

DÉBORA RIBEIRO GONÇALVES

**INFLUÊNCIA DA MACAÚBA NA RADIAÇÃO SOLAR INCIDENTE,
MICROCLIMA E ASPECTOS AGRONÔMICOS DO CAFEIEIRO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agroecologia, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS - BRASIL
2018

**Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Câmpus Viçosa**

T

G635i
2018
Gonçalves, Débora Ribeiro, 1991-
Influência da macaúba na radiação solar incidente,
microclima e aspectos agronômicos do cafeeiro / Débora Ribeiro
Gonçalves. – Viçosa, MG, 2018.
vi, 36 f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Orientador: Ricardo Henrique Silva Santos.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.
Inclui bibliografia.

1. *Coffea arabica*. 2. Café - Efeito da temperatura.
3. *Acrocomia aculeata*. 4. Sistemas agrícolas.
5. Agrossilvicultura. 6. Mudanças climáticas. 7. Café -
Rendimento. I. Universidade Federal de Viçosa. Departamento
de Fitotecnia. Programa de Pós-Graduação em Agroecologia.
II. Título.


CDD 22. ed. 633.73


DÉBORA RIBEIRO GONÇALVES

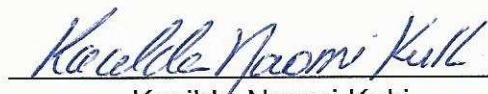
**INFLUÊNCIA DA MACAÚBA NA RADIAÇÃO SOLAR INCIDENTE,
MICROCLIMA E ASPECTOS AGRONÔMICOS DO CAFEIEIRO**

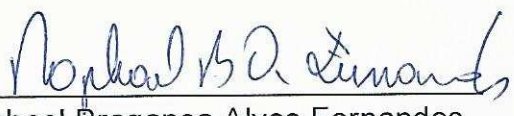
Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agroecologia, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 23 de março de 2018.


Herminia Emília Prieto Martinez


Luiz Alexandre Peternelli


Kacilda Naomi Kuki
(Coorientadora)


Raphael Bragança Alves Fernandes
(Coorientador)


Ricardo Henrique Silva Santos
(Orientador)

Aos meus sobrinhos, Davi, Cecília, Bianca e Antônio, por
estimularem minha criatividade e amor à vida.

Dedico.

AGRADECIMENTOS

A Deus e a todas as manifestações positivas do universo que mantém minha energia vital.

A minha família, meu alicerce, especialmente aos meus pais, Lucimar e Hélio. Aos meus irmãos, Anderson e Vanderson, minha irmã Ana Paula e aos meus cunhados e cunhada. Ao querido Cleiderson, meu companheiro de vida e “de campo”.

Ao meu orientador Ricardo e aos coorientadores Naomi e Raphael, também ao Peternelli, pelas contribuições na realização deste trabalho e exemplo em minha formação profissional.

A banca examinadora pelas importantes contribuições.

A Universidade Federal de Viçosa, particularmente aos Departamentos de Fitotecnia e Solos, pela estrutura física e de pessoal essenciais para a realização deste trabalho.

Aos professores, servidores e colegas do Programa de Pós-Graduação em Agroecologia.

Aos que contribuíram de forma preciosa nas coletas de campo, colegas do Laboratório de Agroecologia, servidores da UFV, funcionários da “horta velha” e aqueles que estiveram presentes nas dificuldades diárias enfrentadas ao longo do curso. Ao Chiquinho, Laís, Wilson, João, Rodrigo, Adalgisa, Felipe, Mariana, Anália, Naim, Maristela, Alejandro, Luiz Gustavo, Sebastian, Thiago, Adriene, Rogério, Edimaldo, Chiquito, Elinho e Francisco.

A equipe do Café com Agroecologia. Orgulho imenso em ter feito parte desse projeto.

A “Tribo do Morro” pelo acolhimento em Viçosa e por possibilitar, através da Capoeira Angola, que meu corpo e mente se mantivessem saudáveis.

Ao povo brasileiro, em nome da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), que através de seus esforços e impostos diários permitiram minha dedicação a vida acadêmica e viabilizaram a execução deste e de tantos outros projetos de pesquisa.

A todas e todos que contribuíram para a realização deste trabalho, minha eterna gratidão!

SUMÁRIO

RESUMO.....	v
ABSTRACT.....	vi
INTRODUÇÃO GERAL.....	1
REVISÃO DE LITERATURA.....	2
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	7
CAPÍTULO 1.....	12
1. INTRODUÇÃO.....	12
2. OBJETIVOS.....	14
2.1. Objetivo geral.....	14
2.2. Objetivos específicos.....	14
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	15
3.1. Descrição da área experimental.....	15
3.2. Tratos culturais.....	16
3.3. Precipitação.....	17
3.4. Radiação fotossinteticamente ativa incidente sob os cafeeiros (RFA).....	17
3.5. Temperatura do ar.....	17
3.6. Umidade do solo.....	17
3.7. Crescimento dos cafeeiros.....	18
3.8. Potencial hídrico foliar (Ψ_w) dos cafeeiros.....	18
3.9. Produção de café.....	19
3.10. Rendimento de grãos de café.....	19
3.11. Classificação por peneiras dos grãos de café.....	20
3.12. Análises estatísticas.....	20
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	20
5. CONCLUSÕES.....	30
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	31

RESUMO

GONÇALVES, Débora Ribeiro, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, março de 2018. **Influência da macaúba na radiação solar incidente, microclima e aspectos agronômicos do cafeeiro.** Orientador: Ricardo Henrique Silva Santos. Coorientadores: Kacilda Naomi Kuki e Raphael Bragança Alves Fernandes.

Estudos recentes demonstram que os efeitos das mudanças climáticas podem afetar a adequação climática ao café, sobretudo arábica (*Coffea arabica* L.) nas principais regiões produtoras. O aumento da temperatura e as mudanças nos padrões de precipitação poderão reduzir consideravelmente o rendimento e a qualidade de grãos, aumentando a pressão econômica principalmente sobre os agricultores familiares. Os sistemas agroflorestais (SAFs) têm se destacado como alternativa capaz de manter a sustentabilidade do cultivo de café frente à ocorrência de eventos climáticos extremos. Contudo, as condições de solo e microclima em cada SAF podem variar muito. O objetivo do trabalho foi avaliar a influência da macaúba na radiação solar incidente, microclima e aspectos agronômicos do cafeeiro. Foram coletados dados de cafeeiros cultivados em SAF localizado na Universidade Federal de Viçosa, correspondente aos tratamentos CE e CP (cafeeiros mais expostos e mais protegidos da radiação, respectivamente) e de cafeeiros cultivados a pleno sol, PS. Os sistemas foram caracterizados com relação à precipitação, incidência de radiação fotossinteticamente ativa, umidade do solo e temperatura do ar. Os dados agronômicos coletados nos cafeeiros (incremento na altura, diâmetro da copa e número de nós dos ramos plagiotrópicos no período experimental, potencial hídrico foliar em quatro datas, produção nos anos de 2016, 2017, média do biênio e rendimento de grãos em 2017) foram analisados através do software R, considerando nível de significância de 5%. Também foi realizada a classificação dos grãos por peneiras. As diferentes condições de radiação incidente no SAF alteram o microclima do sistema. As características agronômicas do cafeeiro são influenciadas, além da radiação incidente, pela competição por recursos entre o café e a macaúba, sobretudo hídricos.

ABSTRACT

GONÇALVES, Débora Ribeiro, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, March, 2018. **Influence of macaw palm on incident solar radiation, microclimate and agronomic aspects of coffee.** Adviser: Ricardo Henrique Silva Santos. Co-advisers: Kacilda Naomi Kuki and Raphael Bragança Alves Fernandes.

Recent studies have shown that climate change can affect the climatic suitability to coffee, mainly arabica (*Coffea arabica* L.) in the Brazilian main producing regions. Rising temperatures and changes in precipitation patterns could significantly reduce yield and grain quality, increasing economic pressure, especially on family farmers. The agroforestry systems (AGFs) have stood out as an alternative of maintaining the coffee cultivation sustainability in the face of the occurrence of extreme climatic events. However, soil and microclimate conditions in each SAF can greatly vary. The aim of this work was to evaluate the influence of macaw palm on incident solar radiation, microclimate and agronomic aspects of coffee. Data were collected from coffee plants grown in an AGF at Universidade Federal de Viçosa, corresponding to the treatments CE and CP (more exposed and more protected coffee trees from radiation, respectively) and from coffee plants grown under full sun, FS. The systems were characterized according to precipitation, incidence of photosynthetically active radiation, soil moisture and air temperature. The agronomic data collected on coffee trees (increment in height, crown diameter and number of plagiotropic branches nodes in the experimental period, leaf water potential in four dates, production in the years 2016, 2017, biennium average and grains: hulls yield in 2017) were analyzed via software R, considering a 5% level of significance. The classification of grains by sieves was also performed. Different conditions of incident radiation on the AGF changes the system microclimate. The agronomic characteristics of the coffee tree are influenced, besides the incident radiation, by resource competition between coffee and macaw palm, especially water and nutrients.

INTRODUÇÃO GERAL

O café está entre as bebidas mais populares do mundo.

No Brasil, maior produtor e exportador do grão, a cafeicultura é uma das atividades agrícolas mais importantes, em especial o cultivo do café arábica (*Coffea arabica* L.), muito apreciado pela qualidade da bebida e por sua grande participação no mercado.

Apesar de ter se adaptado muito bem às condições de cultivo a pleno sol no Brasil, o cafeeiro é uma espécie nativa dos sub-bosques de florestas tropicais.

Devido às características ecofisiológicas intrínsecas à espécie relacionadas às suas condições de origem, o cultivo de café arábica seria drasticamente afetado se de fato as perspectivas de variação do clima em escala global se concretizassem, principalmente com relação ao regime de precipitação e elevação da temperatura.

Frente ao cenário das mudanças climáticas previstas, alternativas que viabilizem o cultivo do café arábica têm sido propostas.

Levando em consideração a relevância da cafeicultura para a Zona da Mata Mineira, onde é essencialmente praticada por agricultores familiares, torna-se de fundamental importância que estas propostas favoreçam o estabelecimento de agroecossistemas que se adequem às condições edafoclimáticas e socioeconômicas locais da região em que estão inseridos estes agricultores.

Nesse sentido, sistemas de base agroecológica como os agroflorestais (SAFs), destacam-se pela capacidade de manter a sustentabilidade do cultivo do café em regiões de eventos climáticos extremos, além do alto potencial de diversificação da produção e conservação da biodiversidade, contribuindo com a garantia da soberania alimentar das populações.

O sucesso desses sistemas está relacionado, dentre outros fatores, à escolha de espécies arbóreas compatíveis ao cultivo com café, ao número e arranjo espacial das plantas e ao manejo adotado.

Os diferentes estratos arbóreos presentes nos sistemas agroflorestais afetam não somente a disponibilidade de irradiância, mas também aspectos como a temperatura do solo e do ar, a umidade relativa do ar e velocidade

do vento, além da disponibilidade de água e nutrientes para os cafeeiros e árvores. Tais aspectos estão intimamente relacionados ao balanço hídrico do sistema e a processos fisiológicos do cafeeiro, com consequências sobre o crescimento vegetativo da planta e a produção de grãos.

As potencialidades dos SAFs em contribuir com a sustentabilidade da cafeicultura brasileira e os desafios encontrados em seu estabelecimento, são incentivadores e indutores do crescimento do número de pesquisas buscando aliar os diversos aspectos microclimáticos desses sistemas em benefício das características agronômicas do cafeeiro.

