C. F. Associação da seringueira com a cultura do cafeeiro no Estado de Rondônia. In: **CONGRESSO BRASILEIRO SOBRE SISTEMAS AGROFLORESTAIS**, 1., 1994, Porto Velho. **Anais. . .** Colombo: EMBRAPA-CNPF, 1994. v. 1, p.121-133.

- VOLTAN, R. B. Q.; FAHL, J. I.; CARELLI, M. L. C. Variação na anatomia foliar de cafeeiros submetidos a diferentes intensidades luminosas. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, São Carlos, v. 4, n. 2, p. 99-105, jul./dez. 1992.
- WELANDER, N. T.; OTTOSSON, B. The influence of low light, drought and fertilization on transpiration and growth in Young seedlings of *Quercus robur* L. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 127, n. 1/3, p. 139-151, Mar. 2000.
- WILL, R. E.; TESKEY, R. O. Influence of rate of change in stomatal conductance to fluctuating irradiance on estimates of daily water use by *Pinus taeda* leaves. **Tree Physiology**, Victoria, v. 19, n. 8, p. 508-514, July 1999.
- WILLIAMS, M.; RASTETTER, E. B.; FERNANDES, D. N.; GOULDEN, M. L.; WOFSEY, S. C.; SHAVER, G. R.; MELILLO, J. M.; MUNGER, J. W.; FAN, S. M.; NADELHOFFER, K. J. Modelling the soil-plant-atmosphere continuum a *Quercus-Acer* stand at Harvard Forest: the regulation of stomatal conductance by light, nitrogen and soil/plant hydraulic properties. **Plant, Cell and Environment**, Oxford, v. 19, n. 8, p. 911-927, Aug. 1996.
- WINKEL, T.; RAMBAL, S. Stomatal conductance of some grapevines growing in the field under a mediterranean environment. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 51, n. 2, p. 107-121, June 1990.
- ZANELA, S. M. **Respostas ecofisiológicas e anatômicas ao sombreamento em plantas jovens de diferentes grupos ecológicos**. 2001. 79p. Dissertação (Mestrado em Fisiologia Vegetal). Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.
- ZIEGENHAGEN, B.; KAUSCH, W. Productivity of Young shaded oaks (*Quercus robur* L.) as corresponding to shoot morphology and leaf anatomy. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 72, n. 2/3, p. 97-108, Apr. 1995
- ZONGDAO, A.; XUEQIN, Z. Rubber cultivation in China. In: **RRIM Plants Conference, 1983**, Kuala Lumpur. **Proceedings**. Kuala Lumpur, p.31-43, 1983.