

SANDRO LUCIO SILVA MOREIRA

**PRODUTIVIDADE, QUALIDADE DO SOLO E ASPECTOS
MICROCLIMÁTICOS EM SISTEMA AGROFLORESTAL DE CAFEIEIRO
E MACAÚBA**

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
2015

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

T

M835p
2015

Moreira, Sandro Lucio Silva, 1989-
Produtividade, qualidade do solo e aspectos
microclimáticos em sistema agroflorestal de cafeeiro e
macaúbas / Sandro Lucio Silva Moreira. - Viçosa, MG, 2015.
x, 43f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Orientador : Raphael Bragança Alves Fernandes.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de
Viçosa.

Referências bibliográficas: f.40-43.

1. Agrossilvicultura. 2. Café - Cultivo. 3. Macaúba -
Cultivo. 4. Física do solo. 5. Climatologia agrícola .
I. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Solos.
Programa de Pós-graduação em Agroecologia. II. Título.

CDD 22. ed. 634.99

SANDRO LUCIO SILVA MOREIRA

**PRODUTIVIDADE, QUALIDADE DO SOLO E ASPECTOS
MICROCLIMÁTICOS EM SISTEMA AGROFLORESTAL DE CAFEIEIRO
E MACAÚBA**

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: 27 de fevereiro de 2015.

Anôr Fiorini de Carvalho

Tatiana Pires Barrella

Hemlley Maria Acioli Imbunzeiro
(Coorientadora)

Ricardo Henrique Silva Santos
(Coorientador)

Raphael Bragança Alves Fernandes
(Orientador)

Dedico este trabalho primeiramente à Deus que me deu forças para vencer mais uma batalha em minha vida e aos meus familiares, meus pais, minha sobrinha e em especial ao meu irmão Sérgio que sempre esteve presente nos momentos que mais precisei.

“Por mais que a tristeza dure uma noite a alegria vem ao amanhecer”
(Salmo 30:5)

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à Deus por estar sempre presente em minha vida, seguindo meus passos e iluminando meus caminhos, contribuindo para que meus sonhos se tornassem realidade.

Agradeço à minha Mãe que em todos os momentos de minha vida me apoiou, sendo a peça chave para que eu me tornasse o homem que sou hoje.

Ao meu pai que mesmo na dificuldade sempre contribuiu com minha formação profissional.

Agradeço ao meu irmão Sérgio que sempre esteve presente nessa jornada de minha vida, grande irmão que nunca mediu esforços para contribuir com minha formação, um grande amigo e um exemplo de pessoa batalhadora que sempre lutou para alcançar seus objetivos.

Agradeço ao meu primo Nelson, que sempre foi um pai, amigo e grande conselheiro.

À Universidade Federal de Viçosa e ao Programa de Pós-Graduação em Agroecologia.

Aos amigos do Programa de Pós-Graduação em Agroecologia, Aristides, Filipe, Natália, Aldo e Thiago, pelo companheirismo e amizade.

Aos meus amigos e “coorientadores” Cleverson e Paulo que sempre estiveram presentes durante o trabalho, desde a montagem do experimento à sua conclusão, fica meu agradecimento.

Ao Lucas Carvalho pelo auxílio durante o experimento.

À CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pela concessão de bolsa de estudos durante o curso.

Ao professor Raphael, meu orientador, que desde o início do trabalho acompanhou cada atividade, com grande competência e compromisso.

Ao professor Ricardo, meu coorientador, pelos conselhos e auxílio durante o trabalho.

À professora Hemlley, minha coorientadora, que me recebeu no DEA/UFV e se mostrou disposta a contribuir com o trabalho.

Aos professores, Teógenes e Mário Puiatti, que cederam os equipamentos para realização do trabalho.

Ao Leonardo, que muito contribui na coleta de campo e análises de laboratório durante o seu estágio.

Agradeço também as pessoas que neste momento fogem à minha memória, mas que, de alguma forma contribuíram, fazendo parte dessa história, muito obrigado.

BIOGRAFIA

SANDRO LUCIO SILVA MOREIRA, filho de Sebastião Moreira e Maria da Cruz Silva Moreira, nasceu em 31 de julho de 1989 em Viçosa – Minas Gerais.

No ano 2004 em Viçosa, concluiu o ensino fundamental no Colégio Estadual José Lourenço de Freitas e posteriormente o ensino médio no Colégio Estadual Doutor Raimundo Alves Torres no período de 2005 a 2007.

Em fevereiro de 2008 iniciou a graduação em Agroecologia no Instituto Federal do Sudeste de Minas Gerais – IFSUDESTE-MG, Rio Pomba-MG, local onde iniciou os trabalhos com pesquisa, ensino e extensão, enquanto bolsista do Programa de Educação Tutorial- PET-CAPES- Grupo PET-CIÊNCIAS AGRÁRIAS, concluindo a graduação em fevereiro de 2013.

Em março de 2013 iniciou o mestrado no Programa de Pós-Graduação em Agroecologia da Universidade Federal de Viçosa, submetendo-se à defesa em fevereiro de 2015.

SUMÁRIO

RESUMO	vii
ABSTRACT	ix
1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	4
3. MATERIAL E MÉTODOS	5
3.1. Localização e caracterização da área experimental	5
3.2. Caracterização físico-hídrica do solo	8
3.3. Caracterização microclimática	10
3.4. Avaliação de crescimento vegetativo do cafeeiro	11
3.5. Avaliação da produtividade e rendimento do cafeeiro	12
3.6. Análise estatística	12
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	13
4.1. Caracterização físico-hídrica do solo	13
4.1.1. Umidade do solo	13
4.1.2. Temperatura do solo	17
4.1.3. Qualidade física do solo	20
4.2. Caracterização microclimática	22
4.2.1. Temperatura	22
4.2.2. Sombreamento	25
4.2.3. Radiação fotossinteticamente ativa	26
4.3. Avaliação do crescimento vegetativo do cafeeiro	28
4.4. Avaliação da produtividade e rendimento do cafeeiro e sua relação com as variáveis avaliadas	30
5. CONCLUSÕES	39
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	40

RESUMO

MOREIRA, Sandro Lucio Silva, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2015. **Produtividade, qualidade do solo e aspectos microclimáticos em sistema agroflorestal de cafeeiro e macaúba.** Orientador: Raphael Bragança Alves Fernandes. Coorientadores: Ricardo Henrique Silva Santos e Hemlley Maria Acioli Imbunzeiro.

O Brasil é o maior produtor mundial de café, mas tendo em vista as mudanças climáticas previstas, associadas à elevação da temperatura do ar e à menor disponibilidade hídrica, bem como à utilização de práticas agrícolas inadequadas, a redução da produtividade do cafeeiro é um risco potencial, com sérios impactos à cafeicultura nacional. Neste contexto, a utilização de sistemas agroflorestais (SAFs) têm ganhando destaque como estratégia para minimizar os efeitos das mudanças climáticas sobre o cafeeiro, além de contribuir para a melhoria da qualidade do solo e ainda proporcionar renda mais estável ao agricultor. Por sua vez, a macaúba (*Acrocomia aculeata*) tem despertado recente interesse por ser uma palmeira nativa de florestas tropicais tipicamente brasileiras, por proporcionar diferentes produtos ao agricultor e ainda apresentar grande potencial de utilização como biocombustível. Entretanto, para o uso destas palmeiras em SAFs com cafeeiro torna-se necessário entender melhor as interações entre estas duas espécies vegetais, para a definição, dentre outras variáveis, do espaçamento ideal entre as mesmas e densidade de plantio das macaúbas, visando alcançar os ganhos ambientais desejados e, minimamente, a manutenção da produtividade do cafeeiro em níveis econômicos satisfatórios. Diante do exposto, o objetivo do presente trabalho foi avaliar, em condições de campo, a influência de SAFs com macaúbas na produtividade, nos aspectos microclimáticos e na qualidade física do solo de uma área cultivada com café na Zona da Mata de Minas Gerais. Para isso, promoveu-se o monitoramento da umidade e temperatura do solo, temperatura do ar, e radiação fotossinteticamente ativa (RFA) em diferentes épocas do ano, bem como a caracterização da qualidade física do solo e a quantificação da produtividade e o rendimento do cafeeiro. Os resultados obtidos indicaram que o SAF altera o microclima do cafezal, reduzindo a temperatura máxima do ar e a RFA global, bem como a

disponibilidade da RFA. A densidade de plantio das macaúbas e a distância das mesmas em relação aos cafeeiros em sistema de consórcio afetou o regime termo-hídrico do solo. Em comparação com o cultivo tradicional a pleno solo, os SAFs de café com macaúba proporcionaram maior rendimento de café beneficiado por área, sendo o maior incremento de produtividade da cultura verificado quando as palmeiras foram localizadas a 4,2 m de distância dos cafeeiros. A densidade das macaúbas na linha de plantio não afetou o rendimento e nem a produtividade do cafeeiro. Considerando todas as variáveis avaliadas, a maior produtividade do cafeeiro esteve relacionada à maior umidade do solo na camada de 20-40 cm, a maior disponibilidade da RFA global e as temperaturas máximas do ar menores do que 30 °C.

ABSTRACT

MOREIRA, Sandro Lucio Silva, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, February, 2015. **Productivity, soil quality and microclimate aspects in agroforestry coffee and macaúbas systems.** Adviser: Raphael Bragança Alves Fernandes. Co-advisers: Ricardo Henrique Silva Santos and Hemlley Maria Acioli Imbunzeiro.

Brazil is the world's largest producer of coffee. However, climate changes predicted, associated with increase in air temperature and decrease in water availability, along with inadequate agricultural practices can lead to reduce coffee yield, with serious and potential impacts on national coffee production. Moreover, the use of agroforestry systems (AFS) has been emphasized as a strategy to minimize the effects of climate change on coffee crop, and to contribute to the improvement of soil quality and to assure a more stable income to the farmer. On the other hand, macaúba trees (*Acrocomia aculeata*) have stimulated interest for being a native palm tree from typically Brazilian rainforests, providing different products to the farmer, as they still have great potential to be used as biofuel. Using these palm trees in agroforestry systems requires a good understanding of the interactions between them with the coffee crop in order to establish, among other variables, the ideal spacing between the two species as well as the density planting of Macaúba trees, with the purpose to achieve a balance between environmental gains and at least maintaining the coffee yield in satisfactory economic levels. Considering the above, this study aimed to evaluate, under field conditions, the influence of Macaúbas planting on productivity, microclimatic aspects and soil physical quality of an area under coffee crop located in the Zona da Mata in Minas Gerais State. Thus, soil moisture and temperature, air temperature, and photosynthetically active radiation (PAR) in different seasons in the selected SAF were carried out, besides the characterization of soil physical quality, and quantification of the productivity and coffee crop yield. It was observed that the SAF changed the microclimate of the coffee crop, causing the greatest effect on the maximum air temperatures, global RFA, as well as their availability. The planting density of macaúbas trees and their distance related to coffee in intercropping system affect the

thermo-hydric regime of the soil. The AFS of coffee associated with macaúba trees provides higher yield in processed coffee, as well as provides increase in productivity of the coffee crop when maintaining a 4.2 m distance from Macaúbas. Planting density of macaúba trees did not affect yield and productivity of coffee crop. Considering all the variables, the highest coffee crop yield were related to soil moisture ranging in 20-40 cm soil layer, global RFA availability and maximum air temperatures lower than 30 °C.

1. INTRODUÇÃO

O Brasil é o maior produtor mundial de café. No país, a variabilidade climática é apontada como a principal responsável por oscilações e frustrações de colheita nas regiões brasileiras tradicionalmente produtoras (Camargo, 2010). Neste contexto e diante do cenário esperado de mudanças climáticas globais, com potencial impacto sobre a produtividade em áreas produtoras, tornam-se relevantes os estudos visando avaliar alternativas para a manutenção da cultura do café nessas regiões.

Dentre as variáveis climáticas que afetam o crescimento e a produção do *Coffea arabica*, destacam-se como mais relevantes a variação da temperatura média anual, a disponibilidade de luz e a disponibilidade hídrica (Camargo, 2010). De acordo com o quinto relatório do Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 2013), são coincidentemente essas as variáveis mais propensas a serem alteradas no futuro, o que constitui um risco para a cafeicultura brasileira.

Como as alterações macroclimáticas são produzidas por fenômenos nem sempre manejáveis, propostas de mitigação para as possíveis consequências das mudanças climáticas têm sido associadas a intervenções no microclima. Dentre as alternativas, a utilização de sistemas agroflorestais (SAFs) vem ganhando destaque, surgindo como uma estratégia para minimizar os efeitos das mudanças climáticas sobre culturas agrícolas, entre elas, o cafeeiro (Fazuoli et al., 2007; Lin, 2010; Venturin et al., 2013), por meio da atenuação da radiação solar (Pezopane et al., 2010) e temperatura do ar (Morais et al., 2006; Pezzopane et al., 2010; Valentini et al., 2010), contribuindo assim também para a melhor eficiência de utilização da água no sistema. Adicionalmente, os

SAFs podem contribuir para a melhoria da qualidade física do solo (Aguiar, 2008) e proporcionar uma renda mais estável ao agricultor, gerada pelos produtos das espécies arbóreas no sistema.