O objetivo da presente dissertação foi avaliar a influência da macaúba na radiação solar incidente, no microclima e em aspectos agronômicos do cafeeiro.

REVISÃO DE LITERATURA

A agricultura familiar é responsável por grande parte da produção agrícola do Brasil, em especial de alimentos comercializados no mercado interno (IBGE, 2006). Levando em consideração a importância dessa forma de organização, torna-se fundamental a atualização dos dados referentes à sua contribuição para a economia agrícola do país.

Em Minas Gerais a agricultura familiar é predominante, principalmente na região da Zona da Mata, onde esta se destaca como importante geradora de renda, na qual os cafeeiros são muitas vezes consorciados com outras culturas de interesse econômico ou de provisão.

A cafeicultura é um segmento de extrema importância socioeconômica para a região da Zona da Mata Mineira, ocupando, juntamente com as regiões Rio Doce e Central, uma área de 278.846 hectares. A espécie mais cultivada é a *Coffea arabica* L., abrangendo mais de 96% das áreas em produção, com produtividade média estimada em 25,82 sacas de café beneficiado por hectare (CONAB, 2018).

As mudanças climáticas podem afetar drasticamente a produção agrícola mundial (DAMATTA et al., 2010) especialmente da cafeicultura e cafeicultores familiares da Zona da Mata de Minas Gerais.

De acordo com dados do quinto relatório do IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) verificou-se que desde os tempos pré-industriais,

houve um aumento de 0,61 °C na temperatura média global e a expectativa é que esta continue a aumentar nos próximos anos (IPCC, 2014).

Frente às projeções de mudanças do clima, a produção e a qualidade de grãos de café sofreriam graves impactos, sobretudo a espécie *Coffea arabica* L. (BOTELHO et al., 2015; LÄDERACH et al., 2017) por ser nativa das florestas tropicais da Etiópia e adaptada a temperaturas médias anuais de 18 °C a 22 °C (CAMARGO, 2010; PINTO et al., 2008) e déficit hídrico anual inferior a 100 mm (ZULLO et al., 2011).

Em Minas Gerais, maior estado produtor de café do Brasil, a média climatológica dos totais mensais de chuva varia de 70 mm a 310 mm, com temperaturas médias mínimas e máximas entre 16 °C a 18 °C e 32 °C a 34 °C, respectivamente e 16 °C a 18 °C e 26 °C a 29 °C, para as regiões serranas do estado. A ocorrência de veranico nos meses de janeiro, fevereiro e ou março tem sido comum, principalmente nas regiões Centro-Norte e Leste do estado (CONAB, 2018).

Estudos de zoneamento climático têm demonstrado que o aumento na temperatura global pode levar muitas regiões, principalmente no sudeste do Brasil, à condição de inaptidão para o cultivo de café arábica, ou à necessidade de irrigação (ASSAD et al., 2004; BRAGANÇA et al., 2016; PINTO et al., 2008).

A irrigação até poderia garantir a manutenção dos cultivos de café. No entanto, levando em consideração a realidade socioeconômica dos cafeicultores familiares de regiões como a Zona da Mata Mineira, essa prática seria complicada e demasiadamente onerosa. Além disso, frente aos fenômenos de seca cada vez mais frequentes na região (FERREIRA; SILVA, 2015), a irrigação comprometeria ainda mais a sustentabilidade dessas lavouras e do abastecimento das cidades.

Nesse contexto, os agricultores familiares seriam os mais afetados. Por possuírem pequenas extensões de terra, menos acesso ao crédito rural e a assistência técnica, eles se tornam mais vulneráveis frente às oscilações ambientais.

Para reduzir a vulnerabilidade dos agricultores e agroecossistemas aos impactos advindos das alterações climáticas previstas, a adoção de práticas agroecológicas de adaptação local se tornam importantes. Uma das

alternativas para minimizar esses impactos sobre a cafeicultura são os sistemas agroflorestais (CARVALHO, 2011; LIN, 2010; PINTO et al., 2008).

Os sistemas agroflorestais (SAFs) consistem da consorciação de espécies florestais, cultivos agrícolas e/ou criação animal, de forma simultânea ou escalonada (NAIR, 1991).

Embora o plantio e manejo de espécies florestais consorciadas com cafeeiros não seja uma atividade marcante entre os agricultores da Zona da Mata Mineira, experiências com SAFs de café de mais de trinta anos de implantação nessa região já foram relatadas (CARDOSO et al., 2001; SOUZA et al., 2010). Vale lembrar, que originalmente, a região era ocupada basicamente por uma floresta densa, que foi devastada devido ao histórico depreciativo de ocupação das terras (DEAN, 1996).

Em seu centro de diversidade, a Etiópia, o café arábica desenvolve-se naturalmente à meia sombra. No México, predomina o cultivo próximo às condições de origem (MOGUEL; TOLEDO, 1999; PEETERS et al., 2003) e outros países produtores também possuem experiências com café sombreado, como a Colômbia, Costa Rica, Guatemala e El Salvador (CAMARGO, 2010; FAZUOLI; THOMAZIELLO; CAMARGO, 2007; PINTO et al., 2008).

No Brasil, porém, prevalece o cultivo a pleno sol. Apesar disso, é crescente o interesse em pesquisas com cafeeiros cultivados em sistemas agroflorestais, sendo mais difundidos no norte e nordeste do país e em regiões onde os cafeeiros sofrem danos por geadas ou ventos fortes, como no Paraná (PR) e em Vitória da Conquista (BA) (MATSUMOTO, 2004).

Nas regiões Sul e Sudeste o sombreamento das lavouras não é prática muito comum, sendo as árvores cultivadas basicamente para proteger o cafeeiro das geadas, pelo seu alto valor econômico (JARAMILLO-BOTERO; MARTINEZ; SANTOS, 2006) ou como quebra vento.

Mesmo em condições de elevação da temperatura, como projetado pelo IPCC (IPCC, 2014), a presença de árvores apresenta potencial para manter a temperatura do dossel dos cafeeiros em níveis adequados ao cultivo do café (CARVALHO, 2011; FAZUOLI; THOMAZIELLO; CAMARGO, 2007; PINTO et al., 2008).

Isto se torna ainda mais importante durante o florescimento, uma vez que altas temperaturas, principalmente se associadas a seca prolongada, podem causar abortamento floral (CAMARGO; CAMARGO, 2001) afetando diretamente a produção do cafeeiro (SANTOS et al., 2012).

Já no período de enchimento de grãos, que corresponde aos meses de janeiro a março na Zona da Mata de Minas Gerais, temperaturas elevadas e intensa luminosidade podem gerar danos fotooxidativos nos cafeeiros, formação de grãos chochos e com maturação acelerada.

Além de favorecer o microclima para o cultivo do café em eventos climáticos extremos (DAMATTA; RAMALHO, 2006; LIN, 2010), os SAFs possuem alto potencial de produção, diversificação e prestação de serviços ecossistêmicos (PINTO et al., 2008; SOUZA et al., 2012; VIEIRA et al., 2007), contribuindo com a conservação da biodiversidade nos agroecossistemas em geral e nos cultivos de café (JOSE, 2012; MARTÍNEZ et al., 2009; MOGUEL; TOLEDO, 1999; RICE, 2008; SOUZA et al., 2012).

Os SAFs têm se destacado como alternativa economicamente acessível aos agricultores familiares (SANTOS; PAIVA, 2002), sendo capazes, inclusive, de reduzir os efeitos da bienalidade da produção (CARAMORI et al., 2004).

A diversidade de espécies nestes sistemas desempenha importante papel na melhoria da qualidade do solo e ciclagem de nutrientes (PEZARICO et al., 2013), garantindo maior aporte de serapilheira (CAMPANHA et al., 2007; JARAMILLO-BOTERO et al., 2008) e mantendo maior umidade em épocas de seca (SANTOS et al., 2012).

No entanto, há relato de maior conservação da umidade na camada mais superficial do solo em monocultivo de café na época seca do ano em relação a sistemas agroflorestais com vinhático (*Plathyenia* spp.) e sistema agroflorestal com abacateiro (*Persea americana* Mill.) e ingazeiro (*Inga edulis* Mart.) (COELHO et al., 2010). Resultados semelhantes foram encontrados por Carvalho (2011) em sistema agroflorestal na Zona da Mineira, também com a espécie *Inga edulis* Mart.

As árvores fornecem ainda a sombra, o que contribui para o bem-estar dos agricultores em suas atividades de trabalho na lavoura (ABDO; VALERI; MARTINS, 2008).

Apesar dos potenciais benefícios advindos dos SAFs, há desafios a serem superados para o seu desenho e manejo. Os resultados destes sistemas com cafeeiros estão diretamente relacionados, dentre outros fatores, ao espaçamento, manejo e escolha das espécies arbóreas.

Várias são as limitações técnicas, como os ainda poucos estudos das interações entre os diversos componentes e arranjos do sistema no espaço e tempo, pouca informação qualificada sobre as práticas de manejo adotadas nesses sistemas de produção, alto custo das pesquisas de médio e longo prazo, a inadequação dos serviços de extensão rural e até mesmo os germoplasmas utilizados, uma vez que o melhoramento genético das espécies agrícolas e florestais é direcionado para o monocultivo (ABDO; VALERI; MARTINS, 2008).

Um aspecto fundamental para o sucesso dos SAFs é a quantidade de radiação incidente nos cafeeiros. Essa característica afeta diretamente a fotossíntese, processo básico vital para geração de biomassa vegetal e produtividade das culturas (STEENBOCK; VEZZANI, 2013).

Segundo Coelho et al. (2010), o reduzido número de pesquisas acerca das interações entre o componente arbóreo e o cafeeiro, no que diz respeito à radiação fotossinteticamente ativa incidente na planta, dificulta a determinação do arranjo e da densidade de plantio adequada.

A distribuição espacial do café em relação à espécie arbórea afeta diretamente a umidade do solo (MATSUMOTO et al., 2006) o que reforça a importância de se investigar como os diferentes arranjos das plantas nos sistemas agroflorestais afetam as relações hídricas e sua relação com aspectos microclimáticos e agronômicos do cafeeiro.

O estudo dessas características se tornam especialmente importantes em regiões montanhosas das Matas de Minas, por possuírem estratos que recebem radiação solar muito distinta entre si, quantitativamente e qualitativamente, sobretudo devido à heterogeneidade de relevos, declividades, altitudes e faces de exposição solar observadas nesta região (CARVALHO, 2011).

Como componente arbóreo de sistemas agroflorestais, a macaúba, *Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lood. ex Mart., destaca-se pela rusticidade e diversidade de produtos e coprodutos de amplo valor agregado que podem

ser extraídos da espécie e por ser considerada uma das palmeiras de maior dispersão geográfica no Brasil (MOTOIKE et al., 2013).

Além disso, as características morfológicas da macaúba podem contribuir com a infiltração de água no solo. Devido à presença de folíolos, que funcionam como pequenas calhas e a abundante presença de espinhos e pelos, que aumentam a área de captação da água da chuva, essa palmeira é capaz de favorecer a eficiência da redistribuição de água no sistema, mantendo a umidade e a temperatura microclimática (DIAS et al., 2011).

