

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E ENGENHARIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PRODUÇÃO VEGETAL**

DIONICIO BELISARIO LUIS OLIVAS

**CULTIVOS CONSORCIADOS DE CAFEIEIRO ARÁBICA: CARACTERIZAÇÃO
MORFOLÓGICA, FISIOLÓGICA E NUTRICIONAL**

ALEGRE – ES

2018

DIONICIO BELISARIO LUIS OLIVAS

**CULTIVOS CONSORCIADOS DE CAFEIEIRO ARÁBICA: CARACTERIZAÇÃO
MORFOLÓGICA, FISIOLÓGICA E NUTRICIONAL**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal do Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito à obtenção de título de *Doctor Scientiae* em Produção Vegetal.

Orientador: Marcelo Antonio Tomaz.
Coorientadores: José Francisco Teixeira do Amaral e Fábio Luiz de Oliveira.

ALEGRE – ES

2018

Dados Internacionais de Catalogação-na-publicação (CIP)
(Biblioteca Setorial Sul, Universidade Federal do Espírito Santo, ES, Brasil)

O48c Olivas, Dionicio Belisario Luis, 1964-
Cultivos consorciados de cafeeiro arábica: caracterização morfológica,
fisiológica e nutricional / Dionicio Belisario Luis Olivas. – 2018.

84 f. : il.

Orientador: Marcelo Antonio Tomaz.

Coorientadores: José Francisco Teixeira do Amaral ; Fábio Luiz de Oliveira.

Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Agrárias e Engenharias.

1. Café – Cultivo. 2. Cultivo consorciado. 3. Cafeeiro. 4. Fotossíntese. I. Tomaz, Marcelo Antonio. II. Amaral, José Francisco Teixeira do. III. Oliveira, Fábio Luiz de. IV. Universidade Federal do Espírito Santo. Centro de Ciências Agrárias e Engenharias. V. Título.

CDU: 63

Bibliotecária: Lizzie de Almeida Chaves – CRB-6 ES-00871/0

DIONICIÓ BELISARIO LUIS OLIVAS

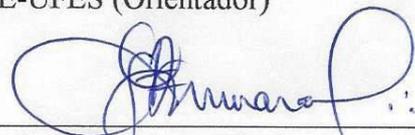
**CULTIVOS CONSORCIADOS DE CAFEIRO ARÁBICA: CARACTERIZAÇÃO
MORFOLÓGICA, FISIOLÓGICA E NUTRICIONAL**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal do Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial à obtenção do título de *Doctor Scientiae* em Produção Vegetal, na área de concentração de Fitotecnia.

Aprovada em 27 de abril de 2018



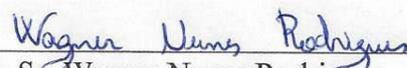
D. Sc. Marcelo Antonio Tomaz
CCAUE-UFES (Orientador)



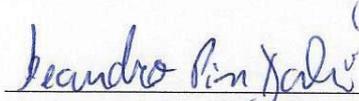
D. Sc. José Francisco Teixeira do Amaral
CCAUE-UFES (Coorientador)



D. Sc. Paulo César Cavatte
CCENS-UFES (Membro externo ao Programa)



D. Sc. Wagner Nunes Rodrigues
(Membro externo à UFES)



D. Sc. Leandro Pin Dalvi
CCAUE-UFES (Membro interno do Programa)

*A nosso Deus, pela oportunidade de me permitir
estudar no Brasil;
À minha esposa Miriam, e aos meus filhos Karen e
Fernando, por estarem sempre ao meu lado;
A meus pais, Mariano e Epifania, e meus irmãos
pelo apoio e pela confiança;
À minha sogra e aos meus cunhados;
A meus professores e amigos pelo aprendizado e o
tempo de convivência.*

DEDICO

AGRADECIMENTOS

À Organização dos Estados Americanos (OEA) e o Grupo Coimbra de Universidades Brasileiras, pela oportunidade de estudar no exterior;

À Universidad Nacional Jose Faustino Sánchez Carrión, pela licença para continuar com os estudos;

Ao Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da Universidade Federal do Espírito Santo (CCAUE-UFES) e ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal do CCAUE-UFES, pela oportunidade de estudo;

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão de bolsa;

À Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Espírito Santo (FAPES), pelo financiamento da pesquisa;

Ao Sr. Luis Gonzaga Mauri, pela disponibilidade da sua propriedade para a realização desta pesquisa;

Ao professor Dr. Marcelo Antonio Tomaz, do Departamento de Produção Vegetal do CCAUE-UFES, pela orientação, pelo estímulo, pela paciência, pelos ensinamentos e, principalmente, pela amizade compartilhada durante toda a caminhada;

Aos professores Dr. José Francisco Teixeira do Amaral e Dr. Fabio Luiz de Oliveira, pela disponibilidade no atendimento, pelas críticas e sugestões, e, principalmente, pela confiança depositada na equipe envolvida nesse trabalho;

Aos amigos Bruno Fardim Christo, Wagner Nunes Rodrigues, Lima Deleon Martins, Sebastião Vinicius Batista Brinate e Tafarel Victor Colodetti, por toda disponibilidade, ajuda, apoio, incentivo e auxílio no desenvolvimento deste trabalho;

Aos professores do curso de Pós-Graduação em Produção Vegetal, pelos ensinamentos transmitidos;

Aos amigos Renan Gonçalves Quintino, Pedro Henrique da Silva, que, de uma forma ou de outra, sempre estiveram presentes;

A todos aqueles que, de forma direta ou indireta, contribuíram para a realização deste trabalho, o meu humilde e sincero agradecimento.

Muito obrigado a todos vocês!

“Em seu coração o homem planeja o seu caminho, mas o SENHOR determina os seus passos.”

Provérbios 16:9

BIOGRAFIA

Dionicio Belisario Luis Olivas, filho de Mariano Luis Javier e Epifania Olivas Solis, nasceu em Huacho, província de Huaura, departamento de Lima, Peru, no dia 09 de outubro de 1964. Coursou a sua educação primária na Escola N° 20349, município de Sayán, Peru. Seus estudos secundários foram realizados no Instituto Nacional Agropecuário N° 15, município de Santa Maria, Peru. Ingressou em 1982 na Faculdade de Agronomia da Universidade Nacional Agrária La Molina (UNALM), Peru. Em junho de 1990 recebeu o título de Engenheiro Agrônomo. No ano 2003 iniciou os estudos de Mestrado em Marketing Agroalimentar na Universidade Nacional José Faustino Sánchez Carrion, Peru. Recebeu o grau de Mestre no ano de 2010. No ano de 2015, iniciou o curso de doutorado no Programa de Pós-graduação em Produção Vegetal da Universidade Federal do Espírito Santo, tendo defendido a tese em 27 de abril de 2018.

RESUMO

Objetivou-se nesta pesquisa caracterizar a morfologia, fisiologia e nutrição do cafeeiro arábica (*Coffea arabica* L.) sob três sistemas de condução: monocultivo, consorciado com bananeira e consorciado com bananeira e palmeira juçara. O estudo foi desenvolvido na localidade de Lagoa Seca, município de Alegre-ES, em lavoura de cafeeiro arábica, cultivar Catuaí Vermelho IAC 44. As variáveis analisadas no experimento formam: a) atributos físicos e químicos do solo; b) características morfológicas (arquitetura de copa, morfologia e partição de biomassa de ramos plagiotrópicos, razão de rendimento, produtividade e tamanho dos grãos); c) características fisiológicas (concentração de clorofilas e trocas gasosas); e d) características nutricionais (teores de macro e micronutrientes em folhas, ramos e frutos e conteúdo de nutrientes por compartimento do ramo plagiotrópico) do cafeeiro. Foi possível verificar que o solo cultivado com cafeeiro em condições de monocultivo apresentou melhores características químicas (pH, P, K, Ca, Mg, SB, t, V e m). As plantas em monocultivo alocaram mais massa seca e nutrientes nos grãos; apresentaram maiores teores foliares para P, K, Ca, S, Cu e Zn; foram mais eficientes no uso de água (A/gS ; A/E); e foram mais produtivas. Nos sistemas consorciados, as plantas de cafeeiro expuseram maior diâmetro de copa; maior alocação de massa seca e nutrientes nas folhas e caules dos ramos plagiotrópicos; exibiram maior proporção de grãos graúdos (peneira 16 acima); apresentaram maior condutância estomática; exibiram maiores teores foliares para Mg e Fe; alocaram mais nutrientes nas folhas e caules.

Palavras-chave: fotossíntese, eficiência do uso de água, produtividade, alocação de nutriente

ABSTRACT

The objective of this research was to characterize the morphology, physiology and nutrition of the arabica coffee (*Coffea arabica* L.) under three systems of conduction: monoculture, intercropped with banana and intercropped with banana tree and palm juçara. The study was carried out in the locality of Lagoa Seca, Alegre-ES, in arabica coffee plantation, Catuaí Vermelho cultivar IAC 44. The variables analyzed in the experiment were: a) physical and chemical attributes of the soil; b) morphological characteristics (canopy architecture, morphology and biomass partition of plagiotropic branches, yield ratio, yield and grain size); c) physiological characteristics (concentration of chlorophylls and gas exchange); and d) nutritional characteristics (macro and micronutrient contents in leaves, branches and fruits and nutrient content per compartment of the plagiotropic branch) of the coffee tree. It was possible to verify that the soil cultivated with coffee under monoculture conditions presented better chemical characteristics (pH, P, K, Ca, Mg, SB, t, V and m). Monoculture plants allocated more dry matter and nutrients in the grains; showed higher leaf contents for P, K, Ca, S, Cu and Zn; were more efficient in the use of water (A/g_s ; A/E); and were more productive. In the intercropping systems, the coffee plants exhibited larger crown diameter; greater allocation of dry mass and nutrients in leaves and stems of plagiotropic branches; showed a higher proportion of large grains (16 sieve above); showed greater stomatal conductance showed higher leaf contents for Mg and Fe; more nutrients in the leaves and stems.

Keywords: photosynthesis, water use efficiency, productivity, nutrient allocation

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Precipitação mensal na safra 2016/2017 em Lagoa Seca, Alegre-ES	30
Figura 2. Representação esquemática dos sistemas de condução: (CM) cafeeiro em monocultivo; (CB) cafeeiro consorciado com bananeira; e (CBP) cafeeiro consorciado com bananeira e palmeira juçara	31

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Características dos três sistemas de condução: cafeeiro monocultivo (CM), cafeeiro com bananeira (CB), cafeeiro com bananeira e palmeira juçara (CBP), safra 2016/2017, Alegre - ES	32
Tabela 2. Características físicas do solo em três sistemas de condução: cafeeiro monocultivo (CM), cafeeiro com bananeira (CB), cafeeiro com bananeira e palmeira juçara (CBP), safra 2016/2017, Alegre - ES	34
Tabela 3. Resistência mecânica do solo à penetração (kPa) em três sistemas de condução: cafeeiro monocultivo (CM), cafeeiro com bananeira (CB), cafeeiro com bananeira e palmeira juçara (CBP), safra 2016/2017, Alegre - ES	35
Tabela 4. Características químicas do solo em três sistemas de condução: cafeeiro monocultivo (CM), cafeeiro com bananeira (CB), cafeeiro com bananeira e palmeira juçara (CBP), safra 2016/2017, Alegre – ES	36
Tabela 5. Características químicas do solo em três sistemas de condução: cafeeiro monocultivo (CM), cafeeiro com bananeira (CB), cafeeiro com bananeira e palmeira juçara (CBP), safra 2017/2018, Alegre – ES	37
Tabela 6. Classificação das características químicas do solo em três sistemas de condução cafeeiro monocultivo (CM), cafeeiro com bananeira (CB), cafeeiro com bananeira e palmeira juçara (CBP), safra 2016/2017, Alegre – ES	38
Tabela 7. Altura da planta (AP), diâmetro de copa (DC) e número de ramos plagiotrópicos (NRP) de cafeeiro arábica Catuaí Vermelho IAC 44 sob três sistemas de condução: cafeeiro monocultivo (CM), cafeeiro com bananeira (CB), cafeeiro com bananeira e palmeira juçara (CBP), safra 2016/2017, Alegre – ES	49
Tabela 8. Comprimento do ramo (CR), número de folhas (NFR), brotos reprodutivos (NBRR), brotos vegetativos (NBVR) e área foliar unitária (AFU) de cafeeiro arábica Catuaí Vermelho IAC 44 sob três sistemas de condução: cafeeiro monocultivo (CM), cafeeiro com bananeira (CB), cafeeiro com bananeira e palmeira juçara (CBP), safra 2016/2017, Alegre – ES	50

Tabela 9. Partição de massa seca no ramo plagiotrópico: Percentagem de massa seca de folhas (PMSF), grãos (PMSG), caule (PMSC) e razão folhas/grãos (RF/G) de cafeeiro arábica Catuaí Vermelho IAC 44 sob três sistemas de condução: cafeeiro em monocultivo (CM), cafeeiro com bananeira (CB), cafeeiro com bananeira e palmeira juçara (CBP), safra 2016/2017, Alegre – ES	51
Tabela 10. Razão de rendimento e produtividade (sc/ha) de cafeeiro arábica Catuaí Vermelho IAC 44 sob três sistemas de condução: cafeeiro monocultivo (CM), cafeeiro com bananeira (CB), cafeeiro com bananeira e palmeira juçara (CBP), safra 2016/2017, Alegre – ES	52
Tabela 11. Distribuição percentual dos grãos nas classes de peneiras 16 acima (P16AC), peneiras 14+15 (P14/15) e peneiras 13 abaixo (P13AB) de cafeeiro arábica Catuaí Vermelho IAC 44 sob três sistemas de condução: cafeeiro monocultivo (CM), cafeeiro com bananeira (CB), cafeeiro com bananeira e palmeira juçara (CBP), safra 2016/2017, Alegre – ES	53
Tabela 12. Teores de clorofilas <i>a</i> , clorofila <i>b</i> , clorofila total e relação clorofila <i>a/b</i> de cafeeiro arábica Catuaí Vermelho IAC 44 sob três sistemas de condução: cafeeiro monocultivo (CM), cafeeiro com bananeira (CB), cafeeiro com bananeira e palmeira juçara (CBP), safra 2016/2017, Alegre-ES	62
Tabela 13. Taxa de assimilação líquida de CO ₂ (<i>A</i>), condutância estomática (<i>g_s</i>), concentração subestomática de CO ₂ (<i>C_i</i>) e Transpiração (<i>E</i>) de cafeeiro arábica Catuaí Vermelho IAC 44 sob três sistemas de condução: cafeeiro monocultivo (CM), cafeeiro com bananeira (CB), cafeeiro com bananeira e palmeira juçara (CBP), safra 2016/2017, Alegre – ES	64
Tabela 14. Eficiência intrínseca de uso de água (<i>A/g_s</i>), eficiência instantânea de carboxilação (<i>A/C_i</i>) e eficiência instantânea de uso de água (<i>A/E</i>) de cafeeiro arábica Catuaí Vermelho IAC 44 sob três sistemas de condução: cafeeiro monocultivo (CM), cafeeiro com bananeira (CB), cafeeiro com bananeira e palmeira juçara (CBP), safra 2016/2017, Alegre – ES	65
Tabela 15. Teores de N, P e K em folhas de cafeeiro arábica Catuaí Vermelho IAC 44 sob três sistemas de condução: cafeeiro monocultivo (CM), cafeeiro com bananeira (CB), cafeeiro com bananeira e palmeira juçara (CBP), safra 2016/2017, Alegre – ES	76