O cultivo dos cafezais em SAFs era comum nas regiões norte e nordeste do Brasil até a década de 1960 (Jaramillo-Botero et al., 2006). Entretanto, esses sistemas contavam com alta densidade de espécies arbóreas e eram associados frequentemente à baixa produtividade do cafeeiro (Caramori et al., 2004), o que levou ao desestímulo da prática. Efeitos negativos sobre a produtividade são associadas à concorrência excessiva pela água, nutrientes e luz entre as espécies arbóreas e o cafeeiro. Porém, na década de 1970, com a introdução do termo arborização, relacionado ao sombreamento moderado e com objetivo de trazer benefícios para o cafeeiro, a prática renasce (Caramori et al., 2004). Surgiu então a necessidade de estudos envolvendo diferentes espécies arbóreas e variados espaçamentos, a fim de se buscar potencializar os benefícios dos SAFs aos cafeeiros e sua adequação às peculiaridades regionais, sem que ocorra redução da produtividade da cultura.

Dentre as espécies vegetais que podem compor um sistema agroflorestal, a Macaúba (*Acrocomia aculeata*) tem ganhado recente destaque, em especial pelo fato de ser uma palmeira amplamente distribuída em todo território brasileiro e apresentar grande potencial de utilização. Essa palmeira é encontrada em áreas abertas e relativamente secas (Mota et al., 2011), apresenta crescimento monopodial, pode atingir 20 metros de altura, sua frutificação ocorre durante todo ano e os frutos amadurecem, principalmente, entre setembro e janeiro (Lorenzi, 2006).

Um dos grandes potenciais de utilização da Macaúba que vêm chamando a atenção mais recentemente é a utilização de seus frutos para a produção de biocombustível, uma vez que tanto a polpa como a amêndoa, são ricas em lipídeos, que

é a matéria-prima para a produção de biodiesel. Além disso, esses dois componentes dos frutos podem ser utilizados em indústrias de alimentos, detergentes e cosméticos (Azevedo-Filho et al., 2012). O potencial biocombustível desta palmeira está registrado no Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB), lançado em 2004, e que teve como objetivo incentivar a compra deste tipo de matéria-prima diretamente de agricultores familiares. O destaque da palmácea no cenário atual pode ainda ser constatado na Lei Estadual nº 19.485/2011, do Estado de Minas Gerais, conhecida como Lei Pró-Macaúba, que visa a ampliação do seu cultivo para a produção de biodiesel (Carvalho et al., 2011). A lei mineira tem ainda como objetivo transformar a atividade em uma alternativa rentável para a agricultura familiar e o agronegócio, por meio do incentivo a pesquisas e outras iniciativas, visando o manejo sustentável da palmeira.

Ao se considerar a importância socioeconômica da atividade cafeeira para o país e, sobretudo, para o Estado de Minas Gerais, salienta-se que estudos que buscam relacionar a cultura da macaúba com a produção de café são relevantes. No entanto, para o uso desta palmeira em SAFs com cafeeiros é preciso entender melhor as interações entre estas duas espécies, para a definição, dentre outras variáveis, do espaçamento e densidade de plantio ideal entre elas, visando atingir o equilíbrio entre os ganhos ambientais e, como mínimo, a manutenção da produtividade do cafeeiro em níveis econômicos satisfatórios.

2. OBJETIVO

2.1. Objetivo Geral

O objetivo geral do presente estudo foi avaliar, em condições de campo, a influência da distância e densidade populacional do plantio de macaúbas na produtividade, qualidade física do solo e nos aspectos microclimáticos da cultura do café na Zona da Mata de Minas Gerais.

2.2. Objetivos específicos

Os objetivos específicos do presente estudo foram avaliar:

- a) o desenvolvimento vegetativo e a produtividade de café;
- b) a qualidade física do solo;
- c) o regime termo-hídrico do solo;
- d) a temperatura do ar e disponibilidade de radiação fotossinteticamente ativa;
- e) o efeito das variáveis físicas do solo, aspectos microclimáticos e a presença, densidade de plantio e distância das macaúbas na produtividade do cafeeiro.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Localização e caracterização da área experimental

O experimento foi conduzido no município de Viçosa (20°45'14" S e 42°52'53" W), Zona da Mata de Minas Gerais, em área experimental do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Viçosa (DFT/UFV). A área está localizada a 675 m de altitude, possuindo 17 % de declividade e face de exposição solar noroeste. A classe de solo no local é o ARGISSOLO VERMELHO AMARELO distrófico, com textura argilosa, cujas características químicas e físicas estão representadas na Tabela 1.

Para o presente estudo foi selecionado um experimento em andamento, de cultivo de café arábica, cultivar Oeiras, conduzido a pleno sol e consorciado com macaúbas (*Acrocomia aculeata*), instalado em novembro de 2007. No local foram delimitadas cinco áreas, que foram consideradas como tratamentos: cafeeiros cultivados a 1,4 m (T1) e a 4,2 m (T2) de distância de macaúbas plantadas em maior densidade, e cafeeiros cultivados a 1,4 m (T3) e a 4,2 m (T4) de distância das mesmas palmeiras plantadas em menor densidade, além do tratamento controle, correspondente ao cultivo do café a pleno sol (T5). As macaúbas, tanto na área de maior como de menor densidade de plantio, possuíam, em média, altura de 6 metros.

As densidades de plantio das macaúbas referem-se ao espaçamento entre plantas, que resultam em maior (11,20 x 2,80 m) e menor (11,20 x 4,40 m) densidade, e que equivalem ao plantio de 318 e 203 palmeiras ha⁻¹, respectivamente. Em toda a área, inclusive em T5, o espaçamento adotado para o cafeeiro foi o 2,80 x 0,75, com 4.762 plantas ha⁻¹ (Figura 1).

Tabela 1. Caracterização química e física do solo da área experimental, realizada em 2014 em uma amostra composta

Características químicas		Características físicas		
	0-20 cm		0-20 cm	20-40 cm
pH (H ₂ O)	5,98			
P (mg dm ⁻³)	2,60	Areia (%)	44	39
K (mg dm ⁻³)	103,7	Silte (%)	13	12
MO (dag kg ⁻¹)	1,91	Argila (%)	43	49
P-rem (mg L ⁻¹)	25,60			
m (%)	9,31	θCC (m ³ /m ³)	0,44	0,44
V (%)	30,63	θPMP(m ³ /m ³)	0,20	0,22
Ca (cmol _c dm ⁻³)	1,95			
Mg (cmol _c dm ⁻³)	0,66			
Al (cmol _c dm ⁻³)	0,20			
H+Al (cmol _c dm ⁻³)	4,41			
SB (cmol _c dm ⁻³)	2,87			
CTC (t) (cmol _c dm ⁻³)	3,07			
CTC (T) (cmol _c dm ⁻³)	7,28			

Extratores utilizados:
P, K: Mehlich 1
Al³⁺, Ca²⁺ e Mg²⁺: KCl 1 mol L⁻¹
H+Al: Acetato de Ca 0,5 mol L⁻¹
pH 7,0 pH em água, relação 1:2,5

SB= soma de bases trocáveis
CTC (t) = Capacidade de Troca Catiônica Efetiva
CTC (T) = Capacidade de Troca Catiônica pH 7,0
V = índice de saturação de bases
m = índice de saturação de alumínio
θCC : Umidade da capacidade de campo
θPMP: Umidade do ponto de murcha permanente

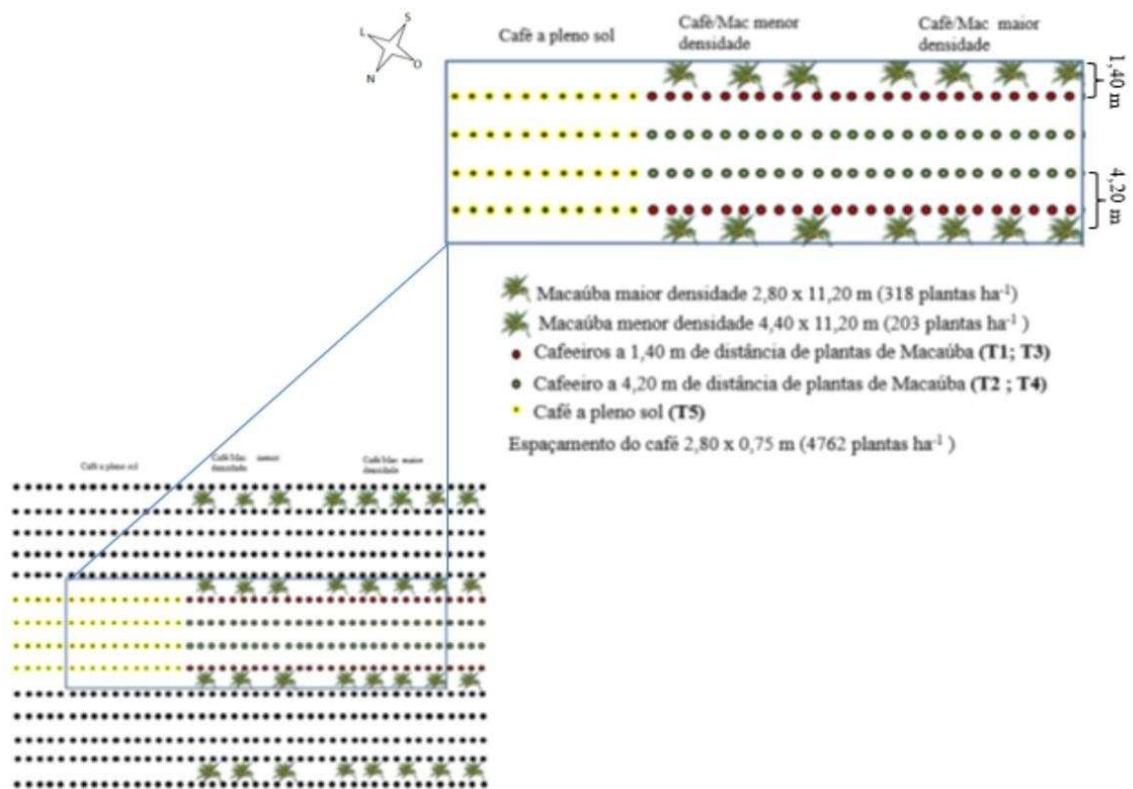


Figura 1. Croqui indicando a área experimental localizada no município de Viçosa Minas Gerais e os tratamentos avaliados: cafeeiros cultivados a 1,4 m (T1) e a 4,2 m (T2) de distância de macaúbas em maior densidade de plantio; a 1,4 m (T3) e a 4,2 m (T4) das palmeiras plantadas em menor densidade, e a pleno sol (T5).

Desde a implantação do experimento em novembro de 2007, todos os tratamentos recebem os mesmos tratamentos culturais, sendo que somente o cafeeiro recebeu anualmente adubação mineral correspondendo às doses recomendadas pela 5ª Aproximação da Recomendação para uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais (Guimarães et al., 1999), distribuídas em três aplicações durante o período chuvoso. Em 2013 e 2014 foram utilizadas, respectivamente, 100 e 150 gramas de adubação de formulação 20-5-20 por aplicação. O controle das plantas espontâneas foi realizado periodicamente em todos os tratamentos por meio de roçagem mecânica e os resíduos deixados sobre o solo.

3.2. Caracterização físico-hídrica do solo

A umidade e temperatura do solo foram monitoradas entre abril e agosto de 2014, período que coincide com a estação seca da região sudeste do país. Especificamente no ano de avaliação, a região recebeu ainda precipitações abaixo do esperado (Figura 2), sendo considerado inclusive um ano atípico. Por outro lado, a escassez hídrica pode ser considerada ideal para se avaliar o status da disponibilidade de água no solo, pois as variações nos diferentes ambientes tornam-se mais marcantes.

Para o monitoramento da umidade e temperatura do solo sensores (Decagon Em50) foram instalados no centro de duas camadas (0-20 e 20-40 cm de profundidade), com duas repetições (Figura 3). Essas camadas representam a região de maior concentração das raízes absorventes do cafeeiro (Rena e Guimarães, 2000), tornando-as importantes no monitoramento. Os sensores foram acoplados a um datalogger (Decagon ECH₂O Logger), sendo a coleta de dados programada para cada 60 minutos. Os sensores foram previamente calibrados em laboratório utilizando-se amostras de solo da área em estudo pelo método termogravimétrico.