Nesse sentido, trabalhos têm sido desenvolvidos em SAF de café e macaúba, levando em consideração tanto a distância quanto a densidade do plantio das palmeiras, concluindo de maneira geral que a presença destas altera o microclima do sistema com reflexos sobre o crescimento e a produção de grãos (MOREIRA, 2015), aspectos ecofisiológicos do cafeeiro (FERREIRA, 2017) e a população microbiana do solo (MEDINA, 2016).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABDO, M. T. V. N.; VALERI, S. V.; MARTINS, A. L. M. Sistemas agroflorestais e agricultura familiar: uma parceria interessante. **Revista Tecnologia & Inovação Agropecuária**, v. 1, n. 2, p. 50–59, 2008.
- ASSAD, E. D. et al. Impacto das mudanças climáticas no zoneamento agroclimático do café no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, p. 1057–1064, 2004.
- BOTELHO, C. E. et al. Cafeicultura: convivência do arábica com a seca e introdução do café Conilon em regiões alternativas de Minas Gerais. **Informe Agropecuário**, v. 36, n. 285, p. 58–66, 2015.
- BRAGANÇA, R. et al. Impactos das mudanças climáticas no zoneamento agroclimatológico do café arábica no Espírito Santo. **Revista Agro@ambiente On-line**, v. 10, n. 1, p. 77–82, 2016.
- CAMARGO, A. P. DE; CAMARGO, M. B. P. DE. Definição e esquematização das fases fenológicas do cafeeiro arábica nas condições tropicais do Brasil. **Bragantia**, v. 60, n. 1, p. 65–68, 2001.
- CAMARGO, M. B. P. DE. The impact of climatic variability and climate change on arabic coffee crop in Brazil. **Bragantia**, v. 69, n. 1, p. 239–

- 247, 2010.
- CAMPANHA, M. M. et al. Análise comparativa das características da serrapilheira e do solo em cafezais (*Coffea arabica* L.) cultivados em sistema agroflorestal e em monocultura, na Zona da Mata MG. **Revista Árvore**, v. 31, n. 5, p. 805–812, 2007.
- CARAMORI, P. H. et al. Arborização de cafezais e aspectos climatológicos. In: MATSUMOTO, S. N. (Ed.). **Arborização de cafezais no Brasil**. Vitória da Conquista, BA: Edições Uesb, 2004. p. 213.
- CARDOSO, I. M. et al. Continual learning for agroforestry system design: university, NGO and farmer partnership in Minas Gerais, Brazil. **Agricultural Systems**, v. 69, n. 3, p. 235–257, 2001.
- CARVALHO, A. F. DE. **Água e radiação em sistemas agroflorestais com café no Território da Serra do Brigadeiro–MG**. 2011. 118f. Tese [Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas] - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, 2011.
- COELHO, R. A. et al. Nível de sombreamento, umidade do solo e morfologia do cafeeiro em sistemas agroflorestais. **Revista Ceres**, v. 57, n. 1, p. 95–102, 2010.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO-CONAB. Acompanhamento da safra brasileira de café: primeiro levantamento safra 2018. **Companhia Nacional de Abastecimento - Conab**, v. 5, n. 1, p. 1–73, 2018.
- DAMATTA, F. M. et al. Impacts of climate changes on crop physiology and food quality. **Food Research International**, v. 43, n. 7, p. 1814–1823, 2010.
- DAMATTA, F. M.; RAMALHO, J. D. C. Impacts of drought and temperature stress on coffee physiology and production: a review. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v. 18, n. 1, p. 55–81, 2006.
- DEAN, W. **A ferro e fogo: a história e a devastação da Mata Atlântica brasileira**. São Paulo: Companhia das Letras, 1996.
- DIAS, H. C. T. et al. Cultivo da macaúba: ganhos ambientais em áreas de pastagens. **Informe Agropecuário**, v. 32, n. 265, p. 52–60, 2011.
- FAZUOLI, L. C.; THOMAZIELLO, R. A.; CAMARGO, M. B. P. DE. Aquecimento global, mudanças climáticas e a cafeicultura paulista. **O**

- Agrônomo**, v. 59, n. 1, p. 19–20, 2007.
- FERREIRA, R. DE P. **Ecofisiologia do cafeeiro sombreado com macaúba em sistema agroflorestal**. 2017. 65f. Dissertação [Mestrado em Agroecologia] - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2017.
- FERREIRA, W. P. M.; SILVA, M. A. V. Agroclimatologia: variações do clima, seca e sustentabilidade da agricultura. **Informe Agropecuário**, v. 36, n. 285, p. 9–18, 2015.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA-IBGE. **Censo Agropecuário 2006: Brasil, Grandes Regiões e Unidades da Federação**Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. Rio de Janeiro, 2006.
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE-IPCC. Summary for policymakers. In: FIELD, C. B. et al. (Eds.). **Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: 2014. p. 1–32.
- JARAMILLO-BOTERO, C. et al. Produção de serapilheira e aporte de nutrientes de espécies arbóreas nativas em um sistema agroflorestal na Zona da Mata de Minas Gerais. **Revista Árvore**, v. 32, n. 5, p. 869–877, out. 2008.
- JARAMILLO-BOTERO, C.; MARTINEZ, H. E. P.; SANTOS, R. H. S. Características do café (*Coffea arabica* L.) sombreado no Norte da América Latina e no Brasil: análise comparativa. **Coffee Science**, v. 1, n. 2, p. 94–102, 2006.
- JOSE, S. Agroforestry for conserving and enhancing biodiversity. **Agroforestry Systems**, v. 85, n. 1, p. 1–8, 2012.
- LÄDERACH, P. et al. Climate change adaptation of coffee production in space and time. **Climatic Change**, v. 141, n. 1, p. 47–62, 2017.
- LIN, B. B. The role of agroforestry in reducing water loss through soil evaporation and crop transpiration in coffee agroecosystems. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 150, n. 4, p. 510–518, 2010.
- MARTÍNEZ, M. L. et al. Effects of land use change on biodiversity and

- ecosystem services in tropical montane cloud forests of Mexico. **Forest Ecology and Management**, v. 258, n. 9, p. 1856–1863, 2009.
- MATSUMOTO, S. N. **Arborização de Cafezais no Brasil**. Vitória da Conquista, BA: Edições Uesb, 2004.
- MATSUMOTO, S. N. et al. Water relations in a coffee grove planted with grevilleas in Vitória da Conquista, Bahia, Brazil. **Coffee Science**, v. 1, n. 1, p. 71–83, 2006.
- MEDINA, J. M. **Crescimento de reças de cafeeiro e análise funcional dos micro-organismos do solo em sistema agroflorestal com macaúba**. 2016. 53f. Dissertação [Mestrado em Agroecologia] - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, 2016.
- MOGUEL, P.; TOLEDO, V. M. Biodiversity conservation in traditional coffee systems of Mexico. **Conservation Biology**, v. 13, n. 1, p. 11–21, 1999.
- MOREIRA, S. L. S. **Produtividade, qualidade do solo e aspectos microclimáticos em sistema agroflorestal de cafeeiro e macaúba**. 2015. 43f. Dissertação [Mestrado em Agroecologia] - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, 2015.
- MOTOIKE, S. Y. et al. **A cultura da macaúba: implantação e manejo de cultivos racionais**. Viçosa, MG: Editora UFV, 2013.
- NAIR, P. K. R. State-of-the-art of agroforestry systems. **Forest Ecology and Management**, v. 45, n. 1–4, p. 5–29, 1991.
- PEETERS, L. Y. K. et al. Coffee production, timber, and firewood in traditional and Inga-shaded plantations in Southern Mexico. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 95, n. 2–3, p. 481–493, 2003.
- PEZARICO, C. R. et al. Indicadores de qualidade do solo em sistemas agroflorestais. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 56, n. 1, p. 40–47, 2013.
- PINTO, H. S. et al. **Aquecimento global e a nova geografia da produção agrícola no Brasil**. Campinas: Embrapa/Unicamp, 2008.
- RICE, R. A. Agricultural intensification within agroforestry: The case of coffee and wood products. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 128, n. 4, p. 212–218, 2008.
- SANTOS, R. et al. Coffee yield and microenvironmental factors in a native tree agroforestry system in southeast Minas Gerais, Brazil. **Journal of**

- Sustainable Agriculture**, v. 36, n. 1, p. 54–68, 2012.
- SANTOS, M. J. C. DOS; PAIVA, S. N. DE. Os sistemas agroflorestais como alternativa econômica em pequenas propriedades rurais: estudo de caso. **Ciência Florestal**, v. 12, n. 1, p. 135, 2002.
- SOUZA, H. N. et al. Selection of native trees for intercropping with coffee in the atlantic rainforest biome. **Agroforestry Systems**, v. 80, n. 1, p. 1–16, 2010.
- SOUZA, H. N. de et al. Protective shade, tree diversity and soil properties in coffee agroforestry systems in the Atlantic Rainforest biome. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 146, n. 1, p. 179–196, 2012.
- STEENBOCK, W.; VEZZANI, F. M. **Agrofloresta: aprendendo com a natureza**. Curitiba: Fabiane Machado Vezzani, 2013.
- VIEIRA, T. A. et al. Adoção de sistemas agroflorestais na agricultura familiar, em Igarapé-Açu, Pará, Brasil. **Revista de Ciências Agrárias**, n. 47, p. 9–22, 2007.
- ZULLO, J. et al. Potential for growing arabica coffee in the extreme south of Brazil in a warmer world. **Climatic Change**, v. 109, n. 3–4, p. 535–548, 2011.

CAPÍTULO 1

CAFEIROS SOB DIFERENTES CONDIÇÕES DE RADIAÇÃO EM SISTEMA AGROFLORESTAL COM MACAÚBAS

1. INTRODUÇÃO

A produção de alimentos poderá ser afetada mundialmente pelas mudanças climáticas (DAMATTA et al., 2010). O cultivo de café, importante commodity agrícola, sofrerá impactos negativos, afetando a economia agrícola de diversos países exportadores caso as projeções de alterações no clima ocorram de fato (OVALLE-RIVERA et al., 2015).

Não só a produção de café poderá ser comprometida, mas também a qualidade do produto, já que está diretamente relacionada às condições climáticas de cultivo (LÄDERACH et al., 2017). Nesse cenário, o Brasil, maior produtor mundial do grão (ICO, 2017), seria fortemente afetado.

Os impactos advindos das mudanças climáticas poderão comprometer a produtividade de grãos, sobretudo de *Coffea arabica*, que devido à características ecofisiológicas intrínsecas à espécie e suas condições de origem, é mais sensível às variações do clima (DAMATTA; RAMALHO, 2006).

Frente às projeções do quinto relatório do IPCC (IPCC, 2014), principalmente com relação ao aumento na temperatura e eventos de déficit hídrico e levando em consideração a importância econômica do café, cientistas têm estudado alternativas capazes de manter a sustentabilidade da cafeicultura mesmo com as alterações climáticas.

Dentre as alternativas está a utilização de cultivares mais tolerantes à seca (ZULLO et al., 2011), a irrigação e migração do cultivo para áreas de maior altitude (ASSAD et al., 2004; LÄDERACH et al., 2017; PINTO et al., 2008) ou mesmo a substituição do café arábica pelo robusta (*Coffea canephora* L.) (BOTELHO et al., 2015).

No estado de Minas Gerais, maior produtor de café do Brasil, onde mais de 98 % pertence a espécie *Coffea arabica* L. (CONAB, 2018), o café é basicamente cultivado por agricultores familiares que, devido as limitações

de custo e inviabilidade técnica, dificilmente conseguiriam se adequar a maioria dessas alternativas, o que os tornaria mais vulneráveis diante das mudanças do clima previstas (MORTON, 2007).