Tabela 16. Teores de Ca, Mg e S em folhas de cafeeiro arábica Catuaí Vermelho IAC 44 sob três sistemas de condução: cafeeiro monocultivo (CM), cafeeiro com bananeira (CB), cafeeiro com bananeira e palmeira juçara (CBP), safra 2016/2017, Alegre – ES 77

Tabela 17. Teores de Cu, Fe, Mn e Zn em folhas de cafeeiro arábica Catuaí Vermelho IAC 44 sob três sistemas de condução: cafeeiro monocultivo (CM), cafeeiro com bananeira (CB), cafeeiro com bananeira e palmeira juçara (CBP), safra 2016/2017, Alegre – ES 78

Tabela 18. Nutrientes contidos nos compartimentos do ramo plagiotrópico de cafeeiro arábica Catuaí Vermelho IAC 44 sob três sistemas de condução: cafeeiro monocultivo (CM), cafeeiro com bananeira (CB), cafeeiro com bananeira e palmeira juçara (CBP), safra 2016/2017, Alegre – ES 80

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL	17
REVISÃO DE LITERATURA	19
REFERÊNCIAS	22
CAPÍTULO 01	28
CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E QUÍMICA DO SOLO EM CULTIVOS CONSORCIADOS DE CAFÉ ARÁBICA	28
RESUMO	28
ABSTRACT	28
INTRODUÇÃO	29
MATERIAL E MÉTODOS	30
RESULTADOS E DISCUSSÃO	33
CONCLUSÕES	39
REFERÊNCIAS	40
CAPÍTULO 02	43
ARQUITETURA DA COPA, MORFOLOGIA DE RAMOS PLAGIOTRÓPICOS E PRODUTIVIDADE DO CAFEIEIRO ARÁBICA EM SISTEMAS CONSORCIADOS	43
RESUMO	43
ABSTRACT	43
INTRODUÇÃO	44
MATERIAL E MÉTODOS	44
RESULTADOS E DISCUSSÃO	48
CONCLUSÕES	54
REFERÊNCIAS	54
CAPÍTULO 03	57
CLOROFILAS E TROCAS GASOSAS DE CAFEIEIRO EM CULTIVOS CONSORCIADOS	57
RESUMO	57
ABSTRACT	57
INTRODUÇÃO	58
MATERIAL E MÉTODOS	59
RESULTADOS E DISCUSSÃO	61

CONCLUSÕES	66
REFERÊNCIAS	66
CAPÍTULO 04	71
TEORES E ALOCAÇÃO DE MACRO E MICRONUTRIENTES EM FOLHAS, CAULES E GRÃOS DE CAFEIEIRO ARÁBICA EM CULTIVO CONSORCIADOS	71
RESUMO	71
ABSTRACT	71
INTRODUÇÃO	72
MATERIAL E MÉTODOS	73
RESULTADOS E DISCUSSÃO	74
CONCLUSÕES	81
REFERÊNCIAS	81
CONCLUSÃO GERAL	84

INTRODUÇÃO GERAL

O cafeeiro é umas das principais culturas agrícolas do Brasil. A safra brasileira 2015/2016 foi de 49,64 milhões de sacas e as exportações foram 30,39 milhões de sacas, sendo o maior produtor e exportador no mundo (CONAB, 2017; TRADEMAP, 2017). Esta cultura tem grande importância econômica por ser geradora de divisas pela exportação, de fontes de trabalho direto e indireto desde sua produção até sua exportação, promovendo o desenvolvimento econômico da região e do país (ANJOS et al., 2011).

As principais espécies de cafeeiros exploradas no mundo são *Coffea arabica* L. e *Coffea canephora* Pierre ex Froehner, que têm seus centros de origem nas terras quentes a nordeste da África, e no interior de Etiópia, de clima árido tropical, onde as mesmas evoluíram naturalmente em sistemas biodiversificados desenvolvendo-se em condições de sub-bosque. Com a domesticação das espécies e seu emprego em cultivos comerciais, a prática de cultivar o cafeeiro em associação com culturas de maior porte ainda era comum dentre as primeiras plantações. Entretanto, os altos níveis de produtividade alcançados por lavouras em monocultivo, a pleno sol, fizeram com que essa prática fosse gradativamente abandonada (BEER et al., 1998; DaMATTA et al., 2007).

O monocultivo de cafeeiro a pleno sol foi a prática mais amplamente adotada no Brasil desde o início do século XIX, resultando na instalação generalizada de sistemas com baixa diversidade biológica. Apesar das vantagens inerentes de um sistema mais homogêneo, que permite a facilitação da padronização da lavoura e dos tratos culturais, existem algumas desvantagens relacionadas ao monocultivo, dentre elas, o ressurgimento de pragas da cultura do cafeeiro a um possível efeito da simplificação dos agroecossistemas (AGUIAR-MENEZES et al., 2007; LOPES et al., 2011). Moguel e Toledo (1999) caracterizaram policultivos tradicionalmente sombreados no México como importantes repositórios de riqueza biológica para diversos grupos de organismos (vegetais, mamíferos, aves, répteis, anfíbios e artrópodes), e Philpott et al. (2008) recomendam a promoção de sistemas de cultivo de cafeeiro mais parecidos com os modelos rústicos encontrados na América Latina, com aumento da densidade de outras espécies no sistema, especialmente pela restauração de espécies nativas, de modo a balancear as vantagens da conservação da biodiversidade no agroecossistema com a sustentabilidade econômica da produção de café.

Com o aumento da preocupação com o aspecto ambiental da produção agrícola, da necessidade de conservação dos recursos naturais e da preservação da biodiversidade, tem se

tornado mais comum a adoção de sistemas alternativos ao monocultivo de cafeeiro (DaMATTA; RENA, 2002). Dentre as alternativas, existe um crescente interesse no cultivo biodiversificado, com associação entre diferentes espécies, que tem sido explorado com sucesso por cafeicultores. Esse sistema permite a extração de mais produtos agrícolas na mesma área e gera um agroecossistema diferenciado em termos de diversidade, ciclagem de nutrientes, microclima e regulação morfofisiológica.

No caso dos agricultores familiares, a adoção de sistemas consorciados poderia ter mais vantagens que desvantagens, pois podem gerar mais ganhos econômicos diretos e indiretos pelo melhor aproveitamento da mão de obra, obtenção de vantagens ambientais e diminuição do impacto econômico oriundo de diversas crises na agricultura familiar (ALVARENGA, 2004). Além disso, o cafeeiro é uma espécie que vem sofrendo os efeitos das altas temperaturas, gerados pelas mudanças climáticas; e para mitigar tais efeitos, a consorciação com outras culturas que lhe proveem sombreamento (JUNIOR et al., 2012), vai atenuar as condições climáticas extremas, permitindo um ambiente mais ameno e sustentável do sistema. Entre as culturas que estão sendo utilizadas como consórcios no Brasil, destacam-se as árvores como a grevêlea, seringueira e cajueiro, e as espécies frutíferas como a bananeira, coqueiro, palmito pupunha, entre outras (PEZZOPANE et al., 2007).

Quando o cafeeiro vai ser consorciado com outras culturas de porte alto que lhe proveem sombreamento, a planta tem que se adaptar às novas condições, produzindo isto, alterações morfológicas, fisiológicas, nutricionais entre outras (GOMES et al., 2008), que podem afetar a capacidade produtiva da planta.

Nesse contexto, objetivou-se realizar a caracterização morfológica, fisiológica e nutricional do cafeeiro arábica, sob três sistemas de condução: cafeeiro em monocultivo (CM), cafeeiro consorciado com bananeira (CB) e cafeeiro consorciado com bananeira e palmeira juçara (CBP), na região do Caparaó, sul do estado do Espírito Santo.

REVISÃO DE LITERATURA

O cafeeiro é uma planta de origem de sub-bosque, onde o sombreamento é natural, e ele teve que desenvolver estratégias de sobrevivência modificando o balanço entre a frutificação e o crescimento (REIS; CUNHA, 2010). Além disso, é uma espécie que tem grande capacidade de se adaptar às variações ambientais mediante modificações morfológicas, bioquímicas e biológicas (ALVARENGA et al., 2004), assim como, por exemplo, aumento dos teores de clorofila, redução da atividade da rubisco, entre outros (GOMES et al., 2008).

O uso de árvores como sombra no cultivo do cafeeiro pode promover a diminuição da amplitude térmica em todas as épocas do ano, aumentando a temperatura mínima em dias mais frios e reduzindo a temperatura máxima em dias mais quentes, além de reduzir a temperatura do ar, velocidade do vento e aumentar a umidade do ar (VALENTINE et al., 2010), ou nem ser diferentes aos cultivos a pleno sol, para essas variáveis (PEZZOPANE, 2004). Nesses ambientes, também ocorrem variações na intensidade de luminosidade, o que faz com que a planta procure adequar o aparelho fotossintético para obter maior eficiência na absorção e transferência de energia para os processos fotossintéticos (SOUZA et al., 2011). Para isso, elas desenvolvem uma série de mecanismos que ajudam a manter o equilíbrio entre a energia absorvida e a sua utilização, através da fixação do carbono na fotossíntese. Quando se tem excesso de luz absorvida se produz fotoinibição, que restringe o crescimento da planta (IVANOV et al., 2008). A fotossíntese é um processo complexo que contribui com 90 % da formação da matéria seca total da planta, e entre os fatores que influenciam na sua eficiência destacam a temperatura, a radiação solar, a idade, a espécie, a nutrição e o manejo (FORTES et al., 2009).

O sombreamento do cafezal pode reduzir a produção de café, mas isto pode ser compensado por uma bienalidade menos pronunciada e melhor qualidade de bebida (REIS; CUNHA, 2010). A melhor qualidade de bebida pode ser explicada por uma maturação mais lenta, possibilitando um maior acúmulo de açúcares nos frutos, o qual permite obter um café especial com maior valor comercial (MANCUSO et al., 2013). O sombreamento excessivo pode acarretar a diminuição da produtividade do cafeeiro devido, especialmente, à limitação da assimilação de carbono e ao favorecimento do crescimento de estruturas vegetativas em detrimento de estruturas reprodutivas (CANNEL, 1975; DaMATTA, 2004).

Apesar da redução da produtividade média do cafeeiro, os ganhos relacionados à diminuição da variação temporal da produção e à redução dos estresses ambientais sobre as plantas de

cafeeiro podem ser vantajosos. Menores estresses microclimáticos tornam as plantas de cafeeiro mais vigorosas e com maior capacidade para sustentar uma produção mais estável em função do tempo, diminuindo a bienalidade da produção e aumentando a possibilidade de que o processo de floração e frutificação ocorram sem estresses, os quais poderiam levar a formação de grãos de melhor qualidade (MIRANDA et al., 1999; DaMATTA et al., 2007).

Em sistemas de produção de cafeeiro, onde as espécies arbóreas estão presentes, desde que as mesmas estejam em densidade e população adequadas (sem causar excesso de sombra ao cafeeiro), pode não apenas diminuir a bienalidade do cafeeiro, mas também favorecer a formação de frutos maiores, que amadurecem mais lentamente e resultam em um produto de qualidade superior (CARAMORI et al., 2004).

Os efeitos prejudiciais das altas temperaturas no metabolismo das plantas de cafeeiro são conhecidos. Nos cultivos de cafeeiro a pleno sol, que é uma prática comum no Brasil, as folhas ficam expostas à alta radiação solar e ocorre a absorção de muito mais energia do que a planta realmente utiliza no processo fotossintético. Essa condição produz sobrecarga de energia e aquecimento das folhas que, em alguns casos, podem alcançar temperaturas maiores que 40°C (CAMARGO, 2010). Desta forma, é possível que o sombreamento proporcionado por outras espécies em consórcio, possa mitigar os estresses ambientais (JUNIOR et al., 2012) e favorecer a fixação de carbono quando comparado com plantas de cafeeiro cultivadas a pleno sol, e permitir a produção de grãos maiores e com melhor qualidade de xícara (BOTE; STRUIK, 2011).

O fato de estabelecer simultaneamente dois ou mais cultivos juntos, pode acarretar competição interespecífica ou complementariedade. Estas interações podem ter efeitos inibitórios ou estimulantes na produção. No manejo destes sistemas, uma das estratégias é reduzir ao mínimo a competição e obter a máxima complementariedade das espécies no consórcio (ALTIERI; NICHOLLS, 2000).

A prática de ter mais de um cultivo na mesma área tem sido utilizada durante milhares de anos e ainda é praticada nos países em desenvolvimento; foi também praticada na Europa e USA até antes da revolução verde (UGÁS, 2000). Estima-se que uma população de 32,5 milhões de agricultores de América Latina, mantém agroecossistemas diversificados (ALTIERI et al., 2014). Uma das razões pela qual os agricultores adotam este sistema de produção é porque se obtém maior rendimento econômico (ALTIERI, 2012), assim como também têm benefícios no controle das pragas, doenças e ervas daninhas (SILVA, 2009) e redução de riscos

econômicos e climáticos (ZAFFARANI; ENRIQUEZ, 1979).

A pesquisa atual está mais focada em elevar os rendimentos e reduzir os custos de produção, para aumentar a rentabilidade. No entanto, no caso dos pequenos produtores, a maior atenção deve estar no melhor uso da terra, considerando que eles possuem pequenas áreas e em regiões marginais. O melhor uso da terra implica ter cultivos consorciados, prática que vem sendo utilizada pelos pequenos produtores há muito tempo (SOUZA; MACEDO, 2006).

Procurando manter as condições naturais para a produção de cafeeiro, países como México, El Salvador e Costa Rica, praticam a tecnologia do sombreamento e com diferentes espécies; isso permite aumentar a biodiversidade e a sustentabilidade do cultivo de cafeeiro, diminuindo a perda de solos por erosão causada pelas chuvas e o uso de insumos externos, melhorando a renda dos produtores (PEZZOPANE, 2004).

Nos sistemas biodiversificados também ocorre a redução da presença de plantas espontâneas quando comparado com os cafeeiros em monocultivo. Este fato foi evidenciado por Consenço et al. (2013), que relataram ocorrência de redução de seis vezes na população de plantas espontâneas e de quinze vezes na produção de matéria seca, por metro quadrado.

Uma grande vantagem da biodiversificação dos sistemas produtivos reside na maior geração de rendas. Assim, Asten et. al. (2011), em Uganda evidenciaram maiores benefícios agrônômicos e econômicos dos consórcios de cafeeiro e bananeira, com taxas de retorno marginal de 911% para cafeeiro arábica e 200% para cafeeiro robusta, quando comparados com as monoculturas.

A biodiversificação, para ter sucesso, deve permitir produção em diferentes épocas do ano e reduzir os riscos econômicos. Para isso, o agricultor deve adequar as culturas à sua capacidade de investimento, complementariedade das espécies, condições edafoclimáticas e avaliar a facilidade ou dificuldade na comercialização (ARAÚJO, 2013).

Geralmente o cafeeiro em sistemas sombreados apresenta baixa produtividade decorrente de uma série de fatores como o excesso de sombreamento, utilização de espécies arbóreas inadequadas e da nutrição mineral em sistemas agroflorestais. São poucos os relatos de cafeeiros sob sombra com produção semelhante à daqueles a pleno sol, sendo a maioria das experiências, produções extremamente baixas com relação à produção de cafezais a pleno sol em condições similares de cultivo (COELHO et al., 2010). Na região da zona da mata em Minas Gerais, os sistemas agroflorestais permitiram maior produção de serapilheira e

acúmulo de água no solo, quando comparado com as monoculturas de cafeeiro (CAMPANHA et al., 2007).