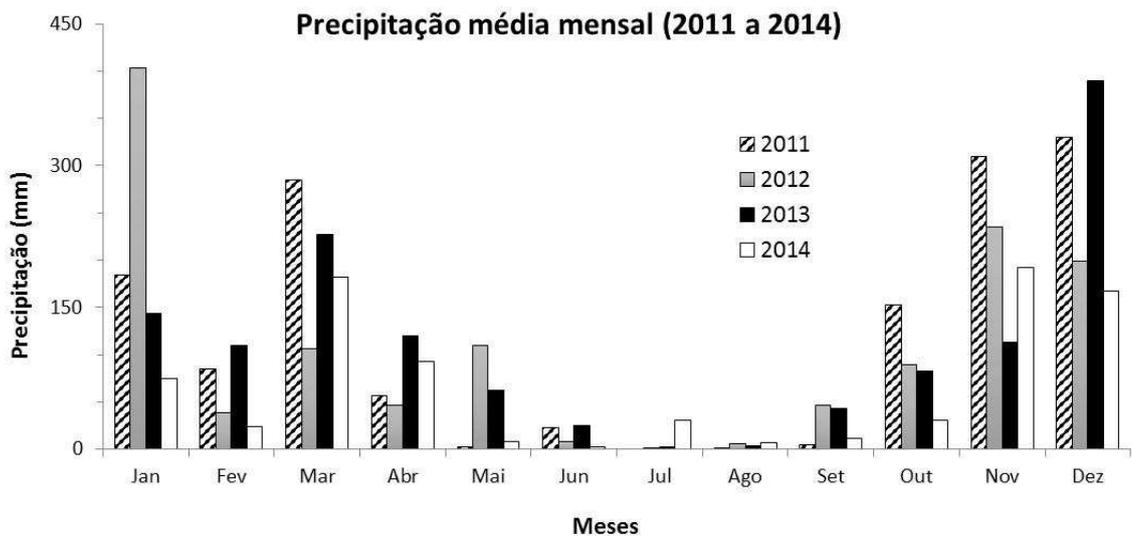


Figura 2. Distribuição da precipitação total mensal no município de Viçosa - MG. Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia - INMET, 2015.

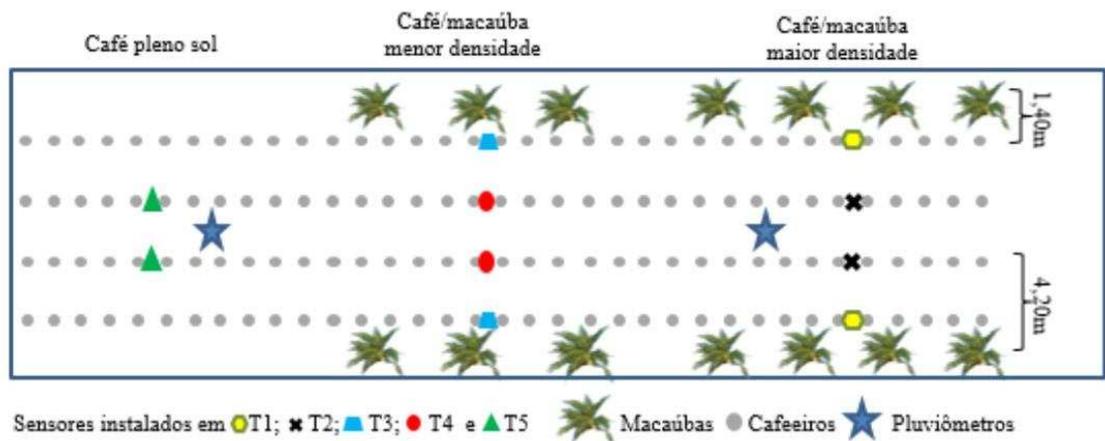


Figura 3 - Croqui indicativo da posição de instalação dos pluviômetros e sensores de umidade e temperatura do solo em duas profundidades (0-20 e 20-40 cm) nas fileiras do cafeeiro a 1,4 m e 4,2 m de distância das macaúbas plantadas em maior e menor densidade.

A precipitação no local do experimento foi monitorada no mesmo período de avaliação do regime termo-hídrico do solo, por meio de um pluviômetro. Diariamente, por volta das 16:30 h, o volume coletado pelo equipamento era mensurado, para compor um dado acumulado de precipitação.

Para a avaliação da qualidade física do solo, em março de 2014, quatro amostras indeformadas foram coletadas no centro das camadas de 0 a 10, 10 a 20, 20 a 30 e 30 a 40 cm de profundidade em cada um dos tratamentos na fileira do café. Nesta coleta foram utilizados anéis volumétricos de 5 cm de altura e amostrador tipo Uhland, sendo as amostras posteriormente manipuladas para a determinação da densidade do solo (D_s) e microporosidade (M_i). Posteriormente as amostras foram manipuladas para a determinação da densidade de partículas (D_p). A partir dos dados obtidos calculou-se a porosidade total do solo (P_T) e a macroporosidade (M_a) (Embrapa, 2011).

3.3. Caracterização microclimática

Para monitorar as temperaturas máxima e mínima do ar foram utilizados termômetros analógicos tipo capela de máxima e mínima. Os termômetros foram instalados em cafeeiros próximos aos sensores de umidade e temperatura do solo, entre as copas das plantas, a fim de evitar a incidência solar direta. A altura de instalação dos termômetros foi de 1,5 m de altura a partir do solo. As leituras foram realizadas diariamente no período da tarde (16 h 30 min) entre os meses de abril a agosto de 2014.

A caracterização do percentual de sombreamento e da radiação fotossinteticamente ativa (RFA) proporcionada pela copa da macaúba ao dossel do cafeeiro também foram avaliadas. Para isto, foi utilizado um Ceptômetro Accupar® de barra. O procedimento de leitura foi realizado acima do dossel do cafeeiro e em triplicata, em duas épocas do ano, sendo a primeira no dia 09/04/2014 e, a segunda, em

02/09/2014, ambas entre as 11 h 00 min e 12 h 00 min. Também foi calculado o percentual da RFA disponível, que foi obtido pela relação entre a RFA sobre os cafeeiros no SAF e a pleno sol (Pezzopane et al., 2010).

O percentual de sombreamento foi obtido por meio de fotos hemisféricas (Schleppi et al., 2007), que foram obtidas em cinco pontos em cada tratamento, nas fileiras do cafeeiro no mês de fevereiro de 2014. Uma câmera Canon T2i 18 megapixels e uma lente “fisheye”, montada num tripé com nível de bolha foi utilizada, sendo as imagens tomadas a 1,5 m do nível do solo, com a câmera apontada para o norte. As imagens foram obtidas no período antes do nascer do sol, em condições de luminosidade difusa, de modo a obter o máximo contraste possível entre as folhas e o céu (Whitford et al., 1995). Posteriormente, as fotos foram processadas em computador com o uso do programa GLS (Gap Light Analyzer © 2.0), com o objetivo de se estimar a porcentagem média de sombreamento no período de fevereiro a agosto de 2014 em cada tratamento.

3.4. Avaliação do crescimento vegetativo do cafezal

Dados do crescimento vegetativo do cafeeiro (números de folhas e número total de nós) foram coletados em seis ramos plagiotrópicos (dois em cada um dos terços inferior, médio e superior da planta) de plantas selecionadas aleatoriamente em cada tratamento. As mensurações foram realizadas em duas épocas no ano de 2014, em março (ao final do período de enchimento e maturação dos frutos) e em agosto (ao final da estação seca e fria e período de crescimento reduzido do cafeeiro).

3.4. Avaliação da produtividade e do rendimento médio do cafeeiro

A quantificação da produtividade do cafeeiro foi realizada nos anos de 2013 e 2014, a partir da coleta dos frutos produzidos em quatro conjuntos de quatro plantas selecionadas ao acaso em cada tratamento. Após a colheita, subamostras de massa conhecida foram encaminhadas para secagem até atingirem umidade entre 12 e 13%, sendo em seguida beneficiadas, a fim de se obter os valores de produtividade em quilograma por planta do grão beneficiado.

Também foi avaliado o rendimento médio percentual do cafeeiro, importante parâmetro no cálculo de custos e de receitas da lavoura, além de um indicativo da capacidade da planta encher os frutos formados (Silva et al., 2008). Para o cálculo do rendimento percentual dividiu-se a massa do grão beneficiado pela massa do café seco em coco e multiplicou-se o resultado por 100.

3.5. Análises estatísticas

Inicialmente na avaliação dos dados foi utilizada a estatística descritiva (média aritmética e desvio padrão). Para se avaliar a possível relação das variáveis físico-hídricas do solo, microclimáticas e a influência da presença, densidade de plantio e distância entre o cafeeiro e as macaúbas sobre a produtividade do cafeeiro, utilizou-se a técnica de modelagem de árvores de regressão ampliada (Boosted regression trees - BRT), conforme Schapire (2003) e Elith et al. (2008). Para isto foi utilizado o pacote gbm do Software R, versão 3.0.1, conforme recomendações de Elith et al. (2008).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Caracterização físico-hídrica do solo

4.1.1. Umidade do solo

A umidade do solo foi influenciada pelos tratamentos (Figura 4). Como esperado, após eventos de chuva, os teores de água no solo foram incrementados e, na sequência reduziram-se com o passar dos dias.

Na camada 0-20 cm de profundidade, a umidade do solo foi maior junto às fileiras de café cultivadas a 4,2 m de distância das macaúbas na maior parte do período de avaliação (abril a agosto de 2014), tanto na área de maior (T2) quanto na de menor (T4) densidade (Figura 4A). A maior proximidade das fileiras de café das macaúbas em plantio de maior densidade (T1) proporcionou a menor umidade no solo em todo o período avaliado, o que pode ser relacionado à maior extração de água pela palmeira, com consequências sobre a disponibilidade de água para os cafeeiros.

O solo do cafezal cultivado a pleno sol apresentou, inicialmente, umidade intermediária à verificada nas áreas de maior (T1 e T3) e menor (T2 e T4) distância das palmeiras. Porém, no período compreendido entre julho e agosto, auge do período de menor precipitação na região, foi o que permaneceu com a maior umidade do solo. Resultados semelhantes foram encontrados por Neves et al. (2007), em Viçosa-MG, que observaram no início do período seco, umidade do solo maior no cultivo arborizado na camada de 10-20 cm de profundidade. Entretanto, com o avanço do período seco, a umidade do solo passou a ser menor no cultivo arborizado em relação ao a pleno sol. Já em estudo realizado por Coelho et al. (2010), no sudoeste da Bahia, não foram