Portanto, torna-se de extrema importância o desenho de agroecossistemas que além de manter as condições de cultivo do cafeeiro, sejam compatíveis com as condições edafoclimáticas da região e com a realidade socioeconômica em que estão inseridos os agricultores.

Sistemas de base agroecológica, como os agroflorestais (SAFs) têm ganhado destaque como ferramenta de intervenção do microclima das lavouras, auxiliando o manejo das principais variáveis climáticas que afetam o crescimento e a produção do *Coffea arabica* L., particularmente a temperatura média anual e disponibilidade de radiação solar e água (CAMARGO, 2010; LIN, 2007, 2010; PINTO et al., 2008; SOUZA et al., 2012).

Além da diversificação da produção como alternativa de fonte de renda e de uso para subsistência, a presença das árvores contribui de forma significativa com a conservação da biodiversidade, desempenhando importantes serviços ecossistêmicos e contribuindo para a soberania das famílias produtoras de café (JOSE, 2012; MARTÍNEZ et al., 2009; RICE, 2008).

Estudos têm demonstrado que a presença das árvores é capaz de modificar a oferta de recursos no sistema, afetando a disponibilidade de água (LIN, 2007, 2010), de energia proveniente da radiação solar (GASPARI-PEZZOPANE et al., 2005; PEZZOPANE; JÚNIOR; GALLO, 2007) e de nutrientes (CAMPANHA et al., 2007; NEVES et al., 2007; RICCI et al., 2006), com consequências sobre aspectos vegetativos, produtivos (CAMPANHA et al., 2004) e fisiológicos do cafeeiro (BONFIM et al., 2010; NASCIMENTO et al., 2006).

É comum a variação desses fatores dentro de um mesmo sistema agroflorestal (PEZZOPANE et al., 2011; SANTOS et al., 2012), relacionando-se ainda com a sazonalidade (COELHO et al., 2010), o que dificulta a determinação do arranjo e da densidade de plantio adequado, assim como o manejo do SAF, reforçando a necessidade de pesquisas nesse sentido.

Embora os SAFs de café existentes na região da Zona da Mata Mineira tenham sido objeto de estudo de diversas pesquisas nos últimos anos (CAMPANHA et al., 2007; JARAMILLO-BOTERO et al., 2008; MATOS et al., 2011; SANTOS et al., 2012; SOUZA et al., 2012), poucos estudos têm avaliado como a radiação solar incidente nesses sistemas é modificada conforme o posicionamento dos cafeeiros em relação às árvores e sua relação com o status hídrico da planta e do sistema e com aspectos microclimáticos e agronômicos do cafeeiro.

Como componente arbóreo, a macaúba, *Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lood. ex Mart, uma das palmeiras de maior dispersão geográfica no país, destaca-se pela flexibilidade em se adequar às variações ambientais, como elevações na temperatura, alta intensidade de radiação solar e déficit hídrico (PIRES et al., 2013). Além disso, é possível extrair muitos produtos e subprodutos da espécie, característica possível de ser explorada pela agricultura familiar, com destaque recente para a produção de biodiesel (CARGNIN et al., 2008; MOTOIKE; KUKI, 2009).

Portanto, levando em consideração as potencialidades da macaúba e de sua utilização como componente arbóreo capaz de assegurar as condições de cultivo de *Coffea arabica* L. no cenário de mudanças climáticas, torna-se importante avaliar a compatibilidade do cultivo entre a palmeira e o café em sistemas agroflorestais.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo geral

Avaliar a influência da macaúba na radiação fotossinteticamente ativa incidente, microclima e aspectos agronômicos do cafeeiro.

2.2. Objetivos específicos

2.2.1. Caracterizar os tratamentos com relação a radiação fotossinteticamente ativa incidente sobre os cafeeiros, temperatura do ar e umidade do solo.

2.2.3. Avaliar o crescimento de cafeeiros sob diferentes condições de radiação em sistema agroflorestal com macaúba e em cultivo a pleno sol.

2.2.4. Avaliar o potencial hídrico foliar de cafeeiros sob diferentes condições de radiação em sistema agroflorestal com macaúba e em cultivo a pleno sol.

2.2.5. Avaliar a produção, o rendimento e a classificação de grãos de café provenientes de cafeeiros sob diferentes condições de radiação em sistema agroflorestal com macaúba e em cultivo a pleno sol.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Descrição da área experimental

O experimento foi conduzido em área experimental do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Viçosa, localizada na Zona da Mata de Minas Gerais, no município de Viçosa (20°45'14"S e 42°52'53"W). A área experimental tem face de exposição solar noroeste, com declividade de 17% e altitude de aproximadamente 675 m.

O sistema agroflorestal onde o trabalho foi realizado foi instalado em novembro de 2007 e trata-se do cultivo de café arábica (cultivar Oeiras) em consórcio com macaúba. O espaçamento adotado para o cafeeiro foi de 2,80 m entre linhas e 0,75 m entre plantas e para as macaúbas, 11,20 m entre linhas e 2,80 m entre plantas. A Figura 1 apresenta o croqui da área experimental.

Em setembro de 2014 os cafeeiros foram recepados a 0,2 m de altura do solo e conduzidos com dois ramos ortotrópicos.

A classe de solo no local é o LATOSSOLO Vermelho Amarelo distrófico argissólico (SANTANA, 2016), com textura argilosa e as seguintes características físicas, segundo Moreira (2015): 44% areia, 13% silte, 43% argila na camada de 0 a 20 cm do solo e 39% areia, 12% silte e 49% argila na camada de 20 a 40 cm.

As características químicas do solo da área experimental na camada de 0 a 20 cm, foram descritas por Medina (2016): N-Total 0,61 (dag/kg); pH 4,99 (H₂O); P 14,32 (mg/dm³); K 91,25 (mg/dm³); Ca 2,43 (cmolc/dm³); Mg 0,71 (cmolc/dm³); Al 0,03 (cmolc/dm³); H+Al 3,18 (cmolc/mg³); SB 3,38 (cmolc/dm³); CTC (t) 3,40 (cmolc/dm³); CTC (T) 6,51 (cmolc/dm³); V% 51,10;

m% 0,50; P-Rem 34,45 (mg/L); Cu 1,60 (mg/dm³); Mn 56,10 (mg/dm³); Fe 104,31 (mg/dm³); Zn 2,60 (mg/dm³).

Três tratamentos foram estabelecidos: cafeeiros a 1,40 m da macaúba e mais expostos à radiação solar (CE), cafeeiros a 1,40 m da macaúba e mais protegidos da radiação solar (CP) e um controle, correspondente ao cultivo a pleno sol (PS), localizado próximo e na mesma linha de declive do SAF, conforme croqui da área experimental (Figura 1).

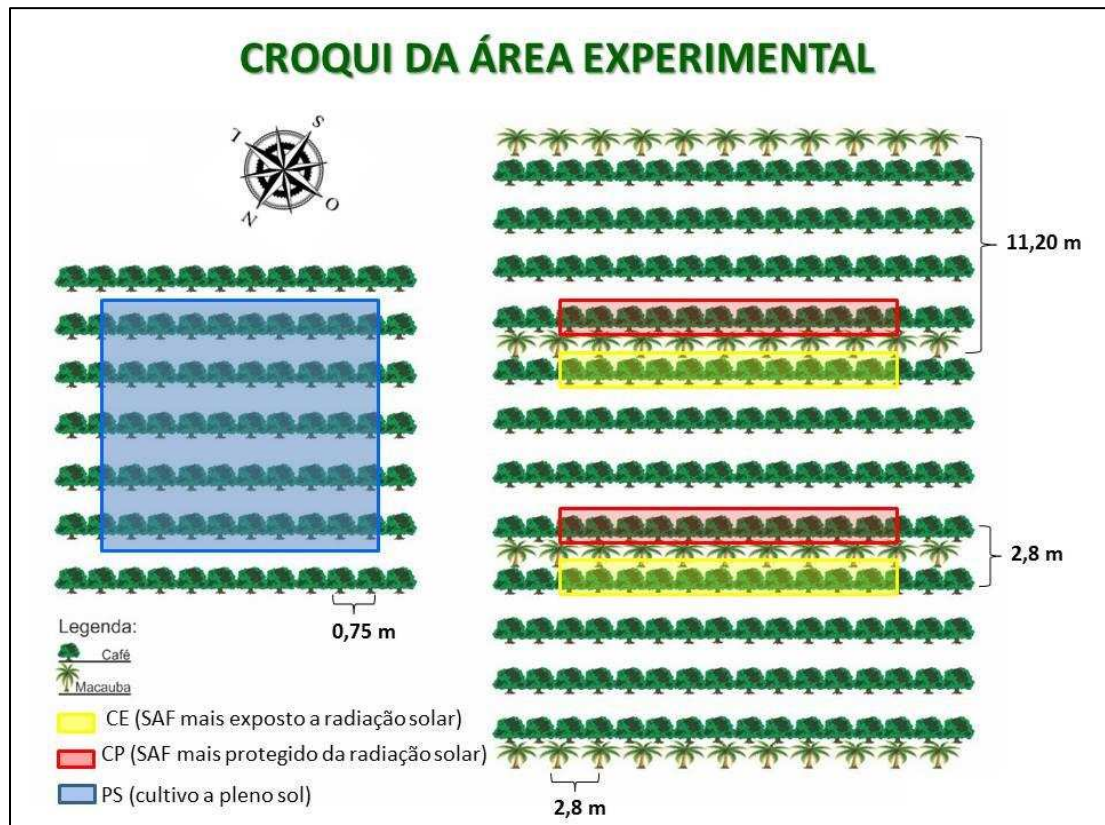


Figura 1: Croqui da área experimental com orientação geográfica.

3.2. Tratos Culturais

Todos os tratamentos foram submetidos às mesmas condições de cultivo desde o plantio e durante todo o período experimental.

Na estação chuvosa dos anos de 2016 e 2017, os cafeeiros receberam adubação de cobertura, sendo realizadas duas aplicações de 210 g da formulação NPK (20.05.20) por planta, equivalente a, aproximadamente, 400 kg de N, 100 kg de P₂O₅ e 400 kg de K₂O por hectare em cada ano.

Não foi necessário adotar nenhum método de controle fitossanitário e o manejo das plantas espontâneas foi realizado através de roçadas e capinas.

3.3. Precipitação

Os dados diários de precipitação (mm), de janeiro a julho de 2017, foram fornecidos pelo Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Viçosa, obtidos de uma estação meteorológica automática localizada próxima à área experimental.

3.4. Radiação Fotossinteticamente ativa incidente sobre os cafeeiros (RFA)

A RFA foi mensurada no dia 29 de agosto de 2017 com ceptômetro de barra (AccuPAR modelo LP-80), de 08:00 h às 17:00 h, com intervalo de 1 hora entre cada medição. O procedimento de leitura foi realizado acima do dossel de 10 cafeeiros em cada tratamento, sendo o sensor posicionado nas orientações Norte-Sul e Leste-Oeste e a média dessas duas leituras considerada a RFA incidente sobre a planta.

Considerando-se as médias de RFA incidente no sistema de cultivo a pleno sol como 100 % de radiação, estimou-se a porcentagem média de sombreamento proporcionada pela macaúba no sistema agroflorestal, que corresponde aos tratamentos CE (SAF mais exposto à radiação solar) e CP (SAF mais protegido da radiação solar).

3.5. Temperatura do ar

Os valores máximos e mínimos da temperatura do ar (°C) foram monitorados semanalmente no período de janeiro a julho de 2017. Para isso, quatro termo-higrômetros foram instalados em cada tratamento, na copa dos cafeeiros à 1 m da superfície do solo.