Entretanto, alguns resultados de pesquisas indicam não haver diferenças entre cultivos a pleno sol e sombreado com banana prata com relação à produtividade, mas sim para qualidade de grão e bebida (MOREYRA, 2003; LUNZ, 2006; RICCI et. al., 2006; MOREYRA, 2009).

A erosão e conseqüente desgaste do solo agrícola vêm assumindo grandes proporções com implicações de ordem física, financeira e social na agricultura (OLIVEIRA et al., 2010). No entanto, o emprego de sistemas biodiversos pode influenciar positivamente neste cenário, pela presença de uma maior cobertura do solo e elevado teor de matéria orgânica e garantir a sustentabilidade da produção de café com baixo aporte de insumos externos à propriedade rural (MENDONÇA et al., 2010).

O uso da bananeira, como cultivo intercalado entre as linhas do cafeeiro, não só traz vantagem como fornecedora de sombra (serviço ecológico), como também tem importância econômica porque produz o ano todo, diferente do monocultivo de cafeeiro, que é estacional. Além disso, há aporte constante de resíduos orgânicos, contribuindo com a ciclagem de nutrientes no sistema (KRISHNAMURTHY et al., 2002). Por outro lado, estes sistemas podem ser mais rentáveis do que o monocultivo do cafeeiro e apresentarem menores riscos para os agricultores, permitindo otimizar os recursos, e encontrarem equilíbrio entre a produção de alimentos e a geração de renda (OUMA, 2009; ASTEN et al., 2011).

Souza et al. (2012), referem que o cafeeiro em sistemas agroflorestais foi mais lucrativo do que cafeeiro a pleno sol ao longo de 12 anos, por oferecerem uma diversidade de produtos, sendo uma estratégia de redução de riscos.

REFERÊNCIAS

- AGUIAR-MENEZES, E. L.; SANTOS, C. M. S.; RESENDE, A. L. S.; SOUZA, S. A. S.; COSTA, J. R.; RICCI, M. S. F. **Susceptibilidade de cultivares de café a insetos-pragas e doenças em sistema orgânico com e sem arborização**. Seropédica: Embrapa Agrobiologia. 2007. 34p.
- ALTIERI, M. **Agroecologia: Bases científicas para uma agricultura sustentável**. 3. ed. Rio de Janeiro. 2012. 400p.

- ALTIERI, M.; NICHOLLS, C. **Agroecología: Teoría y práctica para una agricultura sustentable**. 1. ed. México: Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. 2000. 257p.
- ALTIERI, M.; NICHOLLS, C.; MONTALBA, R. El papel de la biodiversidad en la agricultura campesina en América Latina. **LEISA**. Lima, v. 30, n. 1, p. 5-8, 2014.
- ALVARENGA, A. P.; VALE, R.S.; COUTO, L; VALE, F.A.; VALE, A.B. Aspectos fisiológicos da cultura do café e seu potencial produtivo em sistemas agroflorestais. **Agrossilvicultura**, v. 1, n. 2, p. 195-202, 2004.
- ALVARENGA, R. C. Integração Lavoura-Pecuária. In: SIMPÓSIO DE PECUÁRIA DE CORTE, 3, 2004, Belo Horizonte. **Anais . . .** Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 2004. 1 CD.
- ANJOS, F. S. dos; BELIK, W.; CALDAS, N. V. La caficultura en Brasil: Evolución, situación actual y nuevos retos de cara al futuro. **Mundo Agrario**. La Plata, v. 12, n. 23, 2011.
- ARAÚJO, A. **Microclima e características fisiológicas do cafeeiro conilon consorciado com seringueira e bananeira**. Dissertação de mestrado. Universidade Federal do Espírito Santo. 2013. 113p.
- ASTEN, P. J. A.; WAIREGI, L. W. I.; MUKASA, D.; URINGI, N. O. Agronomic and economic benefits of coffee-banana intercropping in Uganda's smallholder farming systems. **Agriculture systems**, v. 104, p. 326-334, 2011.
- BEER, J.; MUSCHLER, R.; KASS, D.; SOMARRIBA, E. Shade management in coffee and cacao plantations. **Agroforestry Systems**, v.38, p. 139-164, 1998.
- BOTE, A. D. E.; STRUIK, P. C. Effects of shade on growth, production and quality of coffee (*Coffea arabica*) in Ethiopia. **Journal of Horticulture and Forestry**, Kolkata v. 3, n. 11, p. 336-341, 2011.
- CAMARGO, M. The impact of climatic variability and climate change on arabic coffee crop in Brazil. **Bragantia**, Campinas, v. 69, n.1, p.239-247, 2010.
- CAMPANHA, M. M.; SANTOS, R. H. S.; FREITAS, G. B.; MARTINEZ, H. E. P.; JARAMILLO-BOTERO, C.; GARCIA, S. L. R. Análise comparativa das características da serapilheira e do solo em cafezais (*Coffea arabica* L.) cultivados em sistema

- agroflorestal e em monocultura, na Zona da Mata MG. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 31, n. 5, p. 805-812, 2007.
- CANNEL, M. G. R. Crop physiological aspects of coffee bean yield: a review. **Journal of Coffee Research**, v. 5, p. 7-20, 1975.
- 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. **Arborização de cafezais no Brasil**. Vitória da Conquista: UESB, 2004. p.19-42.
- COELHO, R. A.; MATSUMOTO, S. N.; LEMOS, C. L.; SOUZA, F. A. Nível de sombreamento, umidade de solo e morfologia do cafeeiro em sistemas agroflorestais. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 57, n. 1, p. 095-102, 2010.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO-CONAB. 2017. **Series históricas**. www.conab.gov.br Acesso em 10 de fevereiro de 2018.
- CONCENÇÃO, G.; MOTTA, I. S.; CORREIA, I. V. T.; SILVA, F. M.; SALOMÃO, G. B. Infestação de plantas espontâneas em cafeeiro solteiro ou consorciado em sistema agroecológico. **Revista Agrarian**. Dourados, v. 6, n. 19, p. 22-28, 2013.
- DaMATTA, F. M. Ecophysiological constrains on the production of shaded and unshaded coffee: a review. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 86, n. 2, p. 99-114, 2004.
- DaMATTA, F. M.; RENA, A. B. Ecofisiologia de Cafezais sombreados e a pleno Sol. In: ZAMBOLIM, L. **O estado da arte de tecnologias na produção de café**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, p. 93-135, 2002.
- DaMATTA, F. M.; RONCHI, C. P.; MAESTRI, M.; BARROS, R. S. Ecophysiology of coffee growth and production. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v. 19, n. 4. p. 485-510, 2007.
- FORTES, D.; HERRERA, R. S.; GONZÁLEZ, S.; GARCÍA, M.; ROMERO, A.; CRUZ, A. M. Comportamiento de los pigmentos fotosintéticos, según la edad de rebrote después del pastoreo de Pennisetum purpureum vc. Cuba CT-115 en la estación poco lluviosa **Revista Cubana de Ciencia Agrícola**, v. 43, n. 2, p. 183-186, 2009.
- GOMES, I. A. C.; CASTRO, E. M.; SOARES, A. M.; ALVES, J. D.; ALVARENGA, M. I.

- N.; ALVES, E.; BARBOSA, J. P. R. A. D.; FRIES, D. D. Alterações morfofisiológicas em folhas de *Coffea arabica* L. cv. "Oeiras" sob influência do sombreamento por *Acacia mangium* Willd. **Ciência Rural**, v. 38, n. 1, p. 109-115, 2008.
- IVANOV, A.; HURRY, V.; SANE, P.; ÖQUIST, G.; HUNER, N. Reaction centre quenching of excess light energy and photoprotection of photosystem II. **Journal of Plant Biology**, v. 51, p. 85–96, 2008.
- JUNIOR, W. C. J.; MARTINS, L. D.; RODRIGUES, W. N.; MORAES, W. B.; AMARAL, J. F. T.; TOMAZ, M. A.; ALVES, F. R. Mudanças climáticas globais e seus potenciais impactos sobre a cafeicultura brasileira. In: TOMAZ, M. A. (Org.) **Tecnologias para a sustentabilidade da cafeicultura**. Produção vegetal. Universidade Federal do Espírito Santo. 2012.
- KRISHNAMURTHY, L.; NIETO, A. B.; VALENTE, M. A. M.; GOMEZ, M. U. Caracterización del sistema tradicional agrisilvícola café-plátano-cítricos en el municipio de Tlapacoyan, Veracruz. **Tecnologías Agroforestales para el Desarrollo Rural Sostenible**. p. 19-48, 2002.
- LOPES P. R. **A biodiversidade como fator preponderante para a produção agrícola em agroecossistemas cafeeiros sombreados no Pontal do Paranapanema**. Tese de Doutorado em Agronomia. ESALQ, USP. Piracicaba, SP, 2014. 172p.
- LUNZ, A. M. P. **Crescimento e produtividade do cafeeiro sombreado e a pleno sol**. Tese de Doutorado em Agronomia. ESALQ, USP. Piracicaba, SP, 2006, 94p.
- MANCUSO, M. A. C.; SORATTO, R. P.; PERDONÁ, M. J. Produção de café sombreado. **Colloquium Agrarie**, v. 9, n. 1, p. 31-44, 2013.
- MENDONCA, E. S.; CARDOSO, I. M.; JUCKSCH, I.; FERNANDES, R. B. A.; GARCIA, R. V. Fatores edáficos de cafezais arborizados: Processo de aprendizado contínuo com agricultores familiares. In: ZAMBOLIM, L.; CAIXETA, E. T.; ZAMBOLIM, E. M. (Orgs.). **Estratégias para produção de café com qualidade e sustentabilidade**. Departamento de fitopatologia. UFV. MG. 2010. p. 63-84
- MIRANDA, G. M.; PEREIRA, R. C. A.; BERGO, C. L. Comportamento de seis linhagens de café (*Coffea arabica*) em condições de sombreamento e a pleno sol no estado do Acre, Brasil. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 23, n. 1, p. 62-69, 1999.

- MOGUEL, P.; TOLEDO, V. M. Biodiversity conservation in traditional coffee systems of Mexico. **Conservation Biology**, v. 13, n. 1, p.11-21, 1999.
- MOREYRA, C. F. **Caracterização de sistemas de café orgânico sombreado e a pleno sol no sul de Minas Gerais**. Dissertação de Mestrado em Produção vegetal. ESALQ, USP. Piracicaba, SP. 2003. 125p.
- MOREYRA, C.F. **Sustentabilidade de sistemas de produção café sombreado orgânico sombreado e convencional**. Tese de Doutorado em Produção vegetal. ESALQ, USP. Piracicaba, SP. 2009. 145p.
- OLIVEIRA, M. I.; CASTRO, E. M.; COSTA, L. C. B.; OLIVEIRA, C. Características biométricas, anatômicas e fisiológicas de *Artemisia vulgaris* L. cultivada sob telas coloridas. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, Botucatu, v. 11, n. 1, p. 56-62, 2009.
- OUMA, G. Intercropping and its application to banana production in East Africa: a review. **Journal of Plant Breeding and Crop Science**, Tampa, v. 1, n. 1, p. 1315, 2009.
- PEZZOPANE, J. R. M.; GALLO, M. J. P. B.; CAMARGO, M. P. B.; FAZUOLI, L. C. Avaliações fenológicas e agronômicas em café arábica cultivado a pleno sol e consorciado com banana 'Prata Anã'. **Bragantia**, v. 66, n. 7, p.701-709, 2007.
- PEZZOPANE, J. R. M. **Avaliações microclimáticas, fenológicas e agronômicas em café arábica cultivado a pleno sol e consorciado com banana prata**. Tese de Doutorado em Agronomia. ESALQ, USP. Piracicaba, SP. 2004. 158p.
- PHILPOTT, S. M.; ARENDT, W. J.; ARMBRECHT, I.; BICHIER, P.; DIESTCH, T. V.; GORDON, C.; GREENBERG, R.; PERFECTO, I.; REYNOSO-SANTOS, R.; SOTO-PINTO, L.; TEJEDA-CRUZ, C.; WILLIAMS-LINERA, G.; VALENZUELA, J.; ZOLOTOFF, J. M. **Conservation Biology**, v. 22, n. 5, p. 1093-1105, 2008.
- REIS, P. R.; CUNHA, R. L. **Café Arábica do plantio à colheita**. Lavras: U.R. EPAMIG SM, 2010. v. 1, 896p.
- RICCI, M. S. F.; COSTA, J. R.; SANTOS, V. L. S.; PINTO, A. N. Cultivo orgânico de cultivares de café a pleno sol e sombreado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v. 41, n. 4, p. 569-575, 2006.

- SOUZA, G.; CASTRO, E.; SOARES, A.; SANTOS, A.; ALVES, E. Teores de pigmentos fotossintéticos, taxa de fotossíntese e estrutura de cloroplastos de plantas jovens de *Mikania laevigata* Schultz Bip. ex Baker cultivadas sob malhas coloridas. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 32, n. 1, p. 1843-1854, 2011
- SOUZA, H. N.; GRAAFF, J.; PULLEMAN, M. M. Strategies and economics of farming systems with coffee in the Atlantic Rainforest Biome. **Agroforestry Systems**, Dordrecht, v. 84, n. 2, p. 227-242, 2012.
- SOUZA, J. P.; MACEDO, M. A. S. **Análise de viabilidade agroeconômica de sistemas orgânicos de produção consorciada**. XIII Congresso Brasileiro de Custos – Belo Horizonte - MG, Brasil, 30 de outubro a 01 de novembro de 2006.
- TRADE MAP. Trade Statistics For International Business Development. Disponível em: <www.trademap.org>. Acesso em 12 fevereiro 2018.
- UGÁS, R. **Curso de Agroecología Avanzada**. Lima. Universidad Nacional Agraria La Molina. 2005.
- VALENTINE, L. S. P.; CAMARGO, M. P.; ROLIM, G. 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. **Bragantia**, Campinas, v. 69, n. 4, p.1005-1010, 2010.
- ZAFFARANI, E.; ENRIQUEZ, G. **Asociación de cultivos perennes una alternativa de diversificación en áreas tropicales para pequeños agricultores**. CATIE, Costa Rica. 1979. 17p.

CAPÍTULO 01

CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E QUÍMICA DO SOLO EM CULTIVOS CONSORCIADOS DE CAFÉ ARÁBICA

RESUMO

Objetivou-se caracterizar os atributos físicos e químicos de solos cultivados com cafeeiro arábica sob três sistemas de condução no sul do estado do Espírito Santo, quais sejam: a) cafeeiro em monocultivo (CM); b) cafeeiro consorciado com bananeira (CB); e c) cafeeiro consorciado com bananeira e palmeira juçara (CBP). Foram determinados em cada sistema, atributos físicos (textura e resistência mecânica à penetração) e químicos (pH, P, K, Ca, Mg, Al+H, SB, t, T, V, m e matéria orgânica) do solo. A textura do solo foi semelhante nos três sistemas de condução. O solo do CB apresentou maior resistência mecânica à penetração a 20 cm, enquanto que para o CM a resistência foi maior a 40 cm de profundidade. O solo do CM apresentou melhores características químicas (pH, P, K, Ca, Mg, Al+H, SB, t, V, m) para o desenvolvimento do cafeeiro.

Palavras-chave: *Coffea arabica*, química do solo, resistência mecânica.