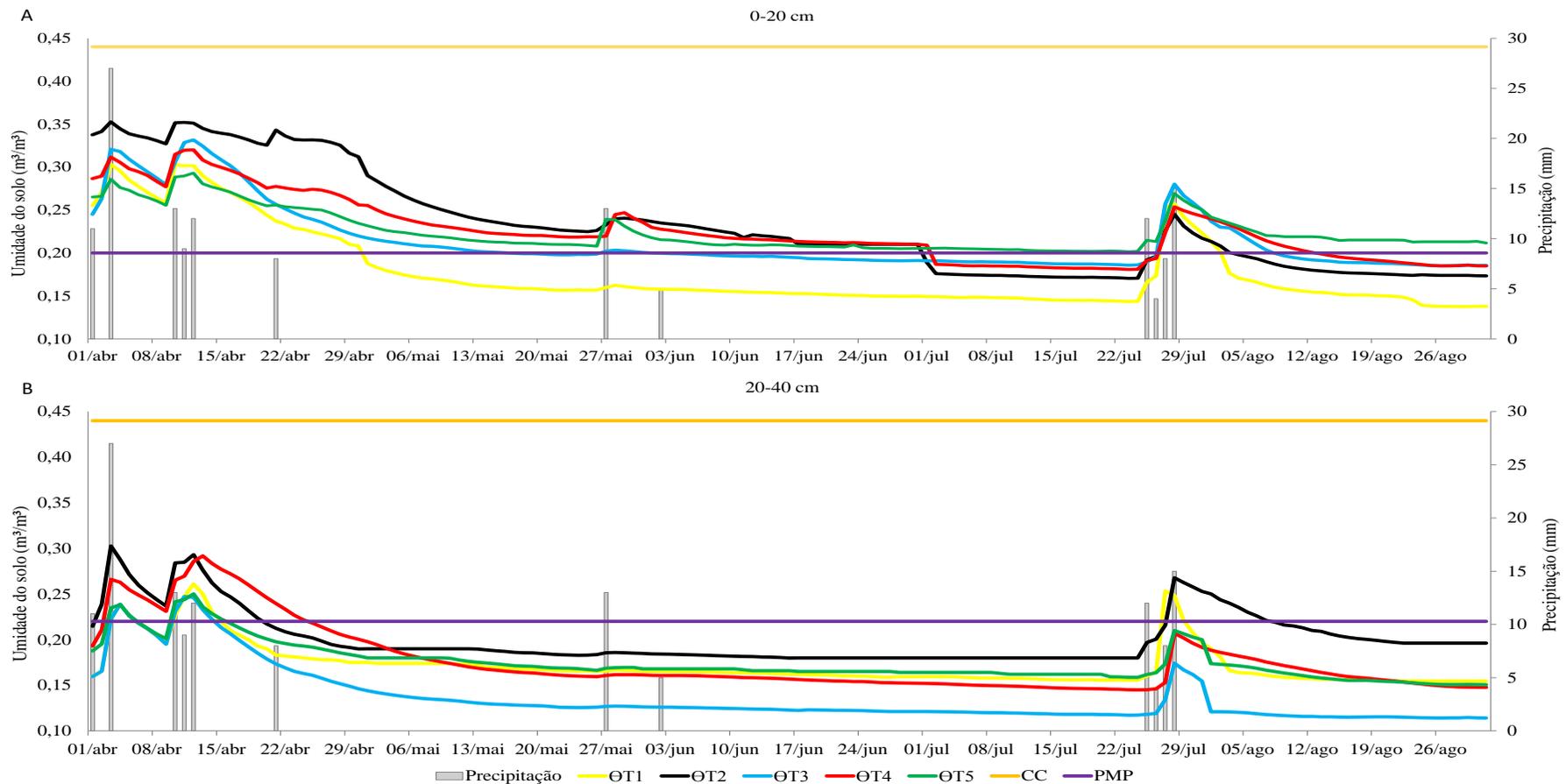


Figura 4. Umidade do solo (m^3/m^3) expressa em termos de média diária, umidade da capacidade de campo (CC) e ponto de murcha permanente (PMP) nas camadas de 0-20 cm (A) e 20-40 cm (B) e precipitação acumulada em 24 horas (mm) na área experimental formada por cafeeiros cultivados a 1,4 m (T1) e a 4,2 m (T2) de distância de macaúbas em maior densidade de plantio, a 1,4 m (T3) e a 4,2 m (T4) das palmeiras plantadas em menor densidade, e a pleno sol (T5).

observadas diferenças na umidade do solo na camada de 0-20 cm entre os sistemas arborizados e a pleno sol no mês de março (período chuvoso). No entanto, no mês de agosto, época mais seca naquela região, o solo do cafeeiro a pleno sol apresentou maior umidade. Resultados como esses mostram que, durante o período mais seco, pode haver intensificação na competição por água entre as espécies arbóreas e os cafeeiros nas camadas superficiais do solo. É importante ressaltar que esse comportamento pode ser diferente em regiões com alta pluviosidade, como verificado por Lin (2010), em Chiapas no México. Em seu trabalho foi observada menor umidade do solo na camada de 0-30 cm em ambiente com o menor percentual de sombra (10-30 %) em relação a outros com maior sombreamento (30-50 %) e (60-80 %), tanto na estação chuvosa quanto seca. Possivelmente tais resultados se devem à alta pluviosidade na região de estudo (3000 mm), aliada ao efeito do sombreamento, reduzindo a perda por evaporação e transpiração nas áreas com maior cobertura vegetal.

Na camada mais profunda avaliada (20-40 cm), a umidade do solo foi maior durante quase todo o período de avaliação nas fileiras de café situadas a maior distância das macaúbas plantadas em maior densidade (T2) (Figura 4B). A menor umidade do solo nesta camada subsuperficial foi verificada nas fileiras de café a 1,4 m das macaúbas em menor densidade de plantio (T3) em praticamente todo o período de monitoramento.

A umidade da capacidade de campo (CC) não foi alcançada no período de avaliação nas duas profundidades avaliadas de todos os tratamentos. Este fato já era esperado, devido a época de avaliação coincidir com a estação seca na região (Figura 2). Níveis de umidade do solo abaixo do ponto de murcha permanente foram observados na camada de 0-20 cm dos cafeeiros com menor distância das macaúbas em maior densidade (T1), entre maio e agosto de 2014, e na camada de 20-40 cm de todos os

tratamentos, entre abril e agosto de 2014 (Figuras 4A e 4B). Apesar disso, não foi observado morte de plantas, como também relatado por Neves et al. (2007) em Viçosa-MG, que atribuiu o ocorrido à absorção de água pelas raízes em camadas mais profundas do solo, não monitoradas no estudo e com maior disponibilidade hídrica. Além disso, o valor teoricamente definido como ponto de murcha permanente é bastante discutível quanto à sua aplicação prática, por ser difícil selecionar um único valor de potencial de água no solo que atenda à grande diversidade de espécies, todas com diferenciadas capacidades de enfrentar o estresse hídrico. Por fim, há de considerar que o período avaliado neste estudo coincide com o período no qual o cafeeiro requer menor umidade no solo, estando na fase de colheita e crescimento reduzido.

O requerimento hídrico do cafeeiro é maior durante o período de crescimento vegetativo e reprodutivo da cultura (Camargo, 1985), fase que, para a região em estudo, inicia-se em meados de setembro e vai até o final de junho. Entre os meses de setembro a março, caso ocorra baixa disponibilidade de água no solo, os efeitos na produtividade serão marcantes. Se há falta de água no solo no período de outubro a dezembro, período de desenvolvimento dos frutos (fase chumbinho) haverá atraso da expansão dos frutos, levando à redução do tamanho dos grãos e, conseqüente, à perda da produtividade (Silva et al., 2008). Entre os meses de janeiro a março, fase de granação dos frutos, a baixa disponibilidade hídrica provoca o chochamento dos grãos, conseqüentemente, um baixo rendimento e menor qualidade dos frutos (Camargo e Camargo, 2001). No entanto, no período entre abril e junho ocorre à maturação dos frutos, nessa etapa as deficiências hídricas moderadas beneficiam a qualidade do produto (Camargo e Camargo, 2001), por meio de uma maturação uniforme dos grãos, além de contribuir para o crescimento das raízes e favorecer a maturação dos ramos formados na estação chuvosa e a diferenciação floral das gemas (Sediyama et al., 2001). Porém, nessa fase o

déficit hídrico mais pronunciado pode afetar a abotoação, a floração e a frutificação do ano seguinte. Já na fase de abotoamento e dormência (julho a agosto), período que no presente estudo foram observados baixos níveis de precipitação, a deficiência hídrica é benéfica para o cafeeiro. Neste período a umidade do solo pode aproximar-se do ponto de murcha permanente, sem causar danos ao cafeeiro (Camargo, 1985), contribuindo assim, para um florescimento uniforme o que resulta em frutificação e maturação homogêneas na safra seguinte.

4.1.2. Temperatura do solo

A temperatura do solo entre abril e agosto acompanhou a tendência esperada do outono e inverno na região sudeste (Figura 5). Com o passar dos dias a temperatura do solo reduziu gradativamente, até esboçar um início de aumento ao final do tempo de monitoramento.

O cultivo do café a pleno sol (T5) foi o que apresentou a menor temperatura do solo nas duas profundidades avaliadas, em especial quando se verifica a queda na temperatura a partir do final de abril. Isto contrasta com relatos como o de Righi et al. (2005), que avaliaram cafeeiro consorciado com seringueira em São Paulo; o de Moraes et al. (2006), para cultivo de café sob sombra de guandu (*Cajanus cajan*) em Londrina-PR; e o de Bote et al. (2011) na Etiópia, que avaliaram cafeeiro sob sombra de diferentes espécies arbóreas. Em todos esses trabalhos, a temperatura do solo foi menor no cultivo de café sombreado em relação ao cafeeiro a pleno sol. Moraes et al. (2006) atribuem a menor temperatura do solo no cafeeiro sombreado com guandu à redução do fluxo de calor no solo causada pela massa (raízes, caule e folhas) acumulada no sistema, em comparação com o cafezal a pleno sol. No entanto, no presente estudo não se observa massa acumulada em nenhum dos ambientes, nem mesmo nos sombreados,



Figura 5. Temperatura do solo (°C) a 0-20 cm (A) e 20-40 cm (B) de profundidade, expressa em termos de média diária na área experimental formada por cafeeiros cultivados a 1,4 m (T1) e a 4,2 m (T2) de distância de macaúbas em maior densidade de plantio, a 1,4 m (T3) e a 4,2 m (T4) das palmeiras plantadas em menor densidade, e a pleno sol (T5).

uma vez que as macaúbas não incrementaram fitomassa significativa no solo.

É importante destacar, que o período avaliado também pode ter interferido nos resultados de temperatura do solo, uma vez que o monitoramento desta variável ocorreu em uma época menos quente do ano e, portanto, de menor aquecimento do solo. Assim sendo, a presença das palmeiras parecem permitir, ao mesmo tempo, que durante o dia a radiação solar penetre no solo nos tratamentos sombreados, e durante a noite promova algum tamponamento levando a uma menor perda de radiação de ondas longas, criando um microclima mais quente nos sistemas arborizados em relação ao cafeeiro a pleno sol, fazendo com que o solo fique mais aquecido no período avaliado, que corresponde ao mais frio para região. O efeito das palmeiras como quebra vento não pode ser descartado, uma vez que os ventos são mais comuns na região na época seca. Dessa forma, a presença das palmeiras oferece maior resistência à renovação do ar junto à superfície do solo, reduzindo assim a perda de calor do solo.

Diante do exposto, as palmeiras no sistema contribuem para a menor amplitude térmica do agroecossistema, como será abordado mais adiante na avaliação microclimática. Desta forma a presença do componente arbóreo pode contribuir para maior temperatura do solo no período frio da área de estudo, característica importante a ser considerada em regiões sujeitas a geadas, que causam grandes danos aos cafeeiros (Camargo, 2010).

4.1.3. Qualidade física do solo

Os tratamentos pouco afetaram a densidade do solo (Ds), densidade de partículas (Dp), macroporosidade (Ma), microporosidade (Mi) e porosidade total (Pt) (Tabela 2).

Efeitos positivos de sistemas agroflorestais sobre a qualidade de física do solo têm sido verificados, como no trabalho de Aguiar (2008) com cafezal consorciado com ingá e manejado durante 13 anos em Araponga-MG, no qual menores valores de Ds e Mi e maiores de Pt foram obtidos nos solos com cafezais sob SAFs em comparação aqueles cultivados a pleno sol. A divergência no que se refere aos efeitos nos atributos físicos do solo entre o presente estudo e o anteriormente indicado podem estar associados ao menor tempo de manejo (sete anos de cultivo), à pouca produção de massa na parte aérea da macaúba, à conformação mais vertical do sistema radicular da palmeira, e ao tipo de solo. Enquanto Aguiar (2008) realizou seus estudos em área de Latossolo, o presente estudo foi realizado em área de Argissolo, cuja característica de gradiente textural impõe maior restrição ao desenvolvimento de raízes para além das covas. Desta forma, como grande parte dos efeitos físicos de solo atribuídos aos SAFs são associados ao processo de desenvolvimento e morte de raízes, no caso da macaúba com seu sistema radicular mais verticalizado e ainda cultivada em solo com horizonte B textural, os efeitos podem ser compreensivelmente menores. Estudos futuros poderão avaliar ainda se o fator tempo de consórcio é outro a ser considerado nesta discussão.