3.6. Umidade do solo

A umidade do solo foi monitorada pelo método de moderação de nêutrons, através do uso de uma sonda de nêutrons marca CPN modelo 503. Para a introdução da sonda no solo, foram instalados tubos rígidos de

PVC (PN80) de 50 mm de diâmetro e 1,5 m de comprimento, nas linhas dos cafeeiros, com 6 repetições no SAF (CE e CP) e 4 repetições no tratamento a pleno sol (PS). Os tubos de acesso foram introduzidos a 1,30 m de profundidade no solo, permanecendo 0,2 m expostos, sendo ambas as extremidades vedadas para evitar a entrada de água.

A leitura da contagem relativa com a sonda de nêutrons foi realizada em vinte e quatro dias, entre janeiro e julho de 2017, em três profundidades (10-30 cm, 40-60 cm e 90-110 cm).

As curvas de calibração das leituras foram feitas utilizando-se como referência amostras de solo coletadas no decorrer do experimento em cada tratamento nas camadas de 10 a 30, 40 a 60 e 90 a 110 cm e analisadas pelo método termogravimétrico.

A partir dos valores de densidade do solo encontrados por Moreira (2015) na mesma área experimental, procedeu-se o cálculo da umidade volumétrica, de acordo com a equação: $\Theta = U \times D_s$, onde U é a umidade gravimétrica estimada através da sonda de nêutrons e D_s é a densidade do solo.

3.7. Crescimento dos cafeeiros

Para o monitoramento do crescimento vegetativo dos cafeeiros, foram avaliadas as seguintes características: altura da planta, expressa pela média do comprimento dos dois ramos ortotrópicos do cafeeiro; diâmetro da copa, medido no terço médio da planta em direção às entre linhas, e número de nós do ramo plagiotrópico, obtido pela média do número de nós de 8 ramos, escolhidos em quatro partes da planta (base, terço médio inferior, terço médio superior e ápice) e voltados para as entrelinhas de plantio.

As mensurações foram realizadas em agosto de 2016 e junho de 2017, em 10 plantas por tratamento. Com base nos dados calculou-se o incremento no crescimento dos cafeeiros no período avaliado.

3.8. Potencial hídrico foliar (Ψ_w) dos cafeeiros

O potencial hídrico foliar foi determinado em quatro datas: 24 de fevereiro e 16 de março de 2017 (época quente, chuvosa e de maior

crescimento dos cafeeiros) e 20 de junho e 27 de julho de 2017 (época fria, seca e de menor crescimento dos cafeeiros).

A determinação foi feita em seis plantas por tratamento na antemanhã (entre 4 e 6 h), em dias claros, utilizando-se uma bomba de pressão (SKYE SKPM-1400) e consistiu na coleta de duas folhas completamente expandidas em cada planta a partir do ápice do terceiro ou quarto ramo plagiotrópico, exposto a face leste e com bom estado fitossanitário. As folhas foram colocadas, separadamente, na câmara da bomba de pressão, onde, em seguida, foi aplicada pressão até ocorrer a exsudação pelo corte feito do pecíolo da folha, para a leitura da pressão aplicada.

A partir das leituras foi feita média dos valores obtidos nas duas folhas, representando o potencial hídrico foliar da planta, expresso em MPa.

3.9. Produção de café

A colheita foi realizada manualmente nos anos de 2016 e 2017, quando 70% dos frutos atingiram o estágio cereja de maturação. A produção de frutos de 4 grupos de 4 plantas em cada tratamento foi colhida, obtendo-se a massa de café fresco por planta (kg).

Após a colheita foram separadas 4 amostras de 2 kg de frutos frescos em cada tratamento. As amostras foram acondicionadas em redes plásticas e secas a sombra em local arejado, sendo revolvidas diariamente até os grãos atingirem 12% de umidade. Em seguida foram pesadas e a partir da diferença entre a massa de frutos frescos e secos, obteve-se a massa de café em coco.

A limpeza do café em coco foi realizada em descascador de amostras, o qual removeu a casca e o pergaminho, obtendo-se a massa (kg) de café beneficiado grão cru por planta.

3.10. Rendimento de grãos de café

No ano de 2017 foi calculado, ainda, o rendimento de café beneficiado grão cru por planta, expresso em porcentagem de massa de grãos beneficiados em relação à massa de casca.

3.11. Classificação por peneiras dos grãos de café

Quatro subamostras de grãos crus beneficiados foram retiradas de cada tratamento e a classificação por peneiras realizada conforme especificações técnicas da Instrução Normativa número 8, de 11 de junho de 2003, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) (Tabela 1).

Tabela 1: Classificação dos grãos de café arábica com relação ao tamanho e granulometria.

TAMANHO DA PENEIRA	CLASSIFICAÇÃO
19, 18 e 17	Chato graúdo
16 e 15	Chato médio
14 e menores	Chato miúdo
13, 12 e 11	Moca graúdo
10	Moca médio
9 e menores	Moca miúdo (moquinha)

Fonte: (BRASIL, 2003)

3.12. Análises estatísticas

Os dados obtidos foram tabulados e analisados quanto à normalidade de distribuição, pelo teste Shapiro-Wilk e quanto à homogeneidade das variâncias, pelo teste Bartlett. Posteriormente procedeu-se a análise de variância, sendo as médias comparadas pelo teste Duncan, exceto para as variáveis que não atenderam à homogeneidade de variância, quando aplicou-se o teste Kruskal-Wallis (STEEL; TORRIE; DICKEY, 1997), seguido de teste de comparações múltiplas de Dunn (DUNN, 1964).

Todas as análises foram realizadas através do software R (R CORE TEAM, 2017), considerando nível de significância de 5%.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores médios da radiação fotossinteticamente ativa (RFA) incidente sobre os cafeeiros ao longo do dia 29 de agosto de 2017 (Figura 2) variaram entre os tratamentos.

O tratamento CE (SAF mais exposto à radiação solar) permitiu a entrada de RFA semelhante à área de cultivo a pleno sol após 12 h, apesar do PS (pleno sol) ter irradiâncias maiores principalmente entre 9 e 11 horas. Por sua vez, CP (SAF mais protegido da radiação solar) apresentou RFA mais baixa ao longo do dia em relação aos demais tratamentos, com média de $145 \pm 72 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$.

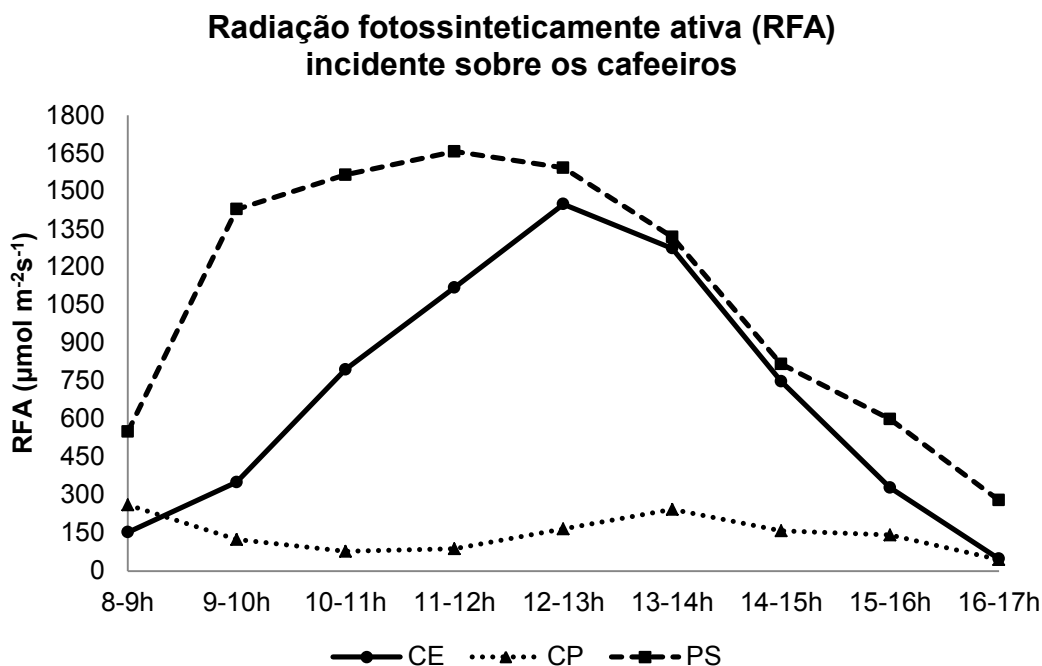


Figura 2: Valores médios da radiação fotossinteticamente ativa (RFA) incidente sobre os cafeeiros nos tratamentos CE (SAF mais exposto à radiação solar), CP (SAF mais protegido da radiação solar) e PS (pleno sol) ao longo de um dia (29 de agosto de 2017).

Ambos os tratamentos apresentaram RFA abaixo de $2200 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$, valor incapaz de gerar fotoinibição nos cafeeiros em condições de campo, na mesma área experimental (FERREIRA, 2017). No entanto, em cafeeiros protegidos (CP), a média é considerada baixa para a cultura (KUMAR; TIESZEN, 1980).

Os tratamentos CE e CP proporcionaram sombreamento de aproximadamente 40 e 80% relativamente ao pleno sol, respectivamente, evidenciando que os cafeeiros recebiam intensidades de radiação solar muito distintas no SAF, mesmo sendo cultivados em espaçamentos iguais em relação à macaúba.

A porcentagem de sombreamento encontrada no tratamento CP (80%) foi tão alta quanto a descrita por Lin (2007) em sistemas tradicionais de policultivo no México (60-80%), onde os cafeeiros são consorciados com outras culturas sob a sombra da floresta nativa. Na maioria desses sistemas, a produtividade de grãos é relativamente baixa, apesar de desempenharem importante papel na conservação da biodiversidade (MOGUEL; TOLEDO, 1999).

A presença das macaúbas diminuiu a amplitude térmica do ar no dossel dos cafeeiros (Figura 3), sendo que esta foi maior quanto maior a radiação fotossinteticamente ativa (RFA) incidente no sistema.

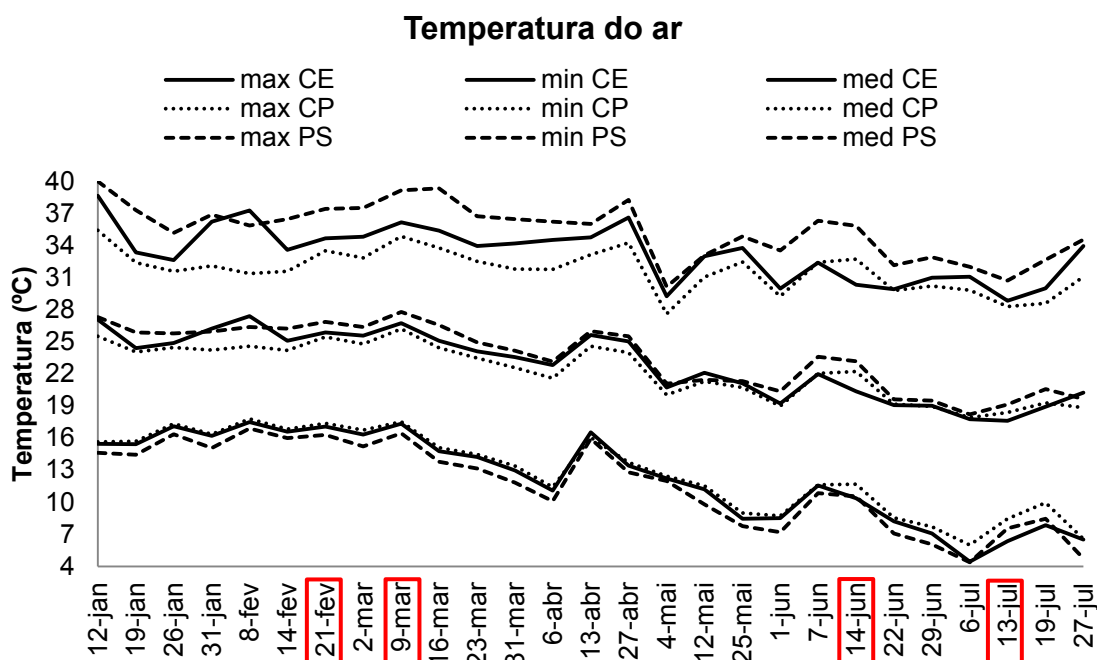


Figura 3: Temperatura do ar na altura do dossel dos cafeeiros (1,0 m) nos tratamentos CE (SAF mais exposto à radiação solar), CP (SAF mais protegido da radiação solar) e PS (cultivo a pleno sol).