ABSTRACT

The objective was to characterize the physical and chemical attributes of soils cultivated with arabica coffee under three systems of conduction in the south of the state of Espírito Santo, which are: a) coffee in monoculture (CM); b) coffee tree intercropped with banana (CB); and c) coffee tree intercropped with banana tree and juçara palm (CBP). The physical attributes (texture and mechanical resistance to penetration) and chemical (pH, P, K, Ca, Mg, Al + H, SB, t, T, V, m and organic matter) of the soil were determined in each system. The soil texture was similar in all three systems of conduction. The CB soil presented greater mechanical resistance to penetration at 20 cm, while for CM the resistance was greater at 40 cm depth. The CM soil presented better chemical characteristics (pH, P, K, Ca, Mg, Al + H, SB, t, V, m) for coffee development.

Keywords: *Coffea arabica*, soil chemistry, mechanical resistance.

INTRODUÇÃO

O café é um dos produtos mais comercializados no mundo, sendo indiscutível a sua importância econômica. Ele é um dos mais valiosos produtos primários comercializados no mundo, sendo superado apenas em valor pelo petróleo e seu cultivo, processamento, comercialização, transporte e mercado proporcionam milhões de empregos. O Brasil é o maior produtor e exportador do grão de café do mundo.

O estado do Espírito Santo é o segundo maior produtor de café do Brasil e produz cerca de 20% da produção nacional. As espécies cultivadas são *Coffea arabica* L. (café arábica) e *Coffea canephora* Pierre ex Froehner (café robusta), sendo que o cultivo do cafeeiro arábica ocupa aproximadamente uma área de 150025 ha, e o cafeeiro robusta 260032 ha (CONAB, 2017).

O café arábica é a principal fonte de renda em 80% das propriedades rurais capixabas localizadas em terras frias e montanhosas. Atualmente, aproximadamente 150 mil hectares em produção estão localizados em 48 municípios. Os maiores produtores capixabas de café arábica são os municípios de Brejetuba, Iúna e Vargem Alta. Mais de 95% das lavouras não são irrigadas e possuem área em torno de 6,4 hectares que são conduzidas pelas próprias famílias. (INCAPER, 2017).

Em nível de estado, a região do Caparaó representa cerca de 57% da área em colheita (85,5 mil ha em produção) e 52,0% da produção (1,82 milhões de sacas/ano) com produtividade média de 21,30 sacas/ha (INCAPER, 2017). A exploração da cafeicultura nesta região é principalmente realizada pelos agricultores familiares com o uso de mão de obra familiar e de parceria, e caracterizada pela policultura de subsistência, voltada para o abastecimento dos mercados locais (FREDERICO, 2013).

As maiores lavouras do cafeeiro, na região do Caparaó encontram-se implantadas em solos ácidos e de baixa fertilidade, as que influenciam diretamente na produtividade do cafeeiro, sendo ainda mais prejudicado caso não sejam realizadas calagem e adubações adequadas (MATIELLO et al., 2005). Para Candido et al. (2008), os solos da microrregião do Caparaó caracterizam-se majoritariamente por apresentar níveis baixos para os atributos químicos ligados à fertilidade do solo.

Para potencializar a produção do cafeeiro no estado, é necessário ter plantas bem nutridas e com manejos adequados embasados no monitoramento dessas áreas, por meio das análises de

solo.

Neste cenário objetivou-se caracterizar os atributos físicos e químicos do solo cultivados com cafeeiro sob três sistemas de condução, na região de Caparaó, sul do estado do Espírito Santo.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na localidade de Lagoa Seca, zona rural do município de Alegre (ES), em uma propriedade tipicamente produtora de café arábica, a uma altitude de 740 m e com as seguintes coordenadas geográficas: latitude 20° 53' 30" S; longitude 41°28'43"W.

A área estudada caracteriza-se por apresentar topografia ondulada-acidentada, com solo classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo. O clima da região, de acordo com a classificação de Köppen, é do tipo Cwa, caracterizado por ter verão chuvoso e inverno seco.

Os dados de precipitação e temperatura na safra 2016/2017 foram coletados por intermédio de estação meteorológica automática Modelo E5000 instalada no local de estudo. A temperatura média anual foi de 21,34 °C e a precipitação pluvial anual, de 1616,29 mm (Figura 1). As condições climáticas apresentadas foram adequadas para o desenvolvimento do cafeeiro (WINTGENS, 2012).

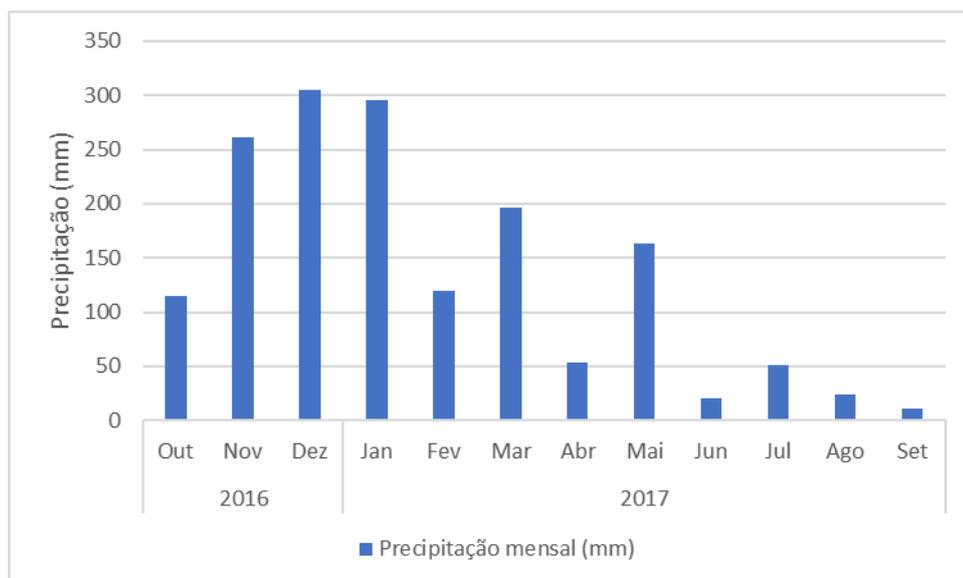


Figura 1. Precipitação na safra 2016/2017 em Lagoa Seca, Alegre-ES.

O estudo foi realizado no cultivo do cafeeiro sob três sistemas de condução: a) cafeeiro em monocultivo (CM); b) cafeeiro consorciado com bananeira (CB); e c) cafeeiro consorciado com bananeira e palmeira juçara (CBP).

A variedade de cafeeiro arábica utilizada nos sistemas de condução foi Catuaí Vermelho IAC 44, plantado em 1991, com linhas de cultivo em curva de nível voltadas para face oeste, com espaçamento de 3 m entre linhas e 2 m entre covas, com duas plantas por cova. Em 2010 foi realizada poda tipo decote baixo e efetuado o plantio de bananeira nanicão nas entre linhas do cafeeiro, no espaçamento 5 x 3 m. Da mesma forma, em 2013, nas mesmas linhas da bananeira se plantou palmeira juçara, no espaçamento 5 x 3 m (Figura 2). Na Tabela 1, são descritas algumas características dos sistemas de condução.

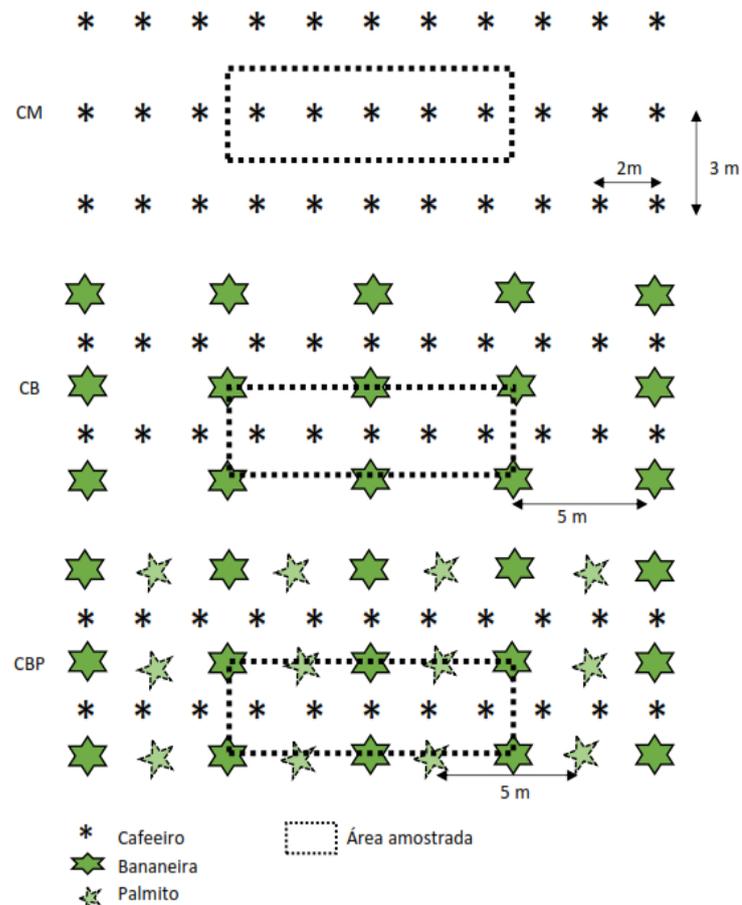


Figura 2. Representação esquemática dos sistemas de condução; (CM) cafeeiro em monocultivo; (CB) cafeeiro consorciado com bananeira; e (CBP) cafeeiro consorciado com bananeira e palmeira juçara.

Tabela 1. Características dos três sistemas de condução: cafeeiro em monocultivo (CM), cafeeiro consorciado com bananeira (CBP), cafeeiro consorciado com bananeira e palmeira juçara (CBP), safra 2016/2017, Alegre – ES

Características	CM	CB	CBP
Número de espécies cultivadas na mesma área	1	2	3
Espécies cultivadas	<i>Coffea arabica</i> L. var Catuaí IAC-44	<i>Coffea arabica</i> L. var Catuaí IAC-44 <i>Musa</i> sp. var. Nanicão	<i>Coffea arabica</i> L. var Catuaí IAC-44 <i>Musa</i> sp. var. Nanicão <i>Euterpe edulis</i>
Número médio de plantas/ha	3.333 plantas de cafeeiro	3.333 plantas de cafeeiro 666 plantas de bananeira	3.333 plantas de cafeeiro 666 plantas de bananeira 666 plantas de palmeira juçara
Altura média das plantas	2,40 m para plantas de cafeeiro	2,40 m para plantas de cafeeiro 5,00 m para plantas de bananeira	2,40 m para plantas de cafeeiro 5,00 m para plantas de bananeira 3,00 m para plantas de palmeira juçara
Radiação solar medida ao meio-dia	1625 $\mu\text{mol foton/m}^2/\text{s}$	196 $\mu\text{mol foton/ m}^2/\text{s}$	162 $\mu\text{mol foton/m}^2/\text{s}$

Em cada sistema de condução foram estabelecidas cinco parcelas experimentais de 30 m² de área, selecionadas aleatoriamente dentro do sistema de cultivo. Para determinar as recomendações da calagem e adubação e os atributos físicos e químicos do solo, nos meses de agosto de 2016 (safra 2016/2017) e outubro de 2017 (safra 2017/2018), procedeu-se à coleta das amostras do solo. A coleta foi realizada em oito pontos diferentes de cada parcela experimental (quatro em cada lado da linha da planta) na projeção da copa do cafeeiro, na profundidade de 0-20 cm, onde se encontram 90% das raízes do cafeeiro arábica. A ferramenta utilizada foi o trado holandês. O solo foi homogeneizado e colocado em sacos plásticos identificados e enviados ao Laboratório de Solos do Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da Universidade Federal do Espírito Santo (CCAUE-UFES), para as análises física e química.

As análises físicas e químicas foram realizadas conforme a metodologia por EMBRAPA

(1997). Para análise granulométrica (argila, silte e areia) utilizou-se o método da pipeta com agitação lenta. Enquanto que para as análises químicas foram as seguintes: pH em água, relação 1: 2,5 (solo: água); P com extrator Mehlich-1 e determinado por colorimetria; K disponível obtido por Mehlich-1 e determinado por espectrofotometria de chama; Ca e Mg extraído com KCl 1 mol/L e determinados por espectrometria de absorção atômica; Al extraído com KCl 1 mol/L e determinado por titulometria; H+Al extraído por acetato de cálcio 0,5 mol/L pH 7,0 e determinado por titulometria; MO, obtida por oxidação de carbono via úmida com dicromato de potássio em meio ácido (H₂SO₄). Os valores da CTC foram calculados a pH 7 (T).

Para a avaliação da resistência mecânica do solo à penetração foram realizadas medições em quatro pontos (dois em cada lado da linha da planta) na projeção da copa da árvore de cada área amostrada nas profundidades de 0 a 20 cm e de 20 a 40 cm, com o penetrômetro de impacto (PenetroLOG Falker).

Com os resultados obtidos se realizaram as análises estatísticas descritivas. Para cada variável obteve-se a média, desvio padrão, valor máximo, valor mínimo e coeficiente de variação. Estes foram comparados com os critérios utilizados pelos diferentes autores para a interpretação dos atributos físicos e químicos dos solos.

A normalidade de distribuição dos dados foi testada com emprego do teste de Shapiro-Wilk em 5% de probabilidade, e os coeficientes de simetria e curtose das distribuições foram estimados, empregando-se as referências 0 e 3, respectivamente. As análises foram realizadas com auxílio do programa estatístico SISVAR (FERREIRA et al., 2011).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Características físicas do solo

Segundo as análises de solos, Tabela 2, os três sistemas de condução caracterizaram-se por apresentar textura argilosa. Apesar das médias de textura serem próximas, pode-se observar que houve variação entre 60 e 43% para areia (máximo e mínimo); e entre 51 e 34% para argila. O sistema CM apresentou maior percentagem de areia e menor, de argila; enquanto o sistema CBP apresentou maior percentagem de argila e menor, de areia. A maior percentagem de argila no sistema CBP, pode ser explicada pela presença de material orgânico na superfície que retém as partículas finas arrastadas pela erosão, tendo em conta que os sistemas se

encontram em terrenos declivosos, conforme relatado por Effgen (2006). Os conteúdos de argilas nos três sistemas são adequados para o bom desenvolvimento da planta de cafeeiro porque podem se relacionar a melhores características físicas do solo, tais como a disponibilidade de água e ar (BRINATE et al., 2008).

Estudos de caracterização de solos da região sul do estado Espírito Santo, realizados por Santos et al. (2009), evidenciaram que o manejo conservacionista de cultivos melhorou a qualidade física do solo e proporcionou melhores produtividades e qualidade na produção de alimentos. Um manejo inadequado do solo pode modificar as suas propriedades químicas, físicas e biológicas, fato que determina uma limitação na produtividade agrícola (SANTOS et al., 2010).

Foi observada normalidade para areia e argila, e notou-se que apresentaram distribuição normal simétrica negativa e leptocúrtica (Tabela 2).