Tabela 2. Atributos físicos do solo (média \pm desvio padrão) em diferentes profundidades dos tratamentos avaliados

Tratamentos	Ds	Dp	Ma	Mi	Pt
	----- g/cm ³ -----		----- m ³ /m ³ -----		
0 - 10 cm de profundidade					
T1	1,3 \pm 0,06	2,5 \pm 0,15	0,08 \pm 0,03	0,39 \pm 0,02	0,47 \pm 0,04
T2	1,4 \pm 0,10	2,6 \pm 0,04	0,06 \pm 0,03	0,39 \pm 0,02	0,45 \pm 0,04
T3	1,4 \pm 0,13	2,7 \pm 0,12	0,13 \pm 0,04	0,36 \pm 0,01	0,49 \pm 0,03
T4	1,4 \pm 0,05	2,6 \pm 0,13	0,07 \pm 0,04	0,38 \pm 0,01	0,45 \pm 0,05
T5	1,4 \pm 0,07	2,6 \pm 0,04	0,14 \pm 0,04	0,34 \pm 0,03	0,48 \pm 0,03
10 - 20 cm de profundidade					
T1	1,3 \pm 0,08	2,4 \pm 0,21	0,09 \pm 0,06	0,36 \pm 0,02	0,45 \pm 0,06
T2	1,3 \pm 0,09	2,6 \pm 0,11	0,11 \pm 0,04	0,37 \pm 0,02	0,48 \pm 0,05
T3	1,5 \pm 0,08	2,7 \pm 0,10	0,07 \pm 0,05	0,37 \pm 0,02	0,44 \pm 0,04
T4	1,4 \pm 0,01	2,5 \pm 0,15	0,08 \pm 0,04	0,37 \pm 0,04	0,45 \pm 0,03
T5	1,3 \pm 0,09	2,6 \pm 0,12	0,17 \pm 0,05	0,33 \pm 0,02	0,50 \pm 0,04
20 - 30 cm de profundidade					
T1	1,3 \pm 0,13	2,7 \pm 0,05	0,13 \pm 0,08	0,38 \pm 0,03	0,51 \pm 0,05
T2	1,4 \pm 0,07	2,6 \pm 0,12	0,10 \pm 0,03	0,39 \pm 0,02	0,49 \pm 0,02
T3	1,5 \pm 0,05	2,7 \pm 0,06	0,05 \pm 0,03	0,41 \pm 0,02	0,46 \pm 0,03
T4	1,4 \pm 0,15	2,7 \pm 0,10	0,10 \pm 0,08	0,38 \pm 0,10	0,48 \pm 0,05
T5	1,4 \pm 0,12	2,6 \pm 0,02	0,10 \pm 0,07	0,35 \pm 0,02	0,45 \pm 0,05
30 - 40 cm de profundidade					
T1	1,3 \pm 0,04	2,6 \pm 0,04	0,09 \pm 0,06	0,39 \pm 0,04	0,48 \pm 0,02
T2	1,4 \pm 0,02	2,6 \pm 0,10	0,06 \pm 0,07	0,40 \pm 0,07	0,46 \pm 0,02
T3	1,4 \pm 0,06	2,7 \pm 0,08	0,05 \pm 0,01	0,42 \pm 0,01	0,47 \pm 0,01
T4	1,4 \pm 0,09	2,5 \pm 0,14	0,06 \pm 0,05	0,39 \pm 0,02	0,45 \pm 0,03
T5	1,5 \pm 0,14	2,6 \pm 0,08	0,08 \pm 0,06	0,35 \pm 0,03	0,43 \pm 0,06

Ds: densidade do solo, Dp: densidade de partículas, Ma: macroporosidade, Mi: microporosidade, Pt: porosidade total. Tratamentos: cafeeiros cultivados a 1,4 m (T1) e a 4,2 m (T2) de distância de macaúbas em maior densidade de plantio, a 1,4 m (T3) e a 4,2 m (T4) das palmeiras plantadas em menor densidade, e a pleno sol (T5).

4.2. Caracterização microclimática

4.2.1. Temperatura

Os tratamentos avaliados influenciaram a dinâmica microclimática. O sistema de plantio a pleno sol (T5) apresentou maior amplitude térmica diária, com as maiores temperaturas máximas e as menores mínimas em relação aos demais tratamentos. No período de 22 a 27 de agosto, período no qual foram observadas as maiores temperaturas, o cafeeiro a pleno sol apresentou máxima de 39,75 °C e mínima de 4,5 °C, enquanto que, nos demais tratamentos a máxima foi de 35,25 °C, em T4, e a mínima de 5,75 °C, em T2 (Figura 6).

A avaliação dos valores médios obtidos sugere o efeito da arborização em amenizar os extremos de temperatura do ar. Desta forma, nos cafeeiros a pleno sol, a temperatura máxima média superou entre 1,3 a 2,9 °C as máximas obtidas no cafezal arborizado. Para a temperatura mínima do ar, a variação entre tratamentos foi menor, com a área a pleno sol apresentando temperatura 0,9 a 1,1 °C menor do que no café arborizado. De uma forma geral, em todos os tratamentos as temperaturas médias encontraram-se dentro da faixa ideal para o cafeeiro arábica, entre 18 a 22 °C (Assad et al., 2004) (Tabela 3). É importante ressaltar que a avaliação foi realizada no período de outono e inverno e, possivelmente e diante da tendência verificada, o monitoramento da temperatura nos períodos mais quentes da primavera e verão, apresentariam valores superiores à faixa de temperatura média ideal para o cafeeiro em T4 e T5.

Resultados semelhantes são relatados em Viçosa-MG (Campanha et al., 2004), no Paraná (Morais et al., 2006), São Paulo (Valentini et al., 2010; Pezzopane et al., 2011), e no Rio de Janeiro (Cocheto-Junior et al., 2011). Campanha et al. (2004) observaram redução durante um ano de 2,6 °C da temperatura máxima do ar e valores semelhantes quanto à temperatura mínima em SAF de espécies arbóreas nativas e



Figura 6. Temperatura do ar (°C) máxima (A) e mínima (B) diária, na área experimental formada por cafeeiros cultivados a 1,4 m (T1) e a 4,2 m (T2) de distância de macaúbas em maior densidade de plantio, a 1,4 m (T3) e a 4,2 m (T4) das palmeiras plantadas em menor densidade, e a pleno sol (T5).

Tabela 3. Temperaturas do ar (médias diárias \pm desvio padrão), no período de março a setembro de 2014 na área experimental

Temperatura	Temperatura média do ar ($^{\circ}$ C)				
	T1	T2	T3	T4	T5
Máxima	28,4 \pm 2,8	28,8 \pm 3,1	28,7 \pm 3,0	30,0 \pm 3,0	31,3 \pm 3,9
Mínima	11,9 \pm 3,5	11,9 \pm 3,6	12,1 \pm 3,6	12,2 \pm 3,5	11,0 \pm 3,8
Média	20,2 \pm 2,0	20,3 \pm 2,3	20,4 \pm 2,1	21,1 \pm 2,2	21,2 \pm 2,4

Tratamentos: cafeeiros cultivados a 1,4 m (T1) e a 4,2 m (T2) de distância de macaúbas em maior densidade de plantio, a 1,4 m (T3) e a 4,2 m (T4) das palmeiras plantadas em menor densidade, e a pleno sol (T5).

frutíferas com cafeeiros, quando comparados ao cafeeiro a pleno sol.

O aumento da temperatura do ar pode trazer vários danos para o cafeeiro e, como consequência, perda de produtividade da cultura (Camargo, 1985). Temperaturas médias anuais acima de 23 $^{\circ}$ C aceleram a maturação dos frutos, trazendo perdas na qualidade do produto (Camargo, 2010); acima de 30 $^{\circ}$ C ocasionam amarelecimento das folhas e redução do crescimento (DaMatta e Ramalho, 2006), e iguais ou acima de 34 $^{\circ}$ C, como foi observado com maior frequência em T5, podem favorecer o abortamento das flores (Sediyama, 2001), especialmente quando as altas temperaturas estão associadas a uma estação seca prolongada (Camargo 2010). Por outro lado, em zonas com uma temperatura do ar anual média inferior a 18 $^{\circ}$ C, o crescimento do cafeeiro é largamente deprimido (Camargo, 2010).

Os resultados indicam que o sistema agroflorestal avaliado tampona a temperatura do ar. Esta atenuação dos extremos de temperatura com o uso de árvores pode favorecer em dois sentidos a cultura do cafeeiro. Em primeiro lugar é uma alternativa para se enfrentar a elevação da temperatura média mundial esperada com as mudanças climáticas globais. Por outro lado, também pode contribuir para a proteção do

cafeeiro em regiões sujeitas a geadas que, mesmo de forma esporádica, pode limitar o sucesso da cafeicultura manejada a pleno sol (Camargo, 2010).

4.2.2. Sombreamento

Parte da possível influência do componente arbóreo em um sistema agroflorestal deve-se ao sombreamento que ele proporciona, e isto é dependente da distância da cultura principal das árvores. Na avaliação efetuada no presente estudo, as fotos hemisféricas indicaram que as fileiras de café cultivadas mais próximas (1,4 m) das macaúbas foram as mais sombreadas, tanto nos tratamentos de menor (51,8 % de sombreamento) quanto de maior (47,4 % de sombreamento) densidade de plantio das palmeiras (Figura 7). As fileiras de café mais distantes (4,2 m) das macaúbas são menos sombreadas, com percentual igual (30,1 %) nas duas densidades de plantio das palmeiras. Mesmo nesta maior distância, o percentual de sombreamento supera o recomendado por DaMatta (2004) para regiões tropicais, que indica valores em torno de 20 % que, se superado, pode acarretar perdas na produtividade da cultura. Já no tratamento a pleno sol (T5) constatou-se 2,1 % de sombreamento, devido ao auto-sombreamento proporcionado pela copa do cafeeiro. Resultados semelhantes ao do presente estudo foram verificados por Siles et al. (2010), que indicam que os níveis de sombreamento são diretamente relacionados com a descontinuidade da copa das árvores em SAFs e sua distância em relação aos cafeeiros.

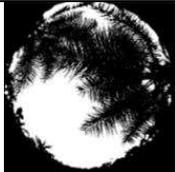
Tratamentos com os respectivos percentuais de sombreamento				
T1	T2	T3	T4	T5
				
51,8 %	30,1 %	47,4 %	30,1%	2,1%

Figura 7. Fotos hemisféricas representativas dos diferentes tratamentos e respectivos percentuais de sombreamento proporcionado pelas copas das macaúbas acima do dossel do cafeeiro. Tratamentos: cafeeiros cultivados a 1,4 m (T1) e a 4,2 m (T2) de distância de macaúbas em maior densidade de plantio, a 1,4 m (T3) e a 4,2 m (T4) das palmeiras plantadas em menor densidade, e a pleno sol (T5).

A proximidade das fileiras de café e as de macaúba e a densidade de plantio das macaúbas afetaram, como esperado, a RFA que alcança os cafeeiros nas duas épocas de amostragem (Tabela 4). Assim, os tratamentos com fileiras de café plantadas à distância de 1,4 m das fileiras de macaúba (T1 e T3) foram os mais afetados, sendo dentre eles o de maior densidade de plantio de palmeiras (T1) o que apresentou a menor disponibilidade de RFA. Também como esperado, as maiores taxas de RFA global acima da copa dos cafeeiros foram obtidas na área a pleno sol (T5). Por sua vez, as fileiras de café cultivado a uma maior distância das macaúbas (T2 e T4) apresentou em posição intermediária quanto à RFA.

Independentemente da densidade de plantio, na maior distância entre fileiras de café e linhas de palmeiras (4,2 m), os valores da RFA disponível foram maiores do que na menor distância (1,4 m) (Tabela 5). No maior distanciamento, a disponibilidade da RFA foi pouco afetada, estando os valores próximos de 100%. Entretanto, com a redução da distância, o percentual de radiação que alcança a copa do café é reduzido a próximo da metade (T3) ou menos do que a metade (T1). Efeitos semelhantes foram encontrados por Pezzopane et al. (2010) em um experimento conduzido em São Mateus-ES, em consórcio de café com macadâmia, em que os valores de

Tabela 4. Radiação fotossinteticamente ativa global (RFA) (média \pm desvio padrão) em Viçosa, MG nos diferentes tratamentos avaliados

RFA global ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) \pm Desvio Padrão			
Tratamentos	Data de amostragem		Média
	09/04/2014	02/09/2014	
T1	667,2 \pm 23,6	704,7 \pm 109,9	686,0 \pm 73,5
T2	1771,6 \pm 25,1	1715,3 \pm 16,2	1743,4 \pm 7,0
T3	1116,3 \pm 29,5	1005,0 \pm 40,3	1060,6 \pm 26,6
T4	1763,3 \pm 51,2	1724,3 \pm 75,4	1743,8 \pm 46,0
T5	1864,3 \pm 13,4	1760,3 \pm 36,4	1812,3 \pm 24,9
Média	1436,5 \pm 452,7	1381,9 \pm 454,9	

Tratamentos: cafeeiros cultivados a 1,4 m (T1) e a 4,2 m (T2) de distância de macaúbas em maior densidade de plantio, a 1,4 m (T3) e a 4,2 m (T4) das palmeiras plantadas em menor densidade, e a pleno sol (T5).

Tabela 5. Radiação Fotossinteticamente Ativa (RFA) disponível (% , média \pm desvio padrão) em Viçosa, MG nos diferentes tratamentos avaliados

RFA disponível (%) \pm Desvio Padrão			
Tratamentos	Data de amostragem		Média
	09/04/2014	02/09/2014	
T1	35,8 \pm 1,2	40,0 \pm 6,2	37,9 \pm 4,9
T2	95,0 \pm 1,3	97,4 \pm 9,3	96,2 \pm 4,5
T3	59,9 \pm 1,5	57,1 \pm 2,2	58,5 \pm 1,3
T4	94,6 \pm 2,7	97,9 \pm 4,2	96,2 \pm 2,5
Média	71,3 \pm 24,7	73,1 \pm 26,2	

RFA disponível: razão entre a RFA global medida em cafeeiros arborizados e a obtida em cafeeiros a pleno sol (T5) Tratamentos: cafeeiros cultivados a 1,4 m (T1) e a 4,2 m (T2) de distância de macaúbas em maior densidade de plantio, a 1,4 m (T3) e a 4,2 m (T4) das palmeiras plantadas em menor densidade, e a pleno sol (T5).

disponibilidade da RFA acima da copa dos cafeeiros foram menores nas fileiras de café a 2,5 m das macadâmias em relação às fileiras a 5,0 m.