As temperaturas mínimas do ar foram semelhantes entre os tratamentos, já as máximas foram menores no dossel dos cafeeiros cultivados em consórcio com macaúba e mais protegidos da radiação solar (CP) (Figura 3), alcançando valores médios de 2 °C e 4 °C abaixo dos tratamentos CE (SAF mais exposto a radiação solar) e PS (cultivo a pleno sol), respectivamente.

Comportamento semelhante foi relatado em sistemas agroflorestais de cultivo de café sob diferentes intensidades de sombreamento no México (LIN, 2007) e em comparação de lavoura de café em SAF e em monocultura na região da Zona da Mata de Minas Gerais (CAMPANHA et al., 2004).

Esse fato se deve à interceptação de parte da radiação solar que chega à superfície durante o dia pelo dossel do componente arbóreo, o que reduz as temperaturas máximas e ao mesmo tempo as perdas noturnas, impedindo que a superfície do solo e os cafeeiros se resfriem, aumentando

também as temperaturas mínimas (CARAMORI et al., 2004), embora esta tenha se demonstrado muito semelhante entre os tratamentos no presente trabalho.

Independentemente da diminuição da amplitude térmica no sistema agroflorestal, de modo geral os tratamentos apresentaram temperaturas acima das ideais para o desenvolvimento do café, que é de 17 a 23 °C, com exceção de algumas fases específicas, como a germinação de sementes e a iniciação do botão floral, em que a planta requer temperaturas próximas aos 30 °C (CAMARGO, 1985; DAMATTA; RAMALHO, 2006).

Ainda assim, o fato da presença das árvores ser capaz de diminuir cerca de 2 °C a 4 °C na temperatura do ar, demonstra o grande potencial desses sistemas diante das projeções de acréscimo da temperatura global divulgadas pelo IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), que em uma perspectiva otimista, seria não menos que 1° C (IPCC, 2014).

Os valores médios de umidade do solo nas três profundidades avaliadas (10-30, 40-60 e 90-110 cm) nos diferentes tratamentos e a precipitação acumulada de sete dias anteriores a cada uma das vinte e quatro datas em que se determinou a umidade do solo, estão apresentados na Figura 4.

De maneira geral pôde-se observar que a umidade do solo foi influenciada pelo tratamento e pela profundidade, aumentando após eventos de chuva e reduzindo quando a precipitação acumulada foi baixa.

Na maioria das datas de avaliação, a camada mais superficial (10-30 cm) do solo do cultivo a pleno sol apresentou umidade menor, enquanto no SAF mais protegido da radiação (CP), se manteve mais úmida, possivelmente pela maior interceptação dos raios solares nesse tratamento, impedindo a evaporação rápida da água do solo para a atmosfera.

Devido a maior concentração de raízes (mais de 50 %) dos cafeeiros adultos ser verificada até 50 cm de profundidade (SAKIYAMA, 2015), essa também é a área de maior possível competição por água entre o cafeeiro e a macaúba. Apesar disso, essa condição não foi evidente no SAF mais exposto à radiação solar, que apresentou umidade similar ao pleno sol na camada 40-60 cm.

Na camada mais profunda (90-110 cm) os tratamentos apresentaram valores médios de umidade do solo similares.

Em nenhuma data de avaliação observaram-se teores de água acima da capacidade de campo ($0,44 \text{ m}^3/\text{m}^3$) estabelecida por Moreira (2015) no solo da mesma área experimental. Considerando ainda o ponto de murcha permanente determinado pelo autor para a camada de 20 a 40 cm do solo, que foi de $0,22 \text{ m}^3/\text{m}^3$, observaram-se valores muito próximos na camada mais profunda (90-110 cm): $0,19 \text{ m}^3/\text{m}^3$, $0,22 \text{ m}^3/\text{m}^3$ e $0,23 \text{ m}^3/\text{m}^3$ para os tratamentos CE, CP e PS, respectivamente. Esse evento foi observado em 22 de junho, data que corresponde ao período frio e seco da região e quando não houve precipitação acumulada nos dias anteriores à avaliação.

Na mesma área experimental Moreira (2015) encontrou solos mais úmidos na camada de 0 a 20 cm em linhas de cultivo de cafeeiros mais distantes (4,2 m) da macaúba, sugerindo que maiores espaçamentos entre a palmeira e o cafeeiro possam favorecer a umidade do solo, diminuindo os riscos de competição por água.

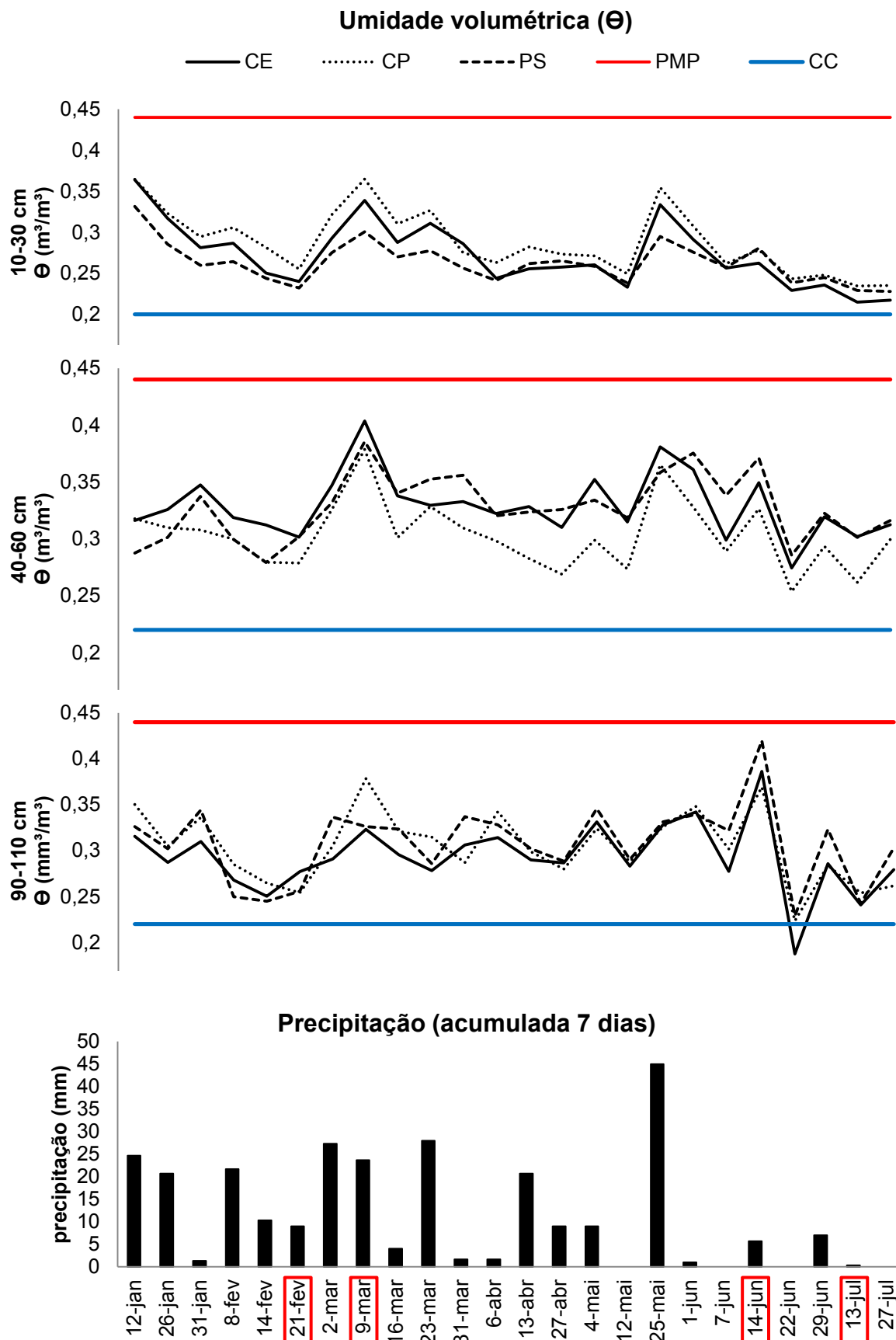


Figura 4: Valores médios de umidade do solo para os tratamentos CE (SAF mais exposto à radiação solar), CP (SAF mais protegido da radiação solar) e PS (pleno sol), em três profundidades (10-30, 40-60 e 90-110 cm); ponto de murcha permanente (PMP); capacidade de campo (CC); e precipitação acumulada de sete dias anteriores às medidas de umidade do solo.

Não foi verificada diferença estatística entre os tratamentos quanto às variáveis incremento em altura, diâmetro da copa e número de nós dos ramos plagiotrópicos no período de agosto de 2016 a junho de 2017 (Tabela 2), ou seja, o crescimento vegetativo dos cafeeiros foi similar independente da presença de macaúbas e das diferentes condições de radiação incidente no sistema.

Tabela 2: Médias do incremento na altura (INC ALT), diâmetro da copa (INC DCO) e número de nós dos ramos plagiotrópicos (INC NNO) de cafeeiros em sistema agroflorestal com macaúba, CE (SAF mais exposto a radiação) e CP (SAF mais protegido da radiação) e cultivados a pleno sol, PS (cultivo a pleno sol) de agosto de 2016 a junho de 2017, Viçosa, 2018.

TRATAMENTO	INC ALT	INC DCO	INC NNO
	(m)		
CE	0,35 a	0,36 a	6,20 a
CP	0,35 a	0,31 a	5,92 a
PS	0,26 a	0,26 a	5,87 a
C.V. (%)	21,20	35,19	19,43

Médias seguidas pelas mesmas letras na coluna não diferem entre si pelo teste Duncan a 5% de significância.

Houve diferença estatística com relação ao potencial hídrico foliar dos cafeeiros, exceto para a data 16 de março de 2017 (Figura 5), quando ocorreram os maiores valores (menos negativos) para essa característica. Isso se deve ao fato desta ter sido a data com maiores precedentes de chuva acumulada (Figura 4), resultando em plantas mais hidratadas independente do tratamento.