Tabela 2. Características físicas do solo em três sistemas de condução: cafeeiro em monocultivo (CM), cafeeiro com bananeira (CB), cafeeiro com bananeira e palmeira juçara (CBP), safra 2016/2017, Alegre – ES

Sistemas de condução	Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)	Textura
Média: CM	55,40 ± 2,59	5,80 ± 0,45	38,80 ± 2,77	Argilosa
Média: CB	51,60 ± 1,95	4,80 ± 0,45	43,40 ± 1,82	Argilosa
Média: CBP	48,60 ± 3,58	5,40 ± 0,55	46,00 ± 3,24	Argilosa
Máximo	60,00	6,00	51,00	--
Mínimo	43,00	4,00	34,00	--
Média geral	51,87	5,33	42,80	--
CV _{experimental} (%)	7,50	11,57	9,25	--
W _{calculado}	0,94 ^N	0,77	0,97 ^N	--
Coeficiente de assimetria	-0,21	-0,28	-0,10	--
Coeficiente de curtose	3,70	2,34	3,50	--

^NA amostra provém de uma população com distribuição normal, pelo teste de Shapiro-Wilk, em 5% de probabilidade. Referências para estimadores de assimetria e curtose sendo 0 e 3, respectivamente.

Com relação à resistência mecânica do solo à penetração, Tabela 3, os valores mostrados ficaram abaixo do nível crítico para o bom desenvolvimento das plantas do cafeeiro. A 20 cm de profundidade, os valores de resistência variaram entre 1618,00 e 1254,50 kPa, sendo encontrado as maiores médias no sistema CB. A 40 cm de profundidade, os valores de resistência variaram entre 1892,75 e 1146,25 kPa e as maiores médias foram encontradas no

sistema CM. O maior valor de resistência mecânica do solo à penetração no sistema CM pode ter ocorrido pela diminuição da umidade no perfil do solo, conforme relatado por Assis et al. (2009), que referem que a resistência mecânica do solo à penetração é altamente dependente da umidade de solo e em condições de baixa umidade do solo, os valores de resistência aumentam; e quando a umidade do solo atinge a capacidade de campo, a resistência diminui. Para Camargo e Alleoni (1997), valores acima de 5.100 kPa não são adequados para o desenvolvimento das plantas do cafeeiro, porque podem proporcionar sérias limitações para o bom desenvolvimento das raízes, associadas possivelmente também a outros fatores como o aumento da densidade de solo e a microporosidade, o que causariam uma redução das atividades químicas e biológicas no solo.

Foi observada normalidade com distribuição simétrica positiva e platicúrtica para resistência mecânica nos primeiros 20 cm de profundidade. Enquanto para resistência mecânica de 20-40 cm não apresentou normalidade (Tabela 3).

Tabela 3. Resistência mecânica do solo à penetração (kPa) em três sistemas de condução: cafeeiro em monocultivo (CM), cafeeiro com bananeira (CB), cafeeiro com bananeira e palmeira juçara (CBP), safra 2016/2017, Alegre – ES

Sistemas de condução	Resistência mecânica do solo (kPa)	
	0 - 20 cm	20 - 40 cm
Média: CM	1349,55 ± 85,85	1532,90 ± 232,47
Média: CB	1455,65 ± 154,93	1293,40 ± 142,27
Média: CBP	1329,33 ± 56,79	1346,20 ± 39,20
Máximo	1618,00	1892,75
Mínimo	1254,50	1146,25
Média geral	1378,18	1390,83
CV _{experimental} (%)	8,33	13,06
W _{calculado}	0,88 ^N	0,87
Coefficiente de assimetria	0,91	1,37
Coefficiente de curtose	2,87	4,92

^NA amostra provém de uma população com distribuição normal, pelo teste de Shapiro-Wilk, em 5% de probabilidade. Referências para estimadores de assimetria e curtose sendo 0 e 3, respectivamente.

Características químicas do solo

Os resultados das análises químicas dos solos dos três sistemas de condução que permitiram estabelecer as recomendações da calagem e adubação apresentam-se na Tabela 4.

Tabela 4. Características químicas do solo em três sistemas de condução: cafeeiro em monocultivo (CM), cafeeiro com bananeira (CB), cafeeiro com bananeira e palmeira juçara (CBP), safra 2016/2017, Alegre – ES

Sistema de condução	pH	P	K	Ca	Mg	Al +H
		----- mg.dm ⁻³ -----		----- cmol _c .dm ⁻³ -----		
CM	5,75	2,77	80,80	1,69	1,15	2,74
CB	4,96	2,13	60,60	0,64	0,75	3,32
CBP	4,89	1,74	53,40	1,01	0,79	5,46
Sistema de condução	SB	t	T	V	m	MO
		----- cmol _c .dm ⁻³ -----		----- % -----		dag.kg ⁻¹
CM	3,06	3,10	5,80	52,63	1,66	2,07
CB	1,55	2,11	4,87	33,25	27,12	2,53
CBP	1,94	2,65	7,40	26,23	26,05	2,46

SB: soma de bases trocáveis; t: capacidade de troca catiônica efetiva; T: capacidade de troca catiônica a pH 7; V: índice de saturação de bases; m: índice de saturação em alumínio; MO: matéria orgânica.

Enquanto na Tabela 5 apresentam-se os resultados das análises químicas para sua discussão. Note-se que a maioria das variáveis apresentou distribuição normal simétrica positiva e platicúrtica. Conforme as interpretações por Prezotti et al. (2007), na Tabela 6 pode-se observar a classificação para cada característica avaliada.

Os valores de pH estão associados inversamente à presença de acidez potencial (Al+H) e Al, sendo que o menor valor de pH mostrará maior presença de acidez potencial e Al (CANDIDO et al., 2008). Assim, os menores valores de pH e maiores valores de acidez potencial e Al corresponderam aos solos com as culturas consorciadas. Este fato poderia se explicar pela liberação de CO₂, produto da respiração radicular e a decomposição da matéria orgânica, que ao se dissolver na água forma carbonatos e libera hidrogênios que vão ocupar os sítios trocáveis dos complexos argilo-húmicos produzindo lixiviação de nutrientes e acidificação do solo (BRADY; WEIL, 2013). A calagem inadequada e aplicação constante de adubos minerais, também acarreta maior acidificação e eleva o teor de Al no solo, conforme foi evidenciado por Guarçoni et al (2005).

Tabela 5. Características químicas do solo em três sistemas de condução: cafeeiro em monocultivo (CM), cafeeiro com bananeira (CB), cafeeiro com bananeira e palmeira juçara (CBP), safra 2017/2018, Alegre – ES

Sistema de condução	pH	P	K	Ca	Mg	Al +H
		----- mg.dm ⁻³ -----			----- cmol _c .dm ⁻³ -----	
Média: CM	6,19 ± 0,23	1,97 ± 1,20	107,60 ± 12,42	2,61 ± 0,45	0,89 ± 0,13	3,94 ± 0,52
Média: CB	5,16 ± 0,35	0,90 ± 0,28	58,00 ± 10,79	1,03 ± 0,42	0,39 ± 0,19	6,22 ± 1,46
Média: CBP	4,92 ± 0,23	1,56 ± 0,06	44,40 ± 8,96	0,85 ± 0,37	0,30 ± 0,12	5,84 ± 0,54
Máximo	6,37	3,86	122,00	3,34	1,09	8,74
Mínimo	4,65	0,51	31,00	0,47	0,15	3,22
Média geral	5,42	1,47	70,00	2,33	0,53	5,33
CV (%)	11,50	54,35	40,03	60,61	57,30	25,38
W _{calculado}	0,90N	0,79	0,92N	0,91N	0,93N	0,94N
Coefficiente de assimetria	0,37	1,86	0,46	0,62	0,42	0,72
Coefficiente de curtose	1,69	6,43	1,93	2,13	1,90	3,87
Sistema de condução	SB	t	T	V	m	MO
		----- cmol _c .dm ⁻³ -----			----- % -----	
Média: CM	3,80 ± 0,57	3,80 ± 0,57	7,74 ± 0,44	49,03 ± 6,35	0,00 ± 0,00	2,10 ± 0,25
Média: CB	1,59 ± 0,63	1,97 ± 0,41	7,81 ± 1,17	20,84 ± 8,32	27,76 ± 17,57	3,01 ± 0,45
Média: CBP	1,26 ± 0,49	1,75 ± 0,33	7,11 ± 0,55	17,74 ± 6,25	29,72 ± 15,89	2,72 ± 0,28
Máximo	4,72	4,72	9,51	56,51	50,00	3,57
Mínimo	0,75	1,50	6,63	8,07	0,00	1,85
Média geral	2,22	2,51	7,55	29,20	17,16	2,61
CV (%)	57,63	41,31	10,60	54,66	105,77	19,23
W _{calculado}	0,91N	0,87	0,91N	0,92N	0,85	0,96N
Coefficiente de assimetria	0,54	0,77	0,96	0,45	0,71	0,26
Coefficiente de curtose	2,00	2,34	3,37	1,89	2,16	2,32

^{NA} amostra provém de uma população com distribuição normal, pelo teste de Shapiro-Wilk, em 5% de probabilidade. Referências para estimadores de assimetria e curtose sendo 0 e 3, respectivamente.

SB: soma de bases trocáveis; t: capacidade de troca catiônica efetiva; T: capacidade de troca catiônica a pH 7; V: índice de saturação de bases; m: índice de saturação em alumínio; MO: matéria orgânica.

Os solos que apresentam pH menores que 5 não são adequados para a cultura do cafeeiro e sua correção com a calagem torna-se difícil quando se tem culturas já implantadas, pois pode-se danar o sistema radicular quando se quer incorporar até 20 cm de profundidade (FIGUEIREDO et al., 2013), pelo que precisam de maior atenção na prática de calagem para corrigir o pH do solo (FERREIRA et al., 2013). Com valores de pH abaixo de 5,5 ocorre menor disponibilidade de N, P, K, Ca, Mg, S e Mo, e aumento nos teores de Al (FIGUEIREDO et al., 2013).

Tabela 6. Classificação das características químicas do solo em três sistemas de condução: cafeeiro em monocultivo (CM), cafeeiro com bananeira (CB), cafeeiro com bananeira e palmeira juçara (CBP), safra 2017/2018, Alegre – ES

Característica	Sistemas de condução		
	CM	CB	CBP
pH	Média	Elevada	Elevada
P	Muito baixo	Muito baixo	Muito baixo
K	Médio	Médio	Baixo
Ca	Médio	Baixo	Baixo
Mg	Médio	Baixo	Baixo
Al+H	Médio	Alto	Alto
SB	Médio	Baixo	Baixo
t	Médio	Baixo	Baixo
T	Médio	Médio	Médio
V	Médio	Baixo	Baixo
m	Baixo	Médio	Médio
MO	Médio	Médio	Médio

Para P, os solos nos três sistemas de condução apresentaram teor muito baixo, que é preocupante pela importância desse nutriente no desenvolvimento do cafeeiro, sendo um fator limitante da produtividade pelo que se torna necessário o fornecimento deste elemento. Apesar de corresponder a teor baixo, o sistema CM apresentou maior teor de P do que os sistemas consorciados. Os menores teores nestes sistemas poderiam ter ocorrido pela maior extração desse nutriente ao apresentar mais culturas envolvidas. Nessas condições, esses solos precisam ser fornecidos com esse nutriente para contribuir ao melhor desenvolvimento da planta e aumentar a produtividade, conforme relatado por Candido et al. (2008).

Para potássio, o solo do sistema CM apresentou maior teor quando comparado com os sistemas consorciados. Esses menores teores poderiam se dever ao maior número de espécies envolvidas nos sistemas que extraem maiores quantidades deste elemento, pelo que é necessária sua reposição.

Para Ca e Mg, o sistema CM apresentou teores médios, enquanto os sistemas consorciados evidenciaram teores baixos, tornando necessária a realização da calagem para atender as necessidades das culturas. Os menores teores de Ca e Mg nos sistemas consorciados podem

explicar pela maior demanda destes nutrientes pelas culturas envolvidas, deixando o solo com menores quantidades. A remoção destas bases pode acentuar também a acidificação do solo (SOUSA et al., 2007).

Em soma de bases trocáveis (SB) e capacidade de troca catiônica efetiva (t), o sistema CM apresentou teores médios, enquanto foram baixos para os sistemas consorciados.

Em saturação de bases (V), os sistemas consorciados apresentaram níveis baixos, pelo que se torna necessário superar o valor de 50% por meio da calagem para melhorar a produtividade das culturas, conforme recomendado por Brinate et al (2008).

A matéria orgânica, nos três sistemas de condução, apresentou teores médios, no entanto, pode-se perceber que os sistemas consorciados apresentaram maior porcentagem quando comparado com o sistema em monocultivo. Isto ocorre porque os restos dos vegetais, tanto do cafeeiro quanto das culturas consorciadas, vão ficando na superfície do solo, que irão se descompondo no tempo pela ação dos fatores ambientais como as chuvas, temperaturas, entre outros. A presença de matéria orgânica no solo aumenta a estabilidade dos agregados e melhora as condições físicas, permitindo melhor desenvolvimento e produtividade das culturas (THOMAZINI et al., 2013). A maior diversidade de culturas permite incrementar a matéria orgânica e melhorar as propriedades físicas e químicas do solo, contribuindo a produzir um café ecologicamente mais sustentável e reconhecido no mercado internacional (GRANADOS, 2011).

CONCLUSÕES

A textura de solo foi semelhante nos três sistemas de condução. A 40 cm de profundidade, a resistência mecânica do solo à penetração foi maior no sistema de cafeeiro em monocultivo. Foi possível verificar que o solo cultivado com cafeeiro em condições de monocultivo apresentou melhores características químicas (pH, P, K, Ca, Mg, Al+H, SB, t, V e m) quando comparado com os sistemas consorciados.

REFERÊNCIAS

- ASSIS, R. L.; LAZARINI, G. D.; LANÇAS, K. P.; FILHO, A. C. Avaliação da resistência do solo à penetração em diferentes solos com a variação do teor de água. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 29, n. 4, p. 558-568, 2009.
- BRADY, N. C.; WEIL, R. R. **Elementos da natureza e propriedades dos solos**. 3era ed. Porto Alegre: Bookman. R.S. Brasil. 2013. 716p.
- BRINATE, S.V.B.; NOGUEIRA, N.O.; MARTINS, L.D.; TOMAZ, M.A.; ANDRADE, F.V.; PASSOS, R.R. Avaliação dos atributos físicos de solos sob cultivo de café na microrregião do Caparaó–ES. XII Encontro Latino Americano de Iniciação Científica e VIII Encontro Latino Americano de Pós-Graduação, 2008, São José dos Campos. **Resumos expandidos...** São José dos Campos, 2008, v. 1, p. 12-16.
- CAMARGO, O. A.; ALLEONI, L. R. F. **Compactação do solo e o desenvolvimento das plantas**. Piracicaba, USP/ESALQ. 1997. 132p.
- CANDIDO, A. O.; BRINATE S. V. B.; DONATELLI JÚNIOR É. J.; SOUZA G. P.; SILVA S. M.; MARTINS L. D.; NOGUEIRA N. O. Avaliação das características químicas de solos em subsuperfície sob cultivo de café na microrregião do Caparaó – ES. XII Encontro Latino Americano de Iniciação Científica e VIII Encontro Latino Americano de Pós-Graduação, 2008, São José dos Campos. **Resumos expandidos...** São José dos Campos, 2008, v. 1, p. 1- 4.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO-CONAB. 2017. **Series históricas**. www.conab.gov.br Acesso em 10 de fevereiro de 2018.
- EFFGEN, T. A. M. **Atributos do solo em função de tratos culturais em lavouras de cafeeiro conilon no sul do estado do Espírito Santo**. Dissertação de Mestrado em Produção Vegetal. Universidade Federal do Espírito Santo. 2006. 104p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA — EMBRAPA. **Manual de métodos de análises de solo**. 2.ed. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura e do Abastecimento, 1997. 212p.
- FERREIRA, D. F. SISVAR: A Computer statistical Analysis System. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 35, p. 1039-1042, 2011.