A radiação solar é fator importante na floração e produção do cafeeiro (Queiroz-Voltan et al., 2011). No entanto, a exposição ao cafeeiro a altos níveis de radiação solar, aliada a altas temperaturas, como observado em T5, leva a decréscimos rápidos na fotossíntese (Morais et al., 2003), além de causar danos fotooxidativos ao cafeeiro, fato que é frequentemente observado em sistemas a pleno sol (DaMatta, 2004). Dessa forma, a utilização do componente arbóreo pode ser uma estratégia para amenizar a entrada de luz sob os cafeeiros, porém a interceptação da luz deve ser moderada, visto que o excesso de sombra pode acarretar reduções severas na produtividade da cultura.

4.3. Avaliação do crescimento vegetativo do cafeeiro

A presença, densidade de plantio e distância das macaúbas pouco afetou o crescimento das plantas de café durante o período monitorado (Figura 8). Embora possam ser considerados discretos, os maiores incrementos no número total de nós de março a agosto foram verificados nas fileiras de café a 4,2 m de distância de macaúbas, tanto na maior (T2) quanto na menor (T4) densidade de plantio, com o cafeeiro a pleno sol (T5) apresentando os menores incrementos. O baixo incremento do número de nós do cafeeiro era algo esperado, em função do período de avaliação não coincidir com o período vegetativo da cultura, que ocorre entre os meses de setembro a março, que coincide com o período chuvoso da região. Jaramillo-Botero et al. (2010) avaliaram o crescimento vegetativo do cafeeiro durante seis anos e em dois períodos - o primeiro nos três primeiros anos de cultivo (2001-2003) e, o segundo, de 2004-2006, e observaram que à medida que se aumentou o nível de bloqueio da RFA, verificou-se redução no número de nós, sendo tais efeitos mais pronunciados nos anos de alta

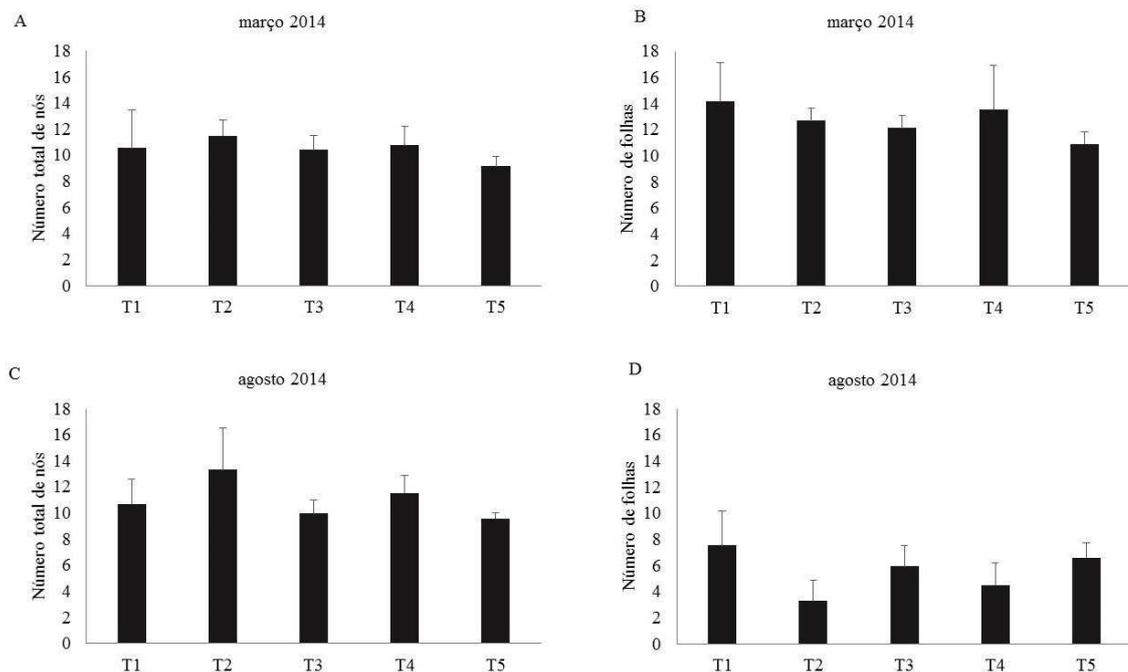


Figura 8. Crescimento de plantas de café mediante avaliação do número total de nós (A e B) e de folhas (C e D) por ramo, em duas épocas do ano, em cafeeiros cultivados a 1,4 m (T1) e a 4,2 m (T2) de distância de macaúbas em maior densidade de plantio, a 1,4 m (T3) e a 4,2 m (T4) das palmeiras plantadas em menor densidade, e a pleno sol (T5).

produtividade, que correspondeu ao segundo período de avaliação (2004-2006). Os resultados obtidos no presente estudo não seguem esta tendência, possivelmente pelo menor sombreamento proporcionado pelas palmeiras em relação aos níveis de sombreamento avaliadas por aqueles autores.

O número de folhas foi reduzido em todos os tratamentos na comparação dos dois períodos avaliados. A primeira avaliação ocorreu em março, ao final do período chuvoso e que compreende a fase final de crescimento e enchimento dos frutos. Já a segunda avaliação foi realizada no mês de agosto, que corresponde ao final do período seco e frio e de menor crescimento dos cafeeiros. Assim, tanto a elevada translocação de fotoassimilados no ano de alta produtividade, aliada ao período seco e à própria

operação de colheita causam a queda das folhas, justificando os menores valores obtidos no mês de agosto.

Na comparação entre os diferentes tratamentos, a maior redução do número folhas nas plantas de café foi verificada nas fileiras localizadas à maior distância das macaúbas, independente da densidade de plantio da palmeira (T2 e T4) (Figura 8). Em princípio não se relaciona a maior perda de folhas nestes tratamentos à presença ou mesmo à distância das macaúbas, mas sim, como será visto mais adiante, com a maior carga de frutos.

4.4. Avaliação da produtividade e rendimento do cafeeiro e sua relação com as variáveis avaliadas

A produtividade de uma cultura relaciona-se com o conjunto de determinantes bióticos e abióticos que afetam a planta durante seu crescimento. A produção é, portanto, consequência de como tais fatores afetaram a planta, e sua avaliação pode ser utilizada para se avaliar diferentes práticas e técnicas. No presente estudo, a produtividade e o rendimento de café beneficiado dos anos de 2013 e 2014 foram avaliados nos diferentes tratamentos.

No ano de 2013, ano de menor produtividade em relação ao ano de 2014, o sistema de cultivo a pleno sol (T5), com 0,232 kg de café beneficiadas por planta, apresentou produtividade mais elevadas do que os tratamentos com café arborizado (Figura 9). Apesar da variação na produtividade, todos os tratamentos apresentaram rendimento de café beneficiado semelhantes (Tabela 6).

Em 2014, os cafeeiros cultivados à maior distância das macaúbas apresentaram as produtividades mais elevadas, sendo de 0,720 (T2) e 0,681 (T4) kg de café beneficiado por planta, respectivamente. No sistema a pleno sol (T5), a produtividade

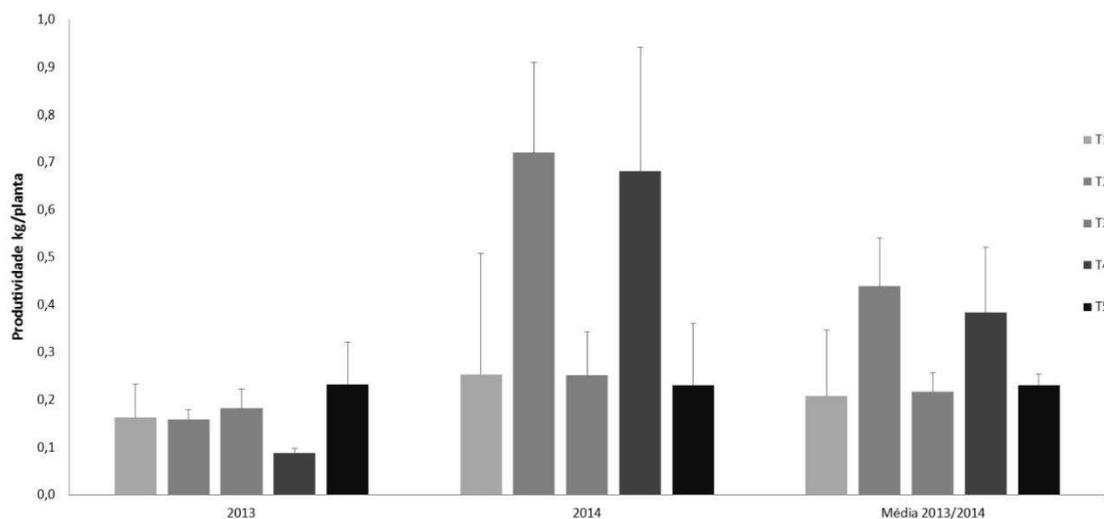


Figura 9. Produtividade em quilograma por planta de café beneficiado nos anos de 2013 e 2014 e produtividade média nos diferentes tratamentos: Cafeeiros cultivados a 1,4 m (T1) e a 4,2 m (T2) de distância de macaúbas em maior densidade de plantio, a 1,4 m (T3) e a 4,2 m (T4) das palmeiras plantadas em menor densidade, e a pleno sol (T5).

Tabela 6. Rendimento do café - percentual entre peso do grão e do fruto seco (média \pm desvio padrão) nos diferentes tratamentos avaliados

Rendimento médio do café (%)			
Tratamentos	Safra 2013	Safra 2014	Média
T1	55,2 \pm 0,05	55,7 \pm 0,02	55,4 \pm 0,04
T2	54,9 \pm 0,02	55,7 \pm 0,02	55,3 \pm 0,02
T3	53,8 \pm 0,04	57,9 \pm 0,02	55,8 \pm 0,04
T4	54,2 \pm 0,01	55,2 \pm 0,02	54,7 \pm 0,01
T5	54,6 \pm 0,02	46,4 \pm 0,03	50,5 \pm 0,05

Tratamentos: cafeeiros cultivados a 1,4 m (T1) e a 4,2 m (T2) de distância de macaúbas em maior densidade de plantio, a 1,4 m (T3) e a 4,2 m (T4) das palmeiras plantadas em menor densidade, e a pleno sol (T5).

de 0,230 kg de café beneficiado por planta foi similar à do ano anterior (Figura 9). O tratamento T5 foi ainda o que obteve o mais baixo rendimento do café beneficiado, indicando a vulnerabilidade do cafeeiro a pleno sol diante de eventos climáticos extremos, como o ocorrido no ano de 2014, devido à forte seca que atingiu a região. A proximidade entre as fileiras de café e as de macaúbas afetou a produtividade da cultura nas duas densidades de plantio da palmeira no ano de 2014 (T1 e T3), com tais tratamentos proporcionando colheitas semelhantes ao do cultivo a pleno sol.

As produtividades mais baixas associadas à proximidade das macaúbas podem ser relacionadas à baixa radiação solar que atinge as plantas de café em função do maior sombreamento, como indicado pelos maiores percentuais de sombreamento (Figura 7) e aos menores valores de RFA global (Tabela 4), bem como à disponibilidade da RFA (Tabela 5). Outro fator que pode ter contribuído para a redução de produtividade nestes tratamentos foi a menor umidade do solo verificada na proximidade dos cafeeiros mais próximos das macaúbas (Figura 4).

A avaliação do rendimento dos grãos (percentual entre peso do grão e do fruto seco) em 2014 indica que o efeito da distância das macaúbas passa a não ser mais determinante para diferenciar os tratamentos arborizados, tendo todos apresentado desempenho semelhante (Tabela 6). Por outro lado, esses cafeeiros em consórcio com a macaúba proporcionaram a obtenção de rendimento mais elevado que o cafezal cultivado a pleno sol, o que é fator importante para a remuneração do agricultor.

Os anos de menor (2013) e maior (2014) produtividade retratam bem a bienalidade da produção do café no Brasil. Neste sentido, o valor médio de dois anos foi considerado para fins de comparação. Quando este valor médio é analisado constatam-se produtividades mais elevadas nas fileiras de café cultivadas a 4,2 m de distância das macaúbas, tanto na maior (0,439 kg/planta) quanto na menor (0,384 kg/planta)

densidade de plantio (Figura 8). Os demais tratamentos, que incluem os cafezais mais próximos das macaúbas e o cultivado a pleno sol apresentaram produtividades semelhantes e mais baixas (Figura 9).