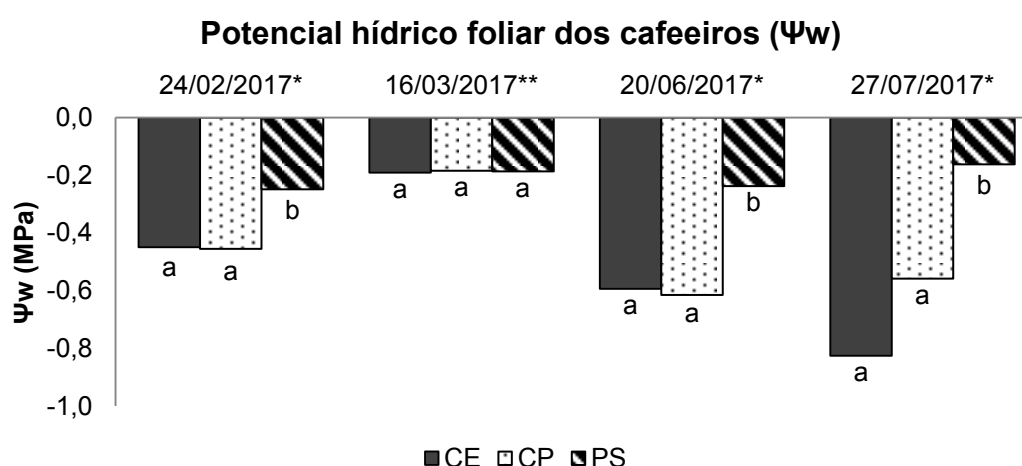


Figura 5: Médias do potencial hídrico foliar de cafeeiros para os tratamentos CE (SAF mais exposto à radiação solar), CP (SAF mais protegido da radiação solar) e PS (pleno sol) em quatro datas: 24 de fevereiro, 16 de março, 20 de junho e 27 de julho de 2017.

*Grupos de tratamento cujas médias são seguidas pelas mesmas letras em cada data não diferem entre si pelo teste Dunn ($p = 0,05$).

**Diferenças não significativas pelo teste Duncan a 5% de significância.

A presença das macaúbas diminuiu o potencial hídrico foliar do cafeeiro, sobretudo na época mais seca do ano, quando a planta geralmente já se encontra sob estresse hídrico devido aos baixos teores de água no solo. Esse período correspondeu às datas 20 de junho e 27 de julho.

A diferença de radiação fotossinteticamente ativa incidente nos tratamentos CE e CP (SAF mais exposto e mais protegido da radiação, respectivamente), parece não influenciar o potencial hídrico foliar do cafeeiro.

Levando em consideração que as raízes tendem a acompanhar o tamanho da parte aérea da planta, sendo que no SAF a média do diâmetro da copa dos cafeeiros foi de $1,43 \pm 0,14$ m e que as macaúbas adultas estavam localizadas a apenas 1,40 m do cafeeiro, pode-se inferir que o Ψ_w foliar foi influenciado principalmente pela competição por água no sistema agroflorestal, resultando na presença de cafeeiros com folhas menos hidratadas nos tratamentos CE e CP em relação ao cultivo a pleno sol.

Apesar das diferenças observadas entre os tratamentos, o potencial hídrico foliar dos cafeeiros não atingiu valores que afetam a fotossíntese em condições de campo, cerca de -1,5 MPa (DAMATTA; RAMALHO, 2006).

Em cultivo a pleno sol em Lavras-MG, cafeeiros em condições de campo às 6 h da manhã, apresentaram valor médio de potencial hídrico foliar de -0,83 MPa nos meses de junho e julho (SILVA et al., 2008), e esse potencial relacionou-se negativamente à produtividade de grãos, comparativamente a cafeeiros irrigados.

A média de potencial hídrico foliar dos cafeeiros cultivados a pleno sol ($-0,21 \pm 0,04$) nas quatro datas avaliadas foi muito semelhante às encontradas em mudas de café de apenas três meses e cultivadas sem restrição hídrica (CÉSAR et al., 2010), sugerindo que as plantas neste tratamento não estavam em condições de estresse hídrico.

Com relação à produção (Tabela 3), os cafeeiros cultivados no SAF com macaúba alcançaram maiores médias no ano de 2016. O oposto foi observado em 2017, quando os cafeeiros cultivados a pleno sol (PS) produziram mais do que aqueles em consórcio com macaúba.

Levando em consideração a média do biênio (2016/2017), os cafeeiros cultivados a pleno sol foram mais produtivos (Tabela 3), alcançando o triplo da produção daqueles cultivados no SAF.

Tabela 3: Médias da produção (kg de café beneficiado grão cru/planta) de cafeeiros em sistema agroflorestral com macaúba, CE (SAF mais exposto a radiação) e CP (SAF mais protegido da radiação) e cultivados a pleno sol, PS (cultivo a pleno sol) nos anos de 2016 (PRO16) e 2017 (PRO17), no biênio 2016/2017 (BIE) e rendimento de grãos no ano de 2017 (REN), Viçosa, 2018.

TRATAMENTO	PRO16**	PRO17*	BIE*	REN**
	(kg/planta)			(%)
CE	0,12 a	0,04 a	0,08 a	45,03 b
CP	0,13 a	0,06 a	0,10 a	51,46 a
PS	0,08 b	0,59 b	0,34 b	49,24 a
C.V. (%)	66,05	15,29	16,94	6,52

*Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem entre si pelo teste Duncan a 5% de significância.

**Grupos de tratamento cujas médias são seguidas pelas mesmas letras não diferem entre si pelo teste Dunn ($p = 0,05$).

Campanha et al. (2004) também relatam menor produção de grãos de café (média de dois anos) em SAF ($128,69 \pm 35,49$ g de matéria seca/planta) quando comparado aos cultivados sob pleno sol ($488,56 \pm 91,23$) na Zona da Mata Mineira.

Em Pedralva-MG, Pinto Neto et al. (2014) encontraram menores médias anuais (0,55 kg de café beneficiado/planta) em cafeeiros consorciados com araucária (*Araucaria angustifolia*) em intenso sombreamento, em relação àqueles cultivados a pleno sol (2,51 kg de café beneficiado/planta).

Estes resultados associados aos apresentados na Tabela 3, sugerem que a competição por recursos seja um fator limitante á produção de grãos de café em sistemas agroflorestrais na região.

No entanto, dados de produção coletados na mesma área experimental do presente estudo, sugerem que cafeeiros cultivados a 4,2 m da macaúba tem um maior potencial de produção (FERREIRA, 2017).

A competição por recursos hídricos entre a macaúba e o cafeeiro, sobretudo na fase de expansão rápida dos frutos, que corresponde aos meses de dezembro e janeiro para a Zona da Mata Mineira, segundo

monitoramento agrometeorológico para a região (CONAB, 2018), pode ter comprometido a produção de grãos nos cafeeiros em SAF.

A seca é considerada a principal causa de estresse ambiental ao cafeeiro, capaz de desencadear uma série de danos bioquímicos na planta, afetando diretamente o status hídrico e conseqüentemente seu potencial produtivo (DAMATTA, 2004a, 2004b; DAMATTA et al., 2007; DAMATTA; RAMALHO, 2006)

Nesse sentido, estudos tem relacionado positivamente o potencial hídrico foliar à produção de cafeeiros (SILVA et al., 2008), como observou-se no presente trabalho.

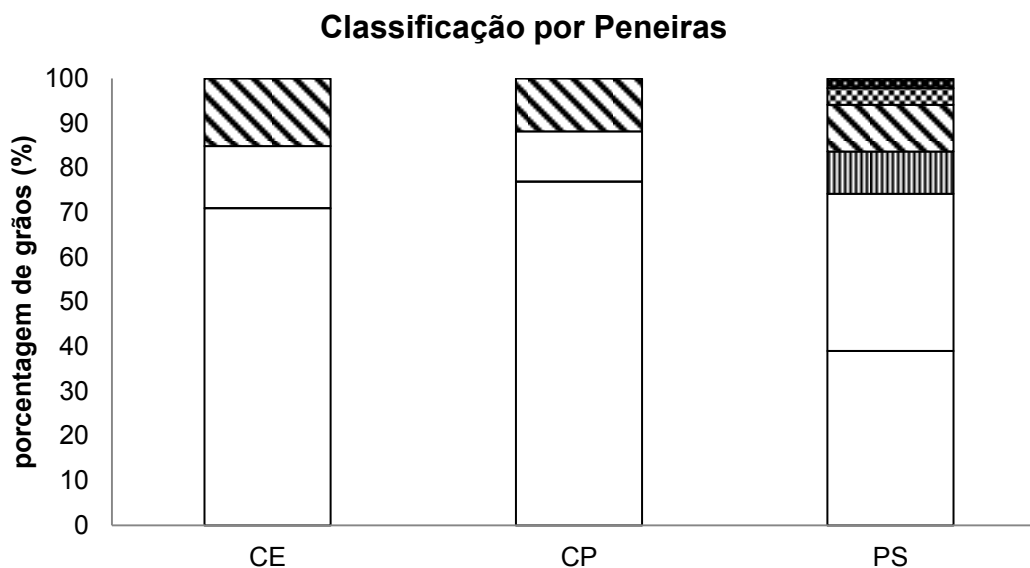
Apesar da alta produção observada nos cafeeiros cultivados a pleno sol no ano de 2017, os dados de crescimento (Tabela 2) indicam que essas plantas ainda possuem potencial de alcançar produção média-alta na próxima safra (2018), uma vez que a produtividade de grãos está intimamente ligada ao incremento no crescimento da planta no ano anterior e todos os tratamentos apresentaram crescimento vegetativo igual estatisticamente em 2017.

As características morfológicas, principalmente a intensidade da ramificação plagiotrópica, correlacionam-se positivamente com o potencial produtivo e negativamente com o porte das plantas (ALVES, 2007). A média da altura dos cafeeiros para os tratamentos CP, CE, e PS foram: 1,80 m \pm 0,15, 1,70 m \pm 0,11, e 1,62 m \pm 0,13, respectivamente.

O rendimento de grãos foi acima de 45% na relação grão beneficiado/casca (Tabela 3) em todos os tratamentos.

Os cafeeiros cultivados a pleno sol e aqueles consorciados com a macaúba e menos expostos à radiação apresentaram rendimento estatisticamente maior do que os consorciados com a macaúba e mais expostos à radiação solar. Essa condição pode ter acontecido devido a presença da macaúba conjuntamente com maior exposição solar, conseqüente com maior competição por recursos, sobretudo hídricos.

Com relação ao tamanho, os grãos provenientes do tratamento a pleno sol (PS) enquadraram-se em seis classes (Figura 6), enquanto os dos tratamentos sombreados (CE e CP) enquadraram-se em três, sendo que a maioria foi classificada como chato graúdo e portanto, mais uniformes.



□ Chato graúdo ▨ Chato médio ▮ Chato miúdo ▩ Moca graúdo ▤ Moca médio ▧ Moquinha

Figura 6: Porcentagem da classificação de café por peneiras em grãos provenientes dos tratamentos CE (SAF mais exposto à radiação solar), CP (SAF mais protegido da radiação solar) e PS (pleno sol).

A desuniformidade no tamanho e formato dos grãos é uma característica que pode afetar negativamente os processos de secagem e torração, o que por sua vez, afeta diretamente a qualidade final do produto (MARTINEZ; TOMAZ; SAKIYAMA, 2004).

5. CONCLUSÕES

A posição de plantio dos cafeeiros em relação à macaúba no SAF influencia a radiação fotossinteticamente ativa incidente, mesmo sob mesmo espaçamento.

A temperatura do ar foi influenciada pela presença da macaúba, sendo que a amplitude térmica foi maior quanto maior a radiação fotossinteticamente ativa incidente sobre os cafeeiros.

A umidade do solo foi influenciada pelas macaúbas do SAF e pela profundidade, aumentando após eventos de chuva e reduzindo quando a precipitação acumulada foi baixa.