- FERREIRA, J. T. P.; FERREIRA, E. P.; OLIVEIRA, M. P.; SILVA, G. S. S.; OLIVEIRA FILHO, J. S.; SANTOS, J. W. G. Avaliação da fertilidade dos solos cultivados com café conilon (*Coffea canephora*) no município de Santa Teresa – ES. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.9, n.16, p. 356-366, 2013.
- FIGUEIREDO, V. C.; MANTOVANI, J. R.; LEAL, R. M.; MIRANDA, J. M. Levantamento da fertilidade do solo de lavouras cafeeiras em produção, no sul de Minas Gerais. **Coffee Science**, Lavras, v. 8, n. 3, p. 306-313, 2013
- FREDERICO, S. Cafeicultura científica globalizada e as montanhas capixabas: a produção de café arábica nas regiões do Caparaó e serrana do Espírito Santo. **Sociedade; Natureza**, v. 25, n. 1, p. 7-20, 2013.
- GRANADOS, V. M. C. Agroecología del agroecosistema café (*coffea arabiga*) y su relación con la erodabilidad de laderas en el valle de Orosi, Cartago, Costa Rica. **Anuario de Estudios Centroamericanos**, Universidad de Costa Rica, v. 37, p. 271-305, 2011.
- GUARÇONI M., A.; BRAGANÇA, S. M.; LANI, J. A. Modificações nas características da fertilidade do solo causadas pelo plantio adensado de café conilon. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIIRAS, 31., Guarapari. **Trabalhos Apresentados...** Rio de Janeiro: MAPA/PROCAFÉ. 2005. p.208-209.
- INSTITUTO CAPIXABA DE PESQUISA, ASSISTÊNCIA TÉCNICA E EXTENSÃO RURAL – INCAPER. **Cafeicultura - café arábica**. Disponível em: <https://incaper.es.gov.br/cafeicultura-arabica>. Acesso em: 10 de fevereiro de 2018.
- MATIELLO, J. B.; SANTINATO, R.; GARCIA, A. W. R.; ALMEIDA, S. R.; FERNANDES, D. R. **Cultura de café no Brasil**: Novo Manual de recomendações. Rio de Janeiro: MAPA/PROCAFE, 2005. 438p.
- PREZOTTI, L. C.; GOMES, J. A.; DADALTO, G. G.; OLIVEIRA, J. A. **Manual de recomendação de calagem e adubação para o Estado do Espírito Santo**. 5ª aproximação. Vitória: SEEA/INCAPER/CEDAGRO, 2007. 305p.
- SANTOS, L. N. S.; PASSOS, R. R.; SANTOS, C. L.; GARCIA, G. O.; CECÍLIO, R.A. Avaliação de atributos físicos de um Latossolo sob diferentes coberturas vegetais em Alegre (ES). **Engenharia Ambiental**: pesquisa e tecnologia, Espírito Santo do Pinhal, v. 6, n. 4, p. 140-149, 2009.

- SANTOS, L. N. S.; PASSOS, R. R.; SILVA, L. V. M.; OLIVEIRA, P. P.; GARCIA, G. O.; CECÍLIO, R.A. Avaliação de alguns atributos físicos de um Latossolo vermelho-amarelo sob diferentes coberturas vegetais. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 26, n. 6, p. 940-947, 2010
- SOUSA, D. M. G; MIRANDA, L. G; OLIVEIRA, S. A. Acidez do solo e sua correção. In: NOVAIS, R. F. et al (Ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 205-274.
- THOMAZINI, A.; AZEVEDO, H. C. A.; PINHEIRO, P. L.; MENDONÇA, E. S. Atributos físicos do solo em diferentes sistemas de manejo de café, na região sul do Espírito Santo. **Coffee Science**, Lavras, v. 8, n. 4, p. 450-459, 2013.
- WINTGENS, J. N. **Coffee: Growing, processing, sustainable production**. 2. ed. Alemanha. 2012. 1000p.

CAPÍTULO 02

ARQUITETURA DA COPA, MORFOLOGIA DE RAMOS PLAGIOTRÓPICOS E PRODUTIVIDADE DO CAFEIEIRO ARÁBICA EM SISTEMAS CONSORCIADOS

RESUMO

Objetivou-se caracterizar a arquitetura da copa, morfologia de ramos plagiotrópicos e produtividade do cafeeiro arábica sob três sistemas de condução no sul do estado do Espírito Santo, quais sejam: a) cafeeiro em monocultivo (CM); b) cafeeiro consorciado com bananeira (CB); e c) cafeeiro consorciado com bananeira e palmeira juçara (CBP). Avaliaram-se altura de planta, diâmetro de copa, área foliar unitária, características do ramo plagiotrópico, partição de massa seca no ramo plagiotrópico, razão de rendimento, produtividade e qualidade física dos grãos. O cafeeiro em sistemas consorciados apresentou maior diâmetro de copa, com mais acúmulo de massa seca nas folhas e caules, e grãos graúdos. Em condições de monocultivo, acumulou mais massa seca nos grãos obtendo maior produtividade.

Palavras-chave: *Coffea arabica*, crescimento, partição de massa seca.

ABSTRACT

The objective of this study was to characterize the canopy architecture, plagiotropic tree morphology and yield of arabica coffee under three systems of conduction in the southern state of Espírito Santo, namely: a) monoculture coffee (CM); b) coffee tree intercropped with banana (CB); and c) coffee tree intercropped with banana tree and juçara palm (CBP). Were evaluated Plant height, crown diameter, unit leaf area, characteristics of the plagiotropic branch, dry matter partition in the plagiotropic branch, yield ratio, productivity and physical quality of the grains. The coffee tree in intercropped systems had a larger crown diameter, with more accumulation of dry mass in leaves and stems, and larger grains. Under monoculture conditions, it accumulated more dry mass in the grains, obtaining higher productivity.

Keywords: *Coffea arabica*, growth, dry mass storage.

INTRODUÇÃO

O cafeeiro arábica é uma planta de origem de sub-bosque (onde o sombreamento é natural), que desenvolveu estratégias de sobrevivência modificando o balanço entre a frutificação e o crescimento vegetativo (REIS; CUNHA, 2010). Apesar de ter sido melhorado geneticamente para produzir altos rendimentos a pleno sol, é uma espécie que tem grande capacidade de se adaptar às variações ambientais, mediante modificações morfológicas, bioquímicas e biológicas, com resultados satisfatórios (ALVARENGA et. al., 2004; CARVALHO, 2008; GOMES et al., 2008).

O cafeeiro em condições de consorcio pode sofrer alterações morfológicas pela disponibilidade de radiação, como forma de adaptação, pelo que o sombreamento com espécies e espaçamentos adequados pode apresentar resultados satisfatórios, quando comparado ao cultivo a pleno sol. O sombreamento adequado permite à planta produzir internódios mais longos, menor número de folhas, porém de maior tamanho, produção de frutos maiores, aumento do número de ramos primários e secundários, aumento da capacidade reprodutiva do cafeeiro, obtenção de cafés com bebida mais suave e redução da bienalidade (LEMOS et al., 2007).

No cenário atual, onde a bienalidade da produção e as oscilações dos preços do cafeeiro no mercado causam prejuízos econômicos aos produtores, a consorciação do cafeeiro com outras culturas que proporcionem sombreamento é uma alternativa viável pela geração de renda extra. Todavia, é observada redução da produtividade do cafeeiro, decorrente de uma série de fatores como excesso de sombreamento, utilização de espécies arbóreas inadequadas, desconhecimento do manejo de sistemas consorciados, entre outros (COELHO et al, 2010).

Diante disso, objetivou-se caracterizar morfológicamente o cafeeiro sob três sistemas de condução, na região de Caparaó, sul do estado do Espírito Santo.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido na localidade de Lagoa Seca, zona rural do município de Alegre (ES), em uma propriedade tipicamente produtora de café arábica, a uma altitude de 740 m e com as seguintes coordenadas geográficas: latitude 20°53'30" S; longitude 41°28' 43" W.

A área estudada caracteriza-se por sua topografia ondulada-acidentada, com solo classificado

como Latossolo Vermelho-Amarelo. O clima da região, de acordo com a classificação de Köppen, é do tipo Cwa, caracterizado por ter verão chuvoso e inverno seco.

Os dados de precipitação e temperatura na safra 2016/2017 foram coletados por intermédio de estação meteorológica automática Modelo E5000 instalada no local de estudo. A temperatura média anual foi de 21,34 °C e a precipitação pluvial anual, de 1616,29 mm (Figura 1). As condições climáticas apresentadas foram adequadas para o desenvolvimento do cafeeiro (WINTGENS, 2012).

O estudo foi realizado no cultivo de cafeeiro sob três sistemas de condução: a) cafeeiro em monocultivo (CM); b) cafeeiro consorciado com bananeira (CB); e c) cafeeiro consorciado com bananeira e palmeira juçara (CBP).

A variedade de cafeeiro arábica utilizado nos sistemas de condução foi Catuaí Vermelho IAC 44, plantado em 1991, com linhas de cultivo em curva de nível voltadas para face oeste, com espaçamento de 3 m entre linhas e 2 m entre covas, com duas plantas por cova. Em 2010 foi realizada poda tipo decote baixo e efetuado o plantio de bananeira nanicão nas entre linhas do cafeeiro, no espaçamento 5 x 3 m. Da mesma forma, em 2013, nas mesmas linhas da bananeira se plantou palmeira juçara, no espaçamento 5 x 3 m (Figura 2). Na Tabela 1, se descrevem algumas características dos sistemas de condução.

A condução do cultivo seguiu as recomendações propostas para cafeeiro arábica por Reis e Cunha (2010). Em outubro de 2016 foi realizada a correção da acidez do solo pela calagem, após um mês se efetuou a primeira adubação com macro e micronutrientes, sendo realizada mais duas (dezembro de 2016 e fevereiro de 2017) com macronutrientes, seguindo a recomendação de manejo nutricional para o cafeeiro arábica (PREZOTTI et al., 2007).

Os cultivos se desenvolveram em condições de sequeiro e sem emprego de produtos químicos para o controle das pragas e doenças. As plantas daninhas foram controladas utilizando roçadeira costal.

As parcelas experimentais consistiram em áreas de 30 m², aleatoriamente selecionadas dentro da área de cada sistema de cultivo. Foram empregadas cinco repetições e as médias das parcelas foram estimadas com base na avaliação de todas as plantas centrais da parcela.

As características morfológicas e alocação de biomassa foram avaliadas durante a maturação dos frutos na safra 2016/2017. Avaliou-se em três plantas úteis de cada área amostrada:

- a) Altura da planta (m): foi medida utilizando-se uma trena de aço graduada em centímetros, desde o colo até o ápice da planta;
- b) Diâmetro da copa (cm): determinado no terço médio das plantas, obtido pela média entre duas medidas entre os pontos cardeais (norte-sul, leste-oeste), utilizando trena de aço graduada em centímetros;
- c) Número de ramos plagiotrópicos: contaram todos os ramos plagiotrópicos por planta;
- d) Comprimento dos ramos plagiotrópicos (cm): Obtido pelo comprimento médio de dois ramos opostos posicionados no terço médio da planta, utilizando-se trena de aço graduada em centímetros;
- e) Número de folhas por ramo plagiotrópico: contou-se número de folhas em dois ramos opostos posicionados no terço médio da planta;
- f) Brotos reprodutivos e vegetativos por ramo plagiotrópico: contou-se número de brotos reprodutivos e vegetativos em dois ramos opostos posicionados no terço médio da planta;
- g) Área foliar unitária (cm²): avaliou-se a folha posicionada no terceiro par, em dois ramos opostos posicionados no terço médio da planta, utilizando-se trena de aço graduada em centímetros. Mediu-se a largura e o comprimento utilizando a fórmula proposta por Silva et al. (2011):

$$\text{Área} = \text{Largura} \times \text{Comprimento} \times 0,667$$

A distribuição da biomassa nas folhas, grãos, caules e total, foi avaliada na fase reprodutiva de maturação. Seccionaram-se dois ramos plagiotrópicos do terço médio, um em cada lado da linha de cultivo, em cada uma das três plantas da parte central de cada área amostrada. Estes foram levados ao Laboratório de Nutrição Mineral de Plantas do CCAE-UFES, separando-os em folhas, frutos e ramos, e, posteriormente, estes materiais foram acondicionados em sacos de papel para a secagem em estufa de circulação forçada de ar a 65 °C até massa constante. Após a secagem, a biomassa de cada compartimento vegetal foi obtida em balança eletrônica com precisão de 0,0001 g. Obteve-se, portanto, a massa da matéria seca de folhas (MSF), massa da matéria seca dos grãos (MSG), a massa da matéria seca de caules (MSC) e a massa de matéria seca total do ramo (folhas + grãos + caules), expressas em g.

Com essas biomassas obteve-se a alocação da massa seca no ramo plagiotrópico:

- a) Percentagem de massa seca das folhas (PMSF): quociente entre a massa de matéria seca das folhas (MSF) e a biomassa total do ramo (MST), expresso em %;
- b) Percentagem de massa seca dos grãos (PMSG): quociente entre a massa de matéria seca dos grãos (MSG) e a biomassa total do ramo (MST), expresso em %;
- c) Percentagem de massa seca dos caules (PMSC): quociente entre a massa de matéria seca dos caules (MSC) e a biomassa total do ramo (MST), expresso em %;
- d) Razão de massa seca das folhas/grãos (RMSF/G): quociente entre a massa de matéria seca de folhas (MSF) e a massa de matéria seca dos grãos (MSG), expresso em unidades.

Para avaliação da produtividade foram colhidas as 10 plantas de cada área amostrada. Desse volume obtido foi retirada uma amostra de 2 L, que foi pesada, seca e beneficiada para o cálculo da razão de rendimento (%), obtida pelo quociente entre o peso de café da roça (recém-colhido) e o peso de café beneficiado. Posteriormente, esses valores de razões de rendimento foram utilizados para estimar a produtividade (sc/ha) em cada área amostrada.

Para a avaliação física, de cada área amostrada foi retirada uma amostra de 300 g de café beneficiado e classificada em jogo de peneiras de crivo circular. As classificações foram as seguintes: peneiras 16 acima (P16AC), peneiras 14+15 (P14/15) e peneiras 13 abaixo (P13AB). Os resultados foram expressos em percentagem.

Com os resultados obtidos se realizaram as análises estatísticas descritivas. Para cada variável obteve-se a média, desvio padrão, valor máximo, valor mínimo e coeficiente de variação.

A normalidade de distribuição dos dados foi testada com emprego do teste de Shapiro-Wilk em 5% de probabilidade, e os coeficientes de simetria e curtose das distribuições foram estimados, empregando-se as referências de 0 e 3, respectivamente. As análises foram realizadas com auxílio do programa estatístico SISVAR (FERREIRA et al., 2011).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Altura da planta, diâmetro de copa e número de ramos plagiotrópicos

Altura de planta, diâmetro de copa e número de ramos plagiotrópicos apresentaram distribuição normal e platicúrtica, sendo simétrica positiva para altura de planta e número de ramos plagiotrópicos, e negativa para diâmetro de copa (Tabela 7).

Na Tabela 7, para altura de planta, os valores variaram entre 2,26 e 2,66 m com um coeficiente de variação de 5,17%, sendo que a maior altura de planta do cafeeiro obteve-se quando foi consorciada com bananeira e palmeira juçara (CBP). Para diâmetro de copa, os valores variaram entre 1,99 e 2,33 m com coeficiente de variação de 5,03%, e também o maior valor foi obtido quando o cafeeiro foi consorciado com bananeira e palmeira juçara (CBP). Enquanto no número de ramos plagiotrópicos, os valores variaram entre 81,33 e 136,67 com coeficiente de variação de 14,01%, sendo obtido o maior valor pelo cafeeiro em monocultivo (CM).