Ao avaliar a produtividade média (2013 e 2014) do cafeeiro em nível de sistemas, constataram-se maiores produtividades nos sistemas arborizados, em especial no consórcio com macaúba em maior densidade, que proporcionou o equivalente a 25,69 sacas de café beneficiado por hectare (sc/ha). Essa produtividade corresponde ao somatório de 495,2 kg de café beneficiado das fileiras próximas (1,4 m) e 1.046,4 kg das fileiras mais distantes (4,2 m) da cultura principal. Já o cafeeiro consorciado com macaúba em menor densidade, apresentou produtividade equivalente a 23,84 sc/ha, que corresponde a soma da produtividade de 516,7 kg de café beneficiado das fileiras próximas (1,4 m) e 914,304 kg das fileiras distantes (4,2 m). O sistema de cultivo de café a pleno sol apresentou a menor produtividade, 18,33 sc/ha, correspondendo a 1.100,0 kg de café beneficiado por hectare. Destaque importante que deve ser ressaltado é que além do café, os sistemas arborizados ainda proporcionam a produção de macaúba, que no presente estudo não foi valorado, devendo ser considerada em pesquisas futuras.

Apesar da forte seca que atingiu a região no ano de 2014, a presença das macaúbas a uma maior distância das fileiras do café parece ter contribuído para a obtenção de uma maior produtividade. Novamente a explicação pode estar na manutenção de uma maior umidade no solo nestes tratamentos, proporcionada pelo sombreamento e pela menor competição por água, garantido pela maior distância dos cafeeiros.

No que se refere ao consórcio com o café, a associação com árvores desempenha influência importante na produtividade. Ausência de efeito e incremento na

produtividade de cafeeiros sob sombreamento moderado em relação ao café a pleno sol são comuns (Solo-Pinto et al., 2000; Ricci et al., 2006; Cochetto-Junior et al., 2011). Entretanto, quando ocorre sombreamento excessivo, as perdas de produtividade podem ser consideráveis (Campanha et al., 2004; Morais et al., 2006; Camargo, 2007; Jaramillo-Botero et al., 2010). Em estudo conduzido por Jaramillo-Botero et al. (2010) em Viçosa-MG, a produtividade do cafeeiro diminuiu com o aumento do sombreamento, sendo o efeito observado nos anos de alta produtividade. Disto resulta a menor produtividade verificada no presente estudo nas fileiras de café mais próximas das macaúbas. Enquanto estas plantas de café eram submetidas a sombras de 51,8 % (T1) e 47,4 % (T3), os cafeeiros mais distantes tinham percentual de sombreamento de 30,1 % (Figura 7). A maior distância café-macaúba resultou em menor sombra, que ainda assim foi suficiente para reduzir as perdas de água do sistema, como indica a maior umidade do solo obtida nestes tratamentos.

A utilização da análise de árvores de regressão ampliada (Boosted Regression Trees – BRT) visou verificar a influência das variáveis físico-hídricas do solo e das variáveis microclimáticas na produtividade do cafeeiro no ano de 2014, ano no qual as variáveis foram monitoradas. As variáveis que mais se relacionaram ao aumento da produtividade do cafeeiro foram umidade do solo maior que $0,18 \text{ m}^3/\text{m}^3$ na camada de 20-40 cm de profundidade (Figura 10A), valores RFA global acima de $1000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (Figura 10B) e temperaturas máximas do ar menores que $30 \text{ }^\circ\text{C}$ (Figura 10C). Essas três variáveis responderam juntas por 93,74 % da influência relativa, ou seja, de todas as variáveis microclimáticas e físico-hídricas avaliadas, essas foram as que mais se relacionaram com o incremento da produtividade do cafeeiro. Coincidentemente essas variáveis são as que mais afetam o crescimento e a produtividade do cafeeiro arábica (Camargo, 2010).

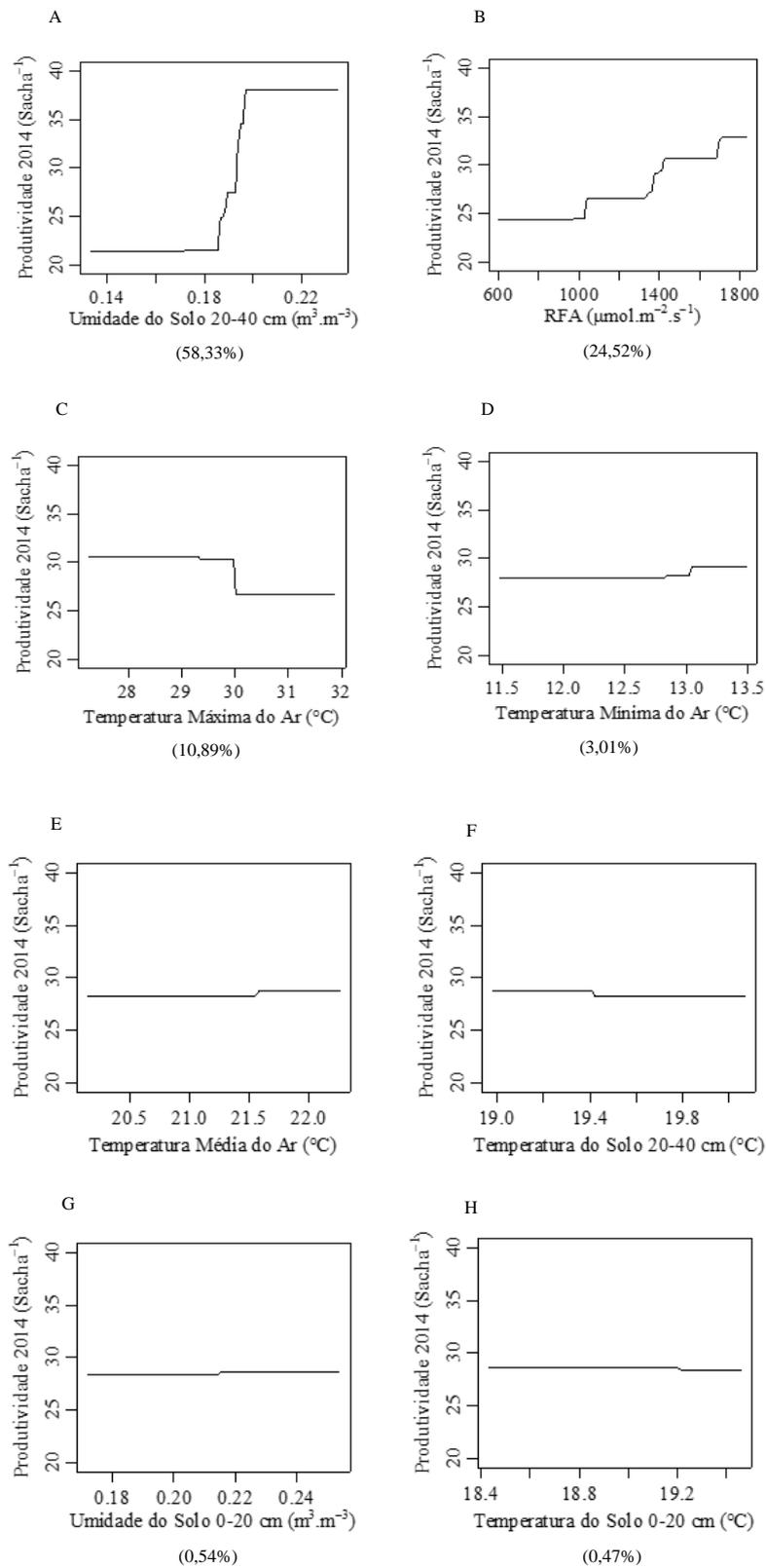


Figura 10. Resultados da análise de árvores de regressão ampliada (BRT), indicando a relação das variáveis físico-hídricas do solo e microclimáticas sobre a produtividade do cafeeiro para o ano de 2014 e sua influência relativa (%).

Por sua vez, a temperatura mínima do ar (Figura 10D), temperatura média do ar (Figura 10E), temperatura do solo na camada 20-40 cm (Figura 10F), umidade do solo na camada de 0-20 cm (Figura 10G) e temperatura do solo na profundidade 0-20 cm (Figura 10H) foram as variáveis que menos se relacionaram com os ganhos de produtividade do cafeeiro, respondendo juntas por apenas 6,25 % da influência relativa.

A análise BRT permitiu ainda verificar a influência da densidade de plantio das macaúbas e sua distância em relação às variáveis que mais se relacionaram com o ganho de produtividade dos cafeeiros para o ano de 2014 (umidade do solo na camada de 20-40 cm; RFA global e temperatura máxima do ar). As maiores produtividades do cafeeiro foram associadas às macaúbas plantadas em maior densidade (Figura 11A) e a 4,2 m de distância dos cafeeiros (Figura 11B).

A umidade do solo na camada de 20-40 cm foi determinada principalmente pela densidade de plantio da macaúba. A elevada influência relativa da forma de plantio da palmeira (71,9 %) em relação à umidade do solo indicou que a manutenção de maior umidade no solo na referida camada foi associada à maior densidade de plantio da macaúba (Figura 11C). A distância entre as fileiras de café e as macaúbas pouco afetou a umidade nesta camada (Figura 11D). Ou seja, parece ter sido mais um efeito de proteção quanto à perda de umidade do solo por evaporação do que de menor competição por água com a cultura principal.

Por sua vez, a distância dos cafeeiros às macaúbas foi determinante na contribuição da RFA global para a produtividade, enquanto que a densidade de plantio das palmeiras pouco influenciou aquela variável (Figuras 11E e 11F). Assim a maior distância de cultivo, com uma influência relativa de 98,6 %, proporcionou maior disponibilidade de RFA para o cafeeiro, em intensidade semelhante ao do cultivo a pleno sol.

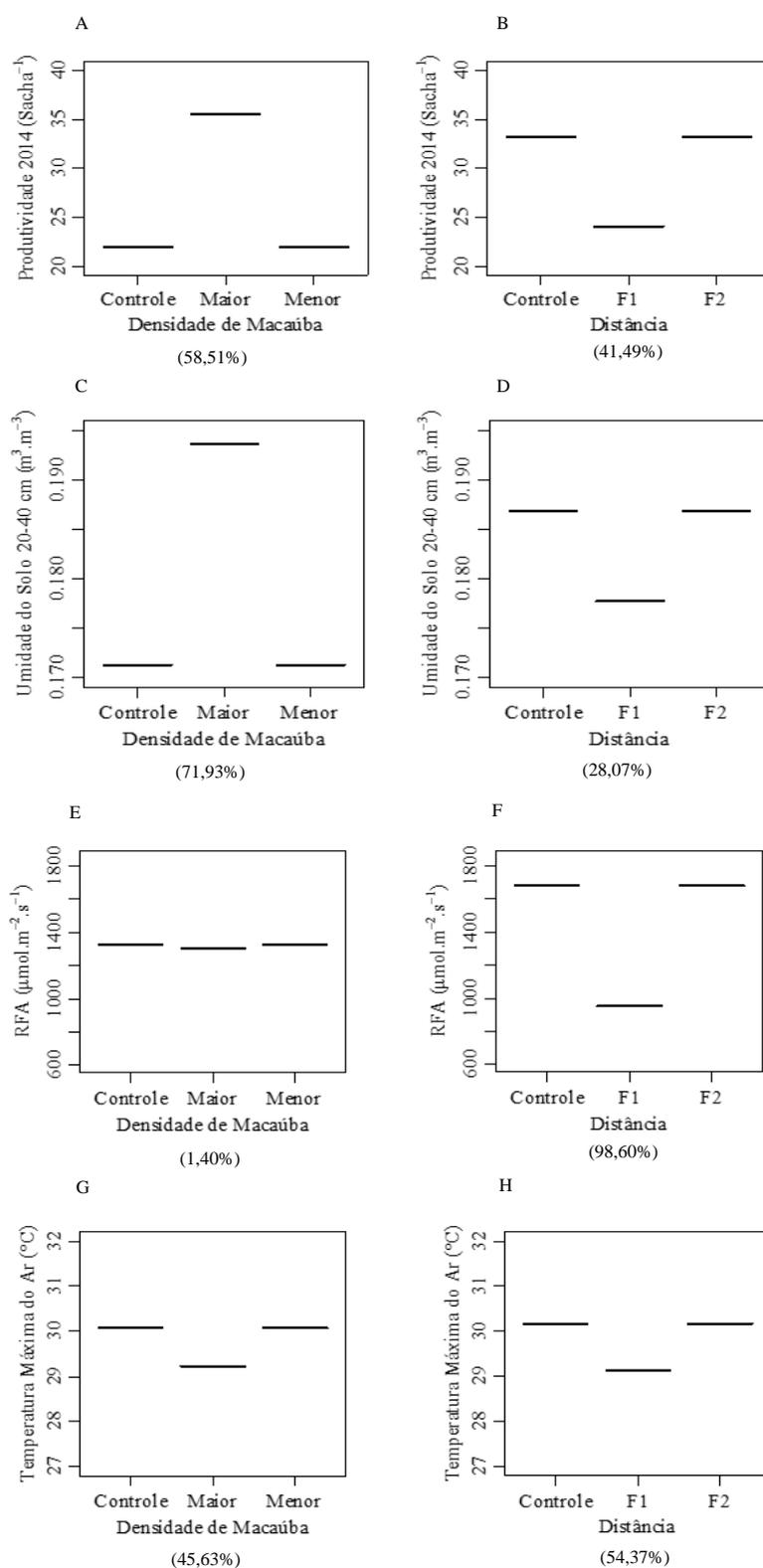


Figura 11. Resultados da análise de árvores de regressão ampliada (BRT) para algumas variáveis de cafeeiros cultivados em sistema arborizado com macaúbas e a pleno sol, em função da densidade maior (318 plantas ha⁻¹) e menor (203 plantas ha⁻¹) de plantio das palmeiras, e em função das distâncias F1 (1,4 m) e F2 (4,2 m) dos cafeeiros em relação às macaúbas.