O potencial hídrico dos cafeeiros foi influenciado pela macaúba no sistema agroflorestal, resultando em cafeeiros com folhas menos hidratadas em relação ao cultivo a pleno sol.

Além de mais produtivos, os cafeeiros cultivados a pleno sol apresentaram crescimento vegetativo similar aos cultivados em SAF com macaúba, sugerindo que na próxima safra possam alcançar resultados de produção semelhantes.

Os grãos de cafeeiros cultivados em SAF com macaúba foram mais homogêneos na classificação por peneiras, comparativamente àqueles cultivados sob pleno sol.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVES, J. D. Morfologia do cafeeiro. In: CARVALHO, C. H. S. DE (Ed.). **Cultivares de café**. Brasília, DF: EMBRAPA, 2007. p. 247.
- ASSAD, E. D. et al. Impacto das mudanças climáticas no zoneamento agroclimático do café no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, p. 1057–1064, 2004.
- BONFIM, J. A. et al. Fungos micorrízicos arbusculares (FMA) e aspectos fisiológicos em cafeeiros cultivados em sistema agroflorestal e a pleno sol. **Bragantia**, v. 69, n. 1, 2010.
- BOTELHO, C. E. et al. Cafeicultura: convivência do arábica com a seca e introdução do café conilon em regiões alternativas de Minas Gerais. **Informe Agropecuário**, v. 36, n. 285, p. 58–66, 2015.
- BRASIL. MINISTÉRIO DA AGRICULTURA PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **Instrução Normativa nº 8, de 11 de junho de 2003**. Diário Oficial da União, Poder Executivo, Brasília, DF. Seção 1, p. 4-6, 2003.
- CAMARGO, A. P. DE. Florescimento e frutificação do café arábica nas diferentes regiões (cafeeiras) do Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 20, n. 7, p. 831–839, 1985.
- CAMARGO, M. B. P. DE. The impact of climatic variability and climate change on arabic coffee crop in Brazil. **Bragantia**, v. 69, n. 1, p. 239–247, 2010.
- CAMPANHA, M. M. et al. Growth and yield of coffee plants in agroforestry

- and monoculture systems in Minas Gerais, Brazil. **Agroforestry Systems**, v. 63, n. 1, p. 75–82, 2004.
- CAMPANHA, M. M. et al. Análise comparativa das características da serrapilheira e do solo em cafezais (*Coffea arabica* L.) cultivados em sistema agroflorestal e em monocultura, na Zona da Mata MG. **Revista Árvore**, v. 31, n. 5, p. 805–812, 2007.
- CARAMORI, P. H. et al. Arborização de cafezais e aspectos climatológicos. In: MATSUMOTO, S. N. (Ed.). **Arborização de cafezais no Brasil**. Vitória da Conquista, BA: Edições Uesb, 2004. p. 213.
- CARGNIN, A. C. et al. **Potencial da macaubeira como fonte de matéria-prima para produção de biodiesel**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2008.
- CÉSAR, F. R. C. F. et al. Morfofisiologia foliar de cafeeiro sob diferentes níveis de restrição luminosa. **Coffee Science**, v. 5, n. 3, p. 262–271, 2010.
- COELHO, R. A. et al. Nível de sombreamento, umidade do solo e morfologia do cafeeiro em sistemas agroflorestais. **Revista Ceres**, v. 57, n. 1, p. 95–102, 2010.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO-CONAB. Acompanhamento da safra brasileira de café: primeiro levantamento safra 2018. **Companhia Nacional de Abastecimento - Conab**, v. 5, n. 1, p. 1–73, 2018.
- DAMATTA, F. M. Ecophysiological constraints on the production of shaded and unshaded coffee: a review. **Field Crops Research**, v. 86, n. 2, p. 99–114, 2004a.
- DAMATTA, F. M. Exploring drought tolerance in coffee: a physiological approach with some insights for plant breeding. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v. 16, n. 1, p. 1–6, 2004b.
- DAMATTA, F. M. et al. Ecophysiology of coffee growth and production. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v. 19, n. 4, p. 485–510, 2007.
- DAMATTA, F. M. et al. Impacts of climate changes on crop physiology and food quality. **Food Research International**, v. 43, n. 7, p. 1814–1823, 2010.
- DAMATTA, F. M.; RAMALHO, J. D. C. Impacts of drought and temperature

- stress on coffee physiology and production: a review. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v. 18, n. 1, p. 55–81, 2006.
- DUNN, O. J. Multiple comparisons using rank sums. **Technometrics**, v. 6, n. 3, p. 241–252, 1964.
- FERREIRA, R. de P. **Ecofisiologia do cafeeiro sombreado com macaúba em sistema agroflorestal**. 2017. 65f. Dissertação [Mestrado em Agroecologia] - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, 2017.
- GASPARI-PEZZOPANE, C. de et al. Influências ambientais no rendimento intrínseco do café. **Bragantia**, v. 64, n. 1, p. 39–50, 2005.
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE-IPCC. Summary for policymakers. In: FIELD, C. B. et al. (Eds.). **Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: 2014, 2014. p. 1–32.
- INTERNACIONAL COFFEE ORGANIZATION-ICO. **Coffee Market Report Internacional Coffee Organization**, 2017. Disponível em: <<http://www.ico.org/documents/cy2017-18/cmr-1217-e.pdf>>. Acesso em: 26 jan. 2018.
- JARAMILLO-BOTERO, C. et al. Produção de serapilheira e aporte de nutrientes de espécies arbóreas nativas em um sistema agroflorestal na Zona da Mata de Minas Gerais. **Revista Árvore**, v. 32, n. 5, p. 869–877, out. 2008.
- JOSE, S. Agroforestry for conserving and enhancing biodiversity. **Agroforestry Systems**, v. 85, n. 1, p. 1–8, 2012.
- KUMAR, D.; TIESZEN, L. L. Photosynthesis in *Coffea arabica*. I. Effects of light and temperature. **Experimental Agriculture**, v. 16, n. 1, p. 13–19, 1980.
- LÄDERACH, P. et al. Climate change adaptation of coffee production in space and time. **Climatic Change**, v. 141, n. 1, p. 47–62, 2017.
- LIN, B. B. Agroforestry management as an adaptive strategy against potential microclimate extremes in coffee agriculture. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 144, n. 1–2, p. 85–94, 2007.

- LIN, B. B. The role of agroforestry in reducing water loss through soil evaporation and crop transpiration in coffee agroecosystems. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 150, n. 4, p. 510–518, 2010.
- MARTINEZ, H. E. P.; TOMAZ, M. A.; SAKIYAMA, N. S. **Guia de Acompanhamento das Aulas Práticas de Cafeicultura**. Viçosa, MG: Editora UFV, DFT, 2004.
- MARTÍNEZ, M. L. et al. Effects of land use change on biodiversity and ecosystem services in tropical montane cloud forests of Mexico. **Forest Ecology and Management**, v. 258, n. 9, p. 1856–1863, 2009.
- MATOS, E. DA S. et al. Decomposition and nutrient release of leguminous plants in coffee agroforestry systems. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n. 1, p. 141–149, fev. 2011.
- MEDINA, J. M. **Crescimento de recepatas de cafeeiro e análise funcional dos micro-organismos do solo em sistema agroflorestal com macaúba**. 2016. 53f. Dissertação [Mestrado em Agroecologia] - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, 2016.
- MOGUEL, P.; TOLEDO, V. M. Biodiversity Conservation in Traditional Coffee Systems of Mexico. **Conservation Biology**, v. 13, n. 1, p. 11–21, 1999.
- MOREIRA, S. L. S. **Produtividade, qualidade do solo e aspectos microclimáticos em sistema agroflorestal de cafeeiro e macaúba**. 2015. 43f. Dissertação [Mestrado em Agroecologia] - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, 2015.
- MORTON, J. F. The impact of climate change on smallholder and subsistence agriculture. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 104, n. 50, p. 19680–19685, 2007.
- MOTOIKE, S.; KUKI, K. N. The potential of macaw palm (*Acrocomia aculeata*) as source of biodiesel in Brazil. **International Review of Chemical Engineering**, v. 1, p. 632–635, 2009.
- NASCIMENTO, E. A. et al. Alterações morfofisiológicas em folhas de cafeeiro (*Coffea arabica* L.) consorciado com seringueira (*Hevea brasiliensis* Muell. Arg.). **Ciência Rural**, v. 36, n. 3, 2006.
- NEVES, Y. P. et al. Teor de água e fertilidade do solo com cafeeiros cultivados em sistemas agroflorestais. **Revista Árvore**, v. 31, n. 4, p. 575–588, 2007.

- OVALLE-RIVERA, O. et al. Projected shifts in *Coffea arabica* suitability among major global producing regions due to climate change. **PLOS ONE**, v. 10, n. 4, p. 1-13, 2015.
- PEZZOPANE, J. R. M. et al. Microclimate in coffee plantation grown under grevillea trees shading. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 33, n. 2, p. 201–206, 2011.
- PEZZOPANE, J. R. M.; JÚNIOR, M. J. P.; GALLO, P. B. Caracterização microclimática em cultivo consorciado café/banana. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 11, n. 3, p. 256–264, 2007.
- PINTO, H. S. et al. **Aquecimento global e a nova geografia da produção agrícola no Brasil**. Campinas: Embrapa/Unicamp, 2008.
- PINTO NETO, J. N. et al. Efeito das variáveis ambientais na produção de café em um sistema agroflorestal. **Coffee Science**, v. 9, n. 2, p. 187–195, 2014.
- PIRES, T. P. et al. Ecophysiological traits of the macaw palm: A contribution towards the domestication of a novel oil crop. **Industrial Crops and Products**, v. 44, p. 200–210, 1 jan. 2013.
- R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. Vienna, Austria. R Foundation for Statistical Computing, , 2017.
- RICCI, M. DOS S. F. et al. Cultivo orgânico de cultivares de café a pleno sol e sombreado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, n. 4, p. 569–575, 2006.
- RICE, R. A. Agricultural intensification within agroforestry: The case of coffee and wood products. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 128, n. 4, p. 212–218, 2008.
- SAKIYAMA, N. S. O Café Arábica. In: SAKIYAMA, N. S. et al. (Eds.). **Café Arábica: do plantio à colheita**. Viçosa, MG: Editora UFV, 2015. p. 316.
- SANTANA, F. C. **Dinâmica da água no solo e modelagem de radiação em sistemas agroflorestais de café**. 2016. 73f. Dissertação [Mestrado em Agroecologia] - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, 2016.
- SANTOS, R. et al. Coffee yield and microenvironmental factors in a native tree agroforestry system in Southeast Minas Gerais, Brazil. **Journal of Sustainable Agriculture**, v. 36, n. 1, p. 54–68, 2012.

- SILVA, A. C. et al. Produtividade e potencial hídrico foliar do cafeeiro Catuaí, em função da época de irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 12, n. 1, p. 21–25, 2008.
- SOUZA, H. N. DE et al. Protective shade, tree diversity and soil properties in coffee agroforestry systems in the atlantic rainforest biome. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 146, n. 1, p. 179–196, 2012.
- STEEL, R. G. D.; TORRIE, J. H.; DICKEY, D. A. **Principles and Procedures of Statistics: A Biometrical Approach**. 3. ed. New York: McGraw-Hill, 1997.
- ZULLO, J. et al. Potential for growing arabica coffee in the extreme south of Brazil in a warmer world. **Climatic Change**, v. 109, n. 3–4, p. 535–548, 2011.