A altura de planta é uma das características mais utilizadas para avaliar o efeito da luminosidade, pois quando o cafeeiro recebe sombreamento, tem tendência a se alongar para obter maior taxa luminosa (TATAGIBA et al., 2010). Sabe-se que o sombreamento provoca alterações no microclima e, em razão da plasticidade do cafeeiro, pode afetar sua anatomia (MORAIS et al., 2003) e fisiologia foliar (MORAIS et al., 2004). Um sombreamento satisfatório permite esperar plantas de cafeeiro com menor número de folhas, mas de maior tamanho e produção de frutos maiores (LEMOS et al., 2007).

Avaliando o cafeeiro a pleno sol e em condições de sombreamento com gliricida e eritrina, Ricci et al. (2013), evidenciaram maior altura de planta e número de ramos plagiotrópicos com gliricida, não encontrando diferenças entre cafeeiro a pleno sol com o cafeeiro sombreado com eritrina. Coelho et al. (2010) evidenciaram que o aumento de número de espécies fornecedoras de sombra dentro da mesma área cultivada promove aumento de altura de planta, diâmetro de copa e área foliar unitária.

Tabela 7. Altura da planta (AP), diâmetro de copa (DC) e número de ramos plagiotrópicos (NRP) de cafeeiro arábica Catuaí Vermelho IAC 44 sob três sistemas de condução: cafeeiro monocultivo (CM), cafeeiro com bananeira (CB), cafeeiro com bananeira e palmeira juçara (CBP), safra 2016/2017, Alegre – ES

Sistemas de condução	AP (m)	DC (m)	NRP
Média: CM	2,45 ± 0,16	2,06 ± 0,05	115,47 ± 21,75
Média: CB	2,40 ± 0,11	2,22 ± 0,08	107,53 ± 9,99
Média: CBP	2,54 ± 0,08	2,27 ± 0,05	104,73 ± 13,01
Máximo	2,66	2,33	136,67
Mínimo	2,26	1,99	81,33
Média geral	2,46	2,18	109,24
CV _{experimental} (%)	5,17	5,03	14,01
W _{calculado}	0,94 ^N	0,93 ^N	0,98 ^N
Coeficiente de assimetria	0,09	-0,32	0,06
Coeficiente de curtose	1,65	1,76	2,21

^NA amostra provém de uma população com distribuição normal, pelo teste de Shapiro-Wilk, em 5% de probabilidade. Referências para estimadores de assimetria e curtose sendo 0 e 3, respectivamente.

Comprimento do ramo plagiotrópico, número de folhas do ramo plagiotrópico, brotos reprodutivos do ramo plagiotrópico, brotos vegetativos do ramo plagiotrópico e área foliar unitária

A maioria das variáveis avaliadas apresentou distribuição normal simétrica positiva e platicúrtica (Tabela 8).

As médias obtidas para comprimento do ramo, número de folhas por ramo, número de brotos vegetativos e reprodutivos por ramo, e área foliar unitária não apresentaram diferenças entre os sistemas de condução (Tabela 8).

Analisando microclima e características fisiológicas do cafeeiro conilon consorciado com seringueira e bananeira, Araújo et al. (2015) verificaram que, para as avaliações morfológicas, o sombreamento proporcionado pelas bananeiras não induziu ao aumento do comprimento dos ramos plagiotrópicos e da área foliar.

Avaliando o cafeeiro em monocultivo e em sistemas agroflorestais Coelho et al. (2010) evidenciaram maiores áreas foliares no cafeeiro sombreado. A área foliar é uma característica indicadora de luminosidade. Esta tende a ser maior quando a luz é escassa, para assim aumentar a superfície fotossintetizante compensando as baixas taxas fotossintéticas por

unidade de área (TATAGIBA et al., 2010).

Tabela 8. Comprimento do ramo (CR), número de folhas (NFR), brotos reprodutivos (NBRR), brotos vegetativos (NBVR) e área foliar unitária (AFU) de cafeeiro arábica Catuaí Vermelho IAC 44 sob três sistemas de condução: cafeeiro monocultivo (CM), cafeeiro com bananeira (CB), cafeeiro com bananeira e palmeira juçara (CBP), safra 2016/2017, Alegre – ES

Sistemas de condução	CR (cm)	NFR	NBRR	NBVR	AFU (cm ²)
Média: CM	60,37 ± 4,40	17,60 ± 3,97	10,20 ± 1,17	8,07 ± 1,69	37,33 ± 8,82
Média: CB	59,82 ± 5,86	18,07 ± 3,45	10,13 ± 1,98	7,60 ± 2,10	39,56 ± 8,08
Média: CBP	58,41 ± 3,29	17,67 ± 2,94	10,53 ± 1,17	6,20 ± 1,39	36,29 ± 8,47
Máximo	67,67	24,33	13,00	10,33	49,41
Mínimo	53,83	12,00	8,00	4,67	25,18
Média geral	59,53	17,78	10,29	7,29	37,73
CV _{experimental} (%)	7,35	18,17	13,52	24,92	21,10
W _{calculado}	0,93 ^N	0,98 ^N	0,98 ^N	0,95 ^N	0,93 ^N
Coefficiente de assimetria	0,35	0,10	0,16	0,02	-0,19
Coefficiente de curtose	1,89	2,52	2,29	1,96	1,72

^NA amostra provém de uma população com distribuição normal, pelo teste de Shapiro-Wilk, em 5% de probabilidade. Referências para estimadores de assimetria e curtose sendo 0 e 3, respectivamente.

Partição de massa seca no ramo plagiotrópico

Foi observada normalidade para todas as variáveis relacionadas à partição de massa seca no ramo plagiotrópico, e notou-se que, em sua maioria, as variáveis apresentaram distribuição normal simétrica negativa e platicúrtica (Tabela 9).

Pode-se observar na Tabela 9, que o maior acúmulo de massa seca nas folhas foi encontrado no sistema CB com 22,91% da biomassa do ramo plagiotrópico, seguido de CBP com 18,11% e CM com 12,80%. Em grãos, o CM acumulou 75,13% da biomassa do ramo plagiotrópico, sendo maior aos outros dois sistemas. No caso de caule, os maiores acúmulos ocorreram nos sistemas consorciados quando comparado com o CM. Na razão massa seca de folhas sobre grãos, o maior valor foi atingido pelo sistema CB (0,41) e o menor, pelo sistema CM (0,18). Esses valores indicam que para produzir 1 g de matéria seca de grãos foi necessário 0,41 g de matéria seca de folhas em CB e 0,18 g de matéria seca de folhas em CM. Esses resultados

evidenciam a maior eficiência das folhas do CM em produzir grãos.

Tabela 9. Partição de massa seca no ramo plagiotrópico: percentagem de massa seca de folhas (PMSF), de grãos (PMSG), de caules (PMSC); e razão folhas/grãos (RMSF/MSG) de cafeeiro arábica Catuaí Vermelho IAC 44 sob três sistemas de condução: cafeeiro em monocultivo (CM), cafeeiro com bananeira (CB), cafeeiro com bananeira e palmeira juçara (CBP), safra 2016/2017, Alegre – ES

Sistemas de condução	MST (g)	PMSF	PMSG	PMSC	RMSF/MSG
Média: CM	44,02 ± 5,42	12,80 ± 5,18	75,13 ± 5,67	12,07 ± 1,37	0,18 ± 0,09
Média: CB	39,65 ± 12,47	20,41 ± 5,49	63,24 ± 8,63	16,10 ± 4,72	0,33 ± 0,11
Média: CBP	46,53 ± 3,82	18,11 ± 1,02	66,24 ± 4,85	15,64 ± 3,85	0,28 ± 0,03
Máximo	56,26	26,06	79,26	22,41	0,43
Mínimo	27,01	8,63	57,32	10,12	0,11
Média geral	44,45	17,11	68,20	14,69	0,26
CV _{experimental} (%)	15,14	30,62	11,77	26,55	39,52
W _{calculado}	0,95 ^N	0,95 ^N	0,89 ^N	0,89 ^N	0,94 ^N
Coefficiente de assimetria	-0,71	-0,11	0,17	0,48	-0,01
Coefficiente de curtose	4,10	1,95	1,50	1,91	1,80

^NA amostra provém de uma população com distribuição normal, pelo teste de Shapiro-Wilk, em 5% de probabilidade. Referências para estimadores de assimetria e curtose sendo 0 e 3, respectivamente.

Pode-se notar que os cafeeiros consorciados apresentaram maiores percentagens de massa seca de folhas e de caules. No caso do CM, a menor massa de folhas pode ter ocorrido pela maior translocação do amido e proteínas para os grãos, conforme relatado por Gonçalves (2007).

Avaliando a partição de matéria seca em genótipos de cafeeiro durante a formação de frutos, Carvalho et al. (2005) evidenciaram que a matéria seca dos frutos representou cerca de 45% da matéria seca total acumulada ao final do ciclo reprodutivo, verificando a força de dreno que os mesmos exercem.

Em cafeeiro conilon, Christo (2017) evidenciou que as folhas acumularam entre 14 e 25% da biomassa do ramo plagiotrópico; enquanto os grãos, entre 63 e 71%.

Razão de rendimento e produtividade

Para rendimento foi observada distribuição normal simétrica positiva e platicúrtica (Tabela 10). Observa-se que as menores razões de rendimento foram obtidas nos sistemas CBP com 3,74 e CM com 3,83. O sistema CB obteve o maior valor com 4,12.

Esses resultados expressam a relação entre os quilogramas de café recém-colhido na roça e o café beneficiado. Assim, no caso do CBP, 3,74 kg de café recém-colhido produziram 1 kg de café beneficiado com 12% de umidade.

Os valores de razão de rendimento, no caso de café conilon, variam entre 3,3 a 5,2. Esses valores irão depender do genótipo e aumentam à medida que se colhem frutos verdes (GALOTE et al., 2013).

Tabela 10. Razão de rendimento e produtividade (sc/ha) de cafeeiro arábica Catuaí Vermelho IAC 44 sob três sistemas de condução: cafeeiro em monocultivo (CM), cafeeiro com bananeira (CB), cafeeiro com bananeira e palmeira juçara (CBP), safra 2016/2017, Alegre – ES

Sistemas de condução	Razão de rendimento	Produtividade (sc/ha)
Média: CM	3,83 ± 0,05	60,46 ± 7,83
Média: CB	4,12 ± 0,31	41,78 ± 3,58
Média: CBP	3,74 ± 0,11	49,61 ± 5,38
Máximo	4,62	71,47
Mínimo	3,54	36,61
Média geral	3,90	50,62
CV _{experimental} (%)	6,28	18,98
W _{calculado}	0,78	0,95 ^N
Coefficiente de assimetria	1,72	0,62
Coefficiente de curtose	6,25	2,60

^NA amostra provém de uma população com distribuição normal, pelo teste de Shapiro-Wilk, em 5% de probabilidade. Referências para estimadores de assimetria e curtose sendo 0 e 3, respectivamente.

A produção de grãos em um ambiente mais ameno, torna as plantas de cafeeiro mais vigorosas para sustentar uma produção mais estável no tempo, diminuindo a bienalidade da produção e aumentando a possibilidade de produzir grãos de melhor qualidade (MIRANDA et al., 1999; CARAMORI et al., 2004; DaMATTA et al., 2007).

Um fator importante a ter em conta nos sistemas consorciados é a escolha correta do genótipo,

embora atualmente os programas de melhoramento genético não têm desenvolvido um material genético para esse fim (DaMATTA et al., 2007).

Qualidade física dos grãos

O tamanho dos grãos se correlaciona bem com aspectos relacionados ao preço e, até mesmo, à qualidade de bebida. Nesse caso, os sistemas CB e CBP produziram maior percentagem de grãos de maior tamanho, acima de peneira 16, Tabela 11. A padronização da massa de grãos é muito importante no processo de seca e torra, de modo a deixar o procedimento mais uniforme, o que influencia diretamente na qualidade da bebida (RODRIGUES et al., 2014).

Esse resultado, concorda com o observado por Vaast et al. (2006), que relatam que o sombreamento aumenta o tamanho dos grãos devido ao prolongamento da fase de maturação.

Foi observada normalidade para todas as variáveis, e notou-se que, em sua maioria, as variáveis apresentaram distribuição normal simétrica negativa e platicúrtica (Tabela 11).

Tabela 11. Distribuição percentual dos grãos nas classes de peneiras 16 acima (P16AC), peneiras 14+15 (P14/15) e peneiras 13 abaixo (P13AB) de cafeeiro arábica Catuaí Vermelho IAC 44 sob três sistemas de condução: cafeeiro monocultivo (CM), cafeeiro com bananeira (CB), cafeeiro com bananeira e palmeira juçara (CBP), safra 2016/2017, Alegre – ES

Sistemas de condução	P16AC	P14/15	P13AB
Média: CM	58,00 ± 2,16	34,19 ± 1,22	7,82 ± 1,06
Média: CB	64,96 ± 5,26	29,13 ± 4,67	5,91 ± 0,83
Média: CBP	62,93 ± 7,27	31,63 ± 6,53	5,44 ± 1,62
Máximo	69,66	42,04	8,98
Mínimo	52,52	24,38	3,20
Média geral	61,97	31,64	6,40
CV _{experimental} (%)	9,34	15,29	24,22
W _{calculado}	0,89 ^N	0,94 ^N	0,96 ^N
Coeficiente de assimetria	-0,07	0,41	-0,11
Coeficiente de curtose	1,52	2,45	2,46

^NA amostra provém de uma população com distribuição normal, pelo teste de Shapiro-Wilk, em 5% de probabilidade. Referências para estimadores de assimetria e curtose sendo 0 e 3, respectivamente.

CONCLUSÕES

Quanto à caracterização morfológica das plantas observa-se nos sistemas consorciados maior diâmetro de copa, ramos plagiotrópicos com maior acúmulo de massa seca nas folhas e caules e maior porcentagem de grãos graúdos (P16AC). No sistema de monocultivo as plantas acumularam maior massa seca nos grãos e a lavoura apresentou maior produtividade.

REFERÊNCIAS

- ALVARENGA, A. P.; VALE, R.S.; COUTO, L; VALE, F.A.; VALE, A.B. Aspectos fisiológicos da cultura do café e seu potencial produtivo em sistemas agroflorestais. **Agrossilvicultura**, v. 1, n. 2, p. 195-202, 2004.
- ARAÚJO, A.V.; PARTELLI, F. L.; OLIVEIRA, M. G.; PEZZOPANE, J. R. M.; FALQUETO, A. R.; CAVATTE, P. C. Microclima e crescimento vegetativo do café conilon consorciado com bananeiras. **Coffee Science**, Lavras, v. 10, n. 2, p. 214 - 222, 2015.
- 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. **Arborização de cafezais no Brasil**. Vitória da Conquista: UESB, 2004. p.19-42.
- CARVALHO, C. H. S.; ALMEIDA, G. R. R.; MENDONÇA, J. M. A.; GARCIA, A. L. A.; SOUZA, T. Partição de matéria seca em cinco genótipos de café durante a época de formação dos frutos. Congresso Brasileiro de Pesquisas Cafeeiras. **Anais...** Guarapari-ES: 31, 2005, p. 67-68.
- CARVALHO, C. H. S. de (Ed.). **Cultivares de café: origem, características e recomendações**. Brasília: Embrapa Café, 2008. 334p.
- CHRISTO, B. F. **Caracterização de clones de cafeeiro conilon em sistema consorciado com coqueiro-anão**. Dissertação de Mestrado em Produção vegetal. Universidade Federal do Espírito Santo. 2017. 38p.
- COELHO, R. A.; MATSUMOTO, S. N.; LEMOS, C. L.; SOUZA, F. A. Nível de sombreamento, umidade de solo e morfologia do cafeeiro em sistemas agroflorestais.