A temperatura máxima do ar foi influenciada tanto pela densidade de plantio como pela distância das macaúbas aos cafeeiros. Condições de menor temperatura máxima foram associadas aos cafeeiros cultivados nas fileiras mais próximas das macaúbas e ao plantio das palmeiras em maior densidade (Figuras 11G e 11H). Ambas as situações implicam em maior interceptação de luz solar pela copa das macaúbas e consequente atenuação da temperatura do ar.

5. CONCLUSÕES

As macaúbas alteram o microclima do cafezal em sistema agroflorestal, proporcionando redução das temperaturas máximas do ar e da intensidade e disponibilidade da radiação fotossinteticamente ativa.

A densidade de plantio das macaúbas e a distância das mesmas em relação aos cafeeiros em sistema agroflorestal afetam o regime termo-hídrico do solo.

Sistema agroflorestal de café e macaúba proporciona vantagens na produtividade e rendimento do café em situações climáticas com elevada temperatura e reduzida pluviosidade, quando comparado com o cultivo a pleno sol.

Maior umidade do solo na camada de 20-40 cm de profundidade, maior radiação fotossinteticamente ativa global e temperaturas máximas do ar menores que 30 °C relacionam-se com a maior produtividade do cafeeiro.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGUIAR, M.I. **Qualidade física do solo em sistemas agroflorestais**. 2008. 89p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa – MG.
- ASSAD, E.D; PINTO, H.S; JUNIOR, J.Z; ÁVILA, A.M.H. Impacto das mudanças climáticas no zoneamento agroclimático do café no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.39, p.1057-1064, 2004.
- AZEVEDO-FILHO, J. A.; COLOMBO, C.A.; BERTON, L.H.C. Macaúba: palmeira nativa como opção bioenergética. **Pesquisa e Tecnologia**, v.9, n.2,10p, 2012.
- BOTE, A.D; STRUIK, P.C. Effects of shade on growth, production and quality of coffee (*Coffea arabica*) in Ethiopia. **Journal of Horticulture and Forestry**, vol. 3, p.336-341, 2011.
- CAMARGO, A.P. O clima e a cafeicultura no Brasil. **Informe Agropecuário**, v.11, p.13-25, 1985.
- CAMARGO, A.P.; CAMARGO, M.B.P. Definição e esquematização das fases fenológicas do cafeeiro arábica nas condições tropicais do Brasil. **Bragantia**, v.60, p.65- 68, 2001.
- CAMARGO, F.T. **Crescimento e maturação de fruto do café (*Coffea arabica* L.) em sistema arborizado e em monocultivo**. 2007. 42p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia). Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.
- CAMARGO, M.B.P. The impact of climatic variability and climate change on arabic coffee crop in Brazil. **Bragantia**, v.69, p.239-247, 2010.
- CAMPANHA, M.M., SANTOS, R.H.S., DE FREITAS, G.B., MARTINEZ, H.E.P.,GARCIA, S.L.R.,FINGER, F.L. Growth and yield of coffee plants in agroforestry and monoculture systems in Minas Gerais, Brazil. **Agroforestry Systems**, v.63, p. 75-82, 2004.
- CARAMORI, P.H.; KATHOUNIAN, C.A.; MORAIS, H.; LEAL, A.C.; HUGO, R.G.; ANDROCIOLI FILHO, A. **Arborização de cafezais e aspectos climatológicos**. In: MATSUMOTO, S.N. (Org.). Arborização de cafezais no Brasil. Vitória da Conquista: Edições UESB, cap. 3, p. 85-119. 2004.
- CARVALHO, K.J; SOUZA, A.L; MACHADO, C.C. **Ecologia, Manejo, Silvicultura e Tecnologia da Macaúba**. Convênio de Cooperação Técnica SECTES/FAPEMIG / Polo de Excelência em Florestas / Universidade Federal de Viçosa, 32p, 2011.

- COCHETO-JUNIOR, D.G; RICCI, M.S.F; ALMEIDA, F.F.D. Alterações microclimáticas em cultivos arborizados do cafeeiro sob manejo orgânico. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento**. EMBRAPA AGROBIOLOGIA, p.20, 2011.
- COELHO, R.A; MATSUMOTO, S.N; LEMOS, C.L; SOUZA, F.A. Nível de sombreamento, umidade do solo e morfologia do cafeeiro em sistemas agroflorestais. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 57, p. 095-102, 2010.
- DAMATTA, F.M. Ecophysiological constraints on the production of shaded and unshaded coffee: a review. **Field Crops Research**, v.86, p.99-114, 2004.
- DAMATTA, F.M; RAMALHO, J.D.C. Impacts of drought and temperature stress on coffee physiology and production: a review. **Brazilian Journal Plant Physiology**, v.18, p.55-81, 2006.
- ELITH, J., LEATHWICK, J.R., HASTIE, T. A working guide to boosted regression trees. **Journal of Animal Ecology**, v. 77, p. 802–813, 2008.
- EMBRAPA - Serviço Nacional de Levantamento e Conservação do Solo. **Manual de métodos de análise do solo**. Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura. 230p, 2011.
- FAZUOLI, L.C.; THOMAZIELLO, R.A.; CAMARGO, M.B.P. Aquecimento global, mudanças climáticas e a cafeicultura paulista. **O Agrônomo**, v.59, n.1, p.19-20, 2007.
- GUIMARÃES, P. T. G.; GARCIA, A. W. R.; ALVARES, V. H.; PREZOTTI, L. C.; VIANA, A. S.; MIGUEL, A. G.; MALAVOLTA, E.; CORRÊA, J. B.; LOPES, A. S.; NOGUEIRA, F. D.; MONTEIRO, A. V. C.; OLIVEIRA, J. A.. Cafeeiro. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ V., V. H. (Ed.). **Recomendações para o uso de Corretivos e Fertilizantes em Minas Gerais (5ª Aproximação)**. Viçosa, MG: CSFSEMG/UFV, p.289-302, 1999.
- INMET-INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. BDMEP-Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa. Brasília, 2015. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>>. Acesso em: 16. Mar.2015.
- IPCC, 2013: **Climate Change 2013: The Physical Science Basis**. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp, doi: 10.1017/CBO9781107415324.
- JARAMILLO-BOTERO, C; MARTINEZ, H.E.P; SANTOS, R.H.S. Características do café (*Coffea arábica* L.) sombreado no norte da América Latina e no Brasil: análise comparativa. **Coffee Science**, v.1, n.2, p.94-102, 2006.
- JARAMILLO-BOTERO, C; SANTOS, R.H.S; MARTINEZI; CECON, P.R; FARDINI, M.P. Production and vegetative growth of coffee trees under fertilization and shade levels. **Scientia Agricola**, v.67, p.639-645, 2010.

- 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, p. 510–518, 2010.
- LORENZI, G.M.A.C. *Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. ex Mart.- Arecaceae: bases para o extrativismo sustentável. **Tese** (Doutorado em Ciências Agrárias) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 256.p, 2006.
- MORAIS, H; CARAMORI, P.H; RIBEIRO, A.M.A; GOMES, J.C; KOGUISHI, M.S. Microclimatic characterization and productivity of coffee plants grown under shade of pigeon pea in Southern Brazil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, p.763-770, 2006.
- MORAIS, H; MARUR, C.J; CARAMORI, P.H; RIBEIRO, A.M.A; GOMES, J.C. Características fisiológicas e de crescimento de cafeeiro sombreado com guandu e cultivado a pleno sol. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 38, p. 1131-1137, 2003.
- MOTA, C.S; CORRÊA, T.R; GROSSI, J.A.S; CASTRICINI, A; RIBEIRO, A.S. Exploração sustentável da macaúba para a produção de biodiesel: colheita, pós-colheita e qualidade dos frutos. **Informe Agropecuário, Belo Horizonte**, v.32, p.41-51, 2011.
- NEVES, Y.P; MARTINEZ, H.E.P; SOUZA, C.M; CECON, P.R. Teor de água e fertilidade do solo com cafeeiros cultivado em sistemas agroflorestais. **Revista Árvore**, v.31, p.575-588, 2007.
- PEZZOPANE, J.R.M; MARSETTI, M.M.S; SOUZA, J.M; PEZZOPANE, J.E.M. Condições microclimáticas em cultivo de café conilon a pleno sol e arborizado com nogueira macadâmia. **Ciência Rural**, v.40, p.1257-1263, 2010.
- PEZZOPANE, J.R.M; SOUZA, P.S; ROLIM, G.S; GALLO, P.B. Microclimate in coffee plantation grown under grevillea trees shading. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 33, p. 201-206, 2011.
- QUEIROZ-VOLTAN, R.B; FAHL, J.I; CARELLI, M.L.C. Diferenciação floral em cafeeiro arábica (*Coffea arabica* L.) sob diferentes níveis de radiação. **Coffee Science**, v. 6, n. 3, p. 256-268, 2011.
- RENA, A. B; GUIMARÃES, P.T.G. Sistema radicular do cafeeiro: estrutura, distribuição, atividade e fatores que o influenciam. Belo horizonte: EPAMIG, 80p. (Documento, 37), 2000.
- RICCI, M.S.F; COSTA, J.R; PINTO, A.N; SANTOS, V.L.S. Cultivo orgânico de cultivares de café a pleno sol e sombreado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, p.569-575, 2006.
- RIGHI, C.A; BERNARDES, M.S; LUNZ, A.M.P; MORAES, S.O; Van LIER, Q.J. Variação diária da temperatura do solo em um sistema agroflorestal de cafeeiro (*Coffea arabica* L.) com seringueiras (*Hevea brasiliensis* MÜELL. ARG.). Simpósio de Pesquisa dos CAFÉS do Brasil (4. 2005:Londrina, PR). **Anais**. Brasília, DF: Embrapa Café, 2005.

- SCHAPIRE, R.E. **The boosting approach to machine learning: an overview.** Nonlinear Estimation and Classification, Springer, v. 171, p.149–171, 2003.
- SCHLEPPI, P.; CONEDERA, M.; SEDIVY, I.; THIMONIER, A. Correcting non-linearity and slope effects in the estimation of the leaf area index of forests from hemispherical photographs. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.144, p.236–242. 2007.
- SEDIYAMA, G.C.; MELO JUNIOR, J.C.F.; SANTOS, A.R.; RIBEIRO, A.; COSTA, M.H.; HAMAKAWA, P.J.; COSTA, J.M.N.; COSTA, L.C. Zoneamento agroclimático do cafeeiro (*Coffea arábica* L.) de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.9, p.501-509, 2001.
- SILES, P; HARMAND, J; VAAST, P. Effects of *Inga densiflora* on the microclimate of coffee (*Coffea arabica* L.) and overall biomass under optimal growing conditions in Costa Rica. **Agroforestry Systems**, v.78, p.269–286, 2010.
- SILVA, C.A; TEODORO, R.E.F; MELO, B. Produtividade e rendimento do cafeeiro submetido a lâminas de irrigação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.43, p.387-394, 2008.
- SOTO-PINTO, L; PERFECTO.I; CASTILLO-HERNANDEZ, J; CABALLERO-NIETO, J. Shade effect on coffee production at the northern Tzeltal zone of the state of Chiapas, Mexico. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v.80, p.61–69, 2000.
- VALENTINI, L.S.P; CAMARGO, M.B.P; ROLIM, L.S; SOUZA, P.S; GALLO, P.B. Temperatura do ar em sistemas de produção de café arábica em monocultivo e arborizados com seringueira e coqueiro-anão na região de Mococa, SP. **Bragantia**, v. 69, p.1005-1010, 2010.
- VENTURINI, R.P; SILVA, V.A; CUNHA, R.L; VOLPATO, M.M.L; CHALFOUNS, S.R; CARVALHO, G.R; CARVALHO, V.L. A pesquisa e as mudanças climáticas na cafeicultura. **Informe Agropecuário**, v.34, Edição Especial, p.34-43, 2013.
- WHITFORD, K.R., COLQUHOUN, I.J., LANG, A.R.G; HARPER, B.M. Measuring leaf area index in a sparse eucalypt forest: a comparison of estimates from direct measurement, hemispherical photography, sunlight transmittance and allometric regression. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 74, p. 237-249, 1995.