Revista Ceres, Viçosa, v. 57, n. 1, p. 095-102, 2010.

DaMATTA, F. M.; RONCHI, C. P.; MAESTRI, M.; BARROS, R. S. Ecophysiology of coffee growth and production. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v. 19, n. 4, p. 485-510, 2007.

FERREIRA, D. F. SISVAR: A Computer statistical Analysis System. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 35, p. 1039-1042, 2011.

GALOTE, J. K. B.; MORAIS NETO, A. J.; MENDES, D. F.; DARDENGO, M. C. J. Índices de qualidade e bebida dos frutos do conilon robusta tropical por via seca. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v. 9, n. 17, p. 1647-1653, 2013.

GONÇALVES, G. C. **Cultivo em campo de *Coffea arabica* L. cv. Obatã a pleno sol x sombreamento parcial: avaliações bioquímicas, fisiológicas e nutricionais**. Tese de doutorado em Ciências. Universidade São Paulo. 2007. 117p.

LEMO, C. L.; MATSUMOTO, S. N.; COELHO, R. A.; LIMA, J. M.; CÉSAR, F. R. C. F.; BONFIM, J. A.; GUIMARÃES, M. M. C.; SANTOS, M. A. F.; ARAÚJO, G. S.; SOUZA, A. J. Avaliação do desenvolvimento vegetativo em cafeeiros sombreado e a pleno sol. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 2, n. 2, p. 1062-1065, 2007.

MATTA, F. M.; RODRÍGUEZ, N. Producción sostenible de cafetales en sistemas agroforestales del eotrópico: una visión agronómica y ecofisiológica. **Agronomía Colombiana**, Bogotá, v. 25, n. 1, p. 113-122, 2007.

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

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**, Brasília, v. 38, n. 10, p. 1131-1137, 2003.

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

- REIS, P. R.; CUNHA, R. L. **Café Arábica do plantio à colheita**. Lavras: U.R. EPAMIG SM, 2010. v. 1, 896p.
- RICCI, M. S. F.; COSTA, J. R.; SANTOS, V. L. S.; PINTO, A. N. Cultivo orgânico de cultivares de café a pleno sol e sombreado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v. 41, n. 4, p. 569-575, 2006.
- RODRIGUES W. P.; VIEIRA, H. D.; BARBOSA, D. H. S. G.; SOUSA FILHO, G. R.; PARTELLI, F. L. Agronomic performance of arabica coffee genotypes in northwest Rio de Janeiro State. **Genetics and Molecular Research**, v. 13, n. 3, p. 5664-5673, 2014.
- TATAGIBA, S. D.; PEZZOPANE, J. E. M.; REIS, E. F. Crescimento vegetativo de mudas de café arábica (*Coffea arabica* L.) submetidas a diferentes níveis de sombreamento. **Coffee Science**, Lavras, v. 5, n. 3, p. 251-261, 2010.
- VAAST, P.; BERTRAND, B.; PERRIOT, J. J.; GUYOT, B.; GÉNARD, M. Fruit thinning and shade improve bean characteristics and beverage quality of coffee (*Coffea arabica* L.) under optimal conditions. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 86, n. 2, p. 197-204, 2006.
- WINTGENS, J. N. **Coffee: Growing, processing, sustainable production**. 2. ed. Alemanha. 2012. 1000p.

CAPÍTULO 03

CLOROFILAS E TROCAS GASOSAS DE CAFEIEIRO EM CULTIVOS CONSORCIADOS

RESUMO

Objetivou-se caracterizar a fisiologia do cafeeiro sob três sistemas de condução no sul do estado do Espírito Santo, quais sejam: a) cafeeiro em monocultivo (CM); b) cafeeiro consorciado com bananeira (CB); e c) cafeeiro consorciado com bananeira e palmeira juçara (CBP). Avaliaram-se teores de clorofilas (clorofila *a*, clorofila *b*, clorofila total e relação clorofila *a/b*) e trocas gasosas [(taxa de assimilação líquida de CO₂ (*A*), condutância estomática (*g_s*), concentração subestomática de CO₂ (*C_i*), transpiração (*E*), eficiência intrínseca de uso de água (*A/g_s*), eficiência instantânea de uso de água (*A/E*) e eficiência de carboxilação (*A/C_i*)]. O cafeeiro em condições de consórcio apresentou menores valores para eficiência intrínseca e instantânea de uso de água, e maiores valores para condutância estomática e transpiração. O cafeeiro consorciado com bananeira obteve a maior taxa de assimilação líquida. E, o cafeeiro em monocultivo foi mais eficiente no uso de água.

Palavras-chave: *Coffea arabica*, eficiência do uso de água, trocas gasosas.

ABSTRACT

The objective of this study was to characterize the coffee physiology under three systems of conduction in the southern state of Espírito Santo, namely: a) coffee in monoculture (CM); b) coffee tree intercropped with banana (CB); and c) coffee tree intercropped with banana tree and juçara palm (CBP). Were evaluated chlorophyll levels (chlorophyll *a*, chlorophyll *b*, total chlorophyll *a* and chlorophyll *a/b*) and gaseous changes [(net assimilation rate (*A*), stomatal conductance (*g_s*), CO₂ sub-stomatic concentration (*C_i*), transpiration (*E*), intrinsic efficiency of water use (*A/g_s*), instant efficiency of water use (*A/E*), and carboxylation efficiency (*A/C_i*)]. The coffee in the consortium conditions presented lower values for chlorophylls, intrinsic water use efficiency, instant water use efficiency, and higher values for stomatal conductance, CO₂ sub-stomatic concentration and transpiration. The coffee tree intercropped with banana showed the highest rate of net assimilation. And the monoculture coffee was more efficient in the use of water.

Keywords: *Coffea arabica*, water use efficiency, gas exchange.

INTRODUÇÃO

A disponibilidade da radiação é um dos fatores que influenciam no desenvolvimento do cafeeiro, e presença de plantas de maior altura dentro da cultura produzem sombreamento modificando o microclima e alterando o seu crescimento vegetativo e reprodutivo (PEZZOPANE, 2007; CAMPANHA et al., 2004). Nesses ambientes, ocorrem variações na intensidade de luminosidade, o que faz com que a planta procure adequar o aparelho fotossintético, para obter uma maior eficiência na absorção e transferência de energia para os processos fotossintéticos (SOUZA et al., 2011). Para isso elas desenvolvem uma série de mecanismos que ajudam a manter o equilíbrio entre a energia absorvida e a sua utilização, através da fixação do carbono na fotossíntese. Quando se tem excesso de luz absorvida se produz fotoinibição, que restringe o crescimento da planta (IVANOV et al., 2008).

A fotossíntese é um processo complexo que contribui com 90 % da formação da matéria seca total da planta, e entre os fatores que influenciam na sua eficiência destacam a temperatura, a radiação solar, a idade e o tipo de planta, nutrição e manejo (FORTES et al., 2009).

Quando as plantas possuem plasticidade, em ambientes com baixa disponibilidade de radiação modificam sua fisiologia aumentando os teores de clorofila, reduzindo tanto a atividade da rubisco quanto a taxa de assimilação líquida (GOMES et al., 2008).

Um dos indicadores da capacidade fotossintética das plantas é a quantidade de clorofila por unidade de área das folhas, já que representa uma medida de dimensão do sistema fotossintético e da sua eficiência (GARCÍA et al., 2005), o que determina sua produção de biomassa em diferentes condições de exploração. A quantificação dos pigmentos fotossintéticos e o estudo da sua dinâmica através do tempo podem contribuir para o conhecimento do comportamento das plantas durante seu ciclo de desenvolvimento, que guarda uma estreita relação com a utilização da energia luminosa, CO₂, água e nutrientes. Ajudaria, além disso, a desenhar sistemas de manejo eficientes (FORTES et al., 2009).

Nesse contexto, objetivou-se caracterizar fisiologicamente o cafeeiro sob três sistemas de condução, na região de Caparaó, sul do estado do Espírito Santo.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na localidade de Lagoa Seca, zona rural do município de Alegre (ES), em uma propriedade tipicamente produtora de café arábica, a uma altitude de 740 m e com as seguintes coordenadas geográficas: latitude 20°53'30" S; longitude 41°28' W.

A área estudada caracteriza-se por topografia ondulada-acidentada, com solo classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo. O clima da região, de acordo com a classificação de Köppen, é do tipo Cwa, caracterizado por ter verão chuvoso e inverno seco.

Os dados de precipitação e temperatura na safra 2016/2017 foram coletados por intermédio de estação meteorológica automática Modelo E5000 instalada no local de estudo. A temperatura média anual foi de 21,34 °C e a precipitação pluvial anual, de 1616,29 mm (Figura 1). As condições climáticas apresentadas foram adequadas para o desenvolvimento do cafeeiro (WINTGENS, 2012).

O estudo foi realizado no cultivo de cafeeiro sob três sistemas de condução: a) cafeeiro em monocultivo (CM); b) cafeeiro consorciado com bananeira (CB); e c) cafeeiro consorciado com bananeira e palmeira juçara (CBP).

A variedade de cafeeiro arábica utilizada nos sistemas de condução foi Catuaí Vermelho IAC 44, plantado em 1991, com linhas de cultivo em curva de nível voltadas para face oeste, com espaçamento de 3 m entre linhas e 2 m entre covas, com duas plantas por cova. Em 2010 foi realizada poda tipo decote baixo e efetuado o plantio de bananeira nanicão nas entre linhas do cafeeiro, no espaçamento 5 x 3 m. Da mesma forma, em 2013, nas mesmas linhas da bananeira se plantou palmeira juçara, no espaçamento 5 x 3 m (Figura 2). Na Tabela 1, se descrevem algumas características dos sistemas de condução.

A condução do cultivo seguiu as recomendações propostas para cafeeiro arábica por Reis e Cunha (2010). Em outubro de 2016 foi realizada a correção da acidez do solo pela calagem, após um mês se efetuou a primeira adubação com macro e micronutrientes, sendo realizadas mais duas (dezembro de 2016 e fevereiro de 2017) com macronutrientes, seguindo a recomendação de manejo nutricional para o cafeeiro arábica (PREZOTTI et al., 2007).

Os cultivos se desenvolveram em condições de sequeiro e sem emprego de produtos químicos para o controle das pragas e doenças. As plantas daninhas foram controladas utilizando roçadeira costal.

As parcelas experimentais consistiram em áreas de 30 m², aleatoriamente selecionadas dentro da área de cada sistema de cultivo. Foram empregadas cinco repetições e as médias das parcelas foram estimadas com base na avaliação de todas as plantas centrais da parcela.

As características fisiológicas avaliadas na safra 2016/2017, na fase de granação foram:

- a) Índices de clorofila (teor de clorofila *a*, *b* e total), utilizando um medidor portátil de clorofila (“ClorofiLOG” Falker modelo CFL1030);
- b) Trocas gasosas para estimativa das variáveis fotossintéticas, por meio do analisador portátil de gás infravermelho (IRGA Licor 6800XT): Taxa de assimilação líquida de CO₂ (*A*, μmol CO₂ m⁻² s⁻¹), taxa de transpiração (*E*, mmol H₂O m⁻² s⁻¹), a condutância estomática (*g_s*, mol H₂O m⁻² s⁻¹) e concentração subestomática de CO₂ (*C_i*, ppm). A radiação fotossinteticamente ativa foi padronizada em luz saturante artificial de 1000 μmol fótons m⁻² s⁻¹ e o CO₂ em concentração na câmara de 420 ppm;
- c) Estimativas da eficiência instantânea do uso da água (*A/E*, μmol mmol⁻¹), da eficiência intrínseca do uso da água (*A/g_s*, μmol mol⁻¹) e a eficiência instantânea de carboxilação (*A/C_i*).

Estas características foram avaliadas em três plantas úteis de cada área amostrada, entre 8 e 11 horas da manhã, em folhas completamente expandidas do terceiro ou quarto par, a partir do ápice dos ramos plagiotrópicos na altura mediana da planta. As avaliações foram realizadas em dois ramos plagiotrópicos por planta, um em cada lado da linha de cultivo.

Com os resultados obtidos se realizaram as análises estatísticas descritivas. Para cada variável obteve-se a média, o desvio padrão, o valor máximo, o valor mínimo e o coeficiente de variação.

A normalidade de distribuição dos dados foi testada com emprego do teste de Shapiro-Wilk em 5% de probabilidade, e os coeficientes de simetria e Curtose das distribuições foram estimados, empregando-se as referências de 0 e 3, respectivamente. As análises foram realizadas com auxílio do programa estatístico SISVAR (FERREIRA et al., 2011).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Clorofilas

Foi observada normalidade para todas as variáveis relacionadas à clorofila, e notou-se que, em sua maioria, as variáveis apresentaram distribuição normal simétrica negativa e platicúrtica (Tabela 12).

Analisando a Tabela 12, pode-se observar que os teores de clorofila *a* para os três sistemas de condução variaram entre 42,20 e 45,55 com um coeficiente de variação de 2,23%, mostrando que a variação entre os sistemas é muito baixa. Para clorofila total, os teores variaram entre 58,40 e 68,13 com 5,01% de variação, atingindo o maior teor o CM. No caso da clorofila *b*, os maiores teores foram obtidos pelo sistema CM, seguido de CB; enquanto a maior relação da clorofila *a/b*, correspondeu ao sistema CBP, seguido de CB.

As plantas sombreadas, com boas condições nutricionais, normalmente apresentam folhas com elevado teor de clorofilas totais por unidade de massa, de forma a aumentar sua capacidade de absorção de luz (CAO, 2000; FENG et al., 2004; GUREVITCH et al., 2009). Assim mesmo, o aumento da clorofila *b* nas folhas submetidas à baixa luminosidade é uma característica importante de adaptabilidade vegetal, porque ela capta energia de outros comprimentos de onda e a transfere para a clorofila *a* que efetivamente atua nas reações fotoquímicas da fotossíntese e representa um mecanismo de adaptação à condição de menor intensidade luminosa (SCALON et al., 2002; RUBERTI et al., 2012), porém não foi observado nesta pesquisa.

Os teores de clorofila nas folhas são muito importantes porque permitem avaliar o estado fisiológico das plantas, e estes podem variar como resposta a fatores adversos, capacidade fotossintética ou o estado de desenvolvimento da planta. Tem se encontrado que a luz incidente causa variação nos teores das clorofilas. A possibilidade de seguir sintetizando clorofilas se reduz com a idade e com a posição da folha na planta (CASIERRA et al., 2012).

Em cafeeiro conilon sombreado com seringueira, Araújo (2013) evidenciou que os teores de clorofila *a*, clorofila *b* e clorofila total foram similares entre os cafeeiros sombreados e não sombreados no verão; enquanto no inverno, os cafeeiros sombreados apresentaram menores teores de clorofila *b* e clorofila total. O mesmo autor, avaliando cafeeiros conilon consorciado com bananeira, relata que os maiores teores de clorofila *b* e total corresponderam ao cafeeiro

distante a 1,75 m quando comparado com o cafeeiro distante a 5,5 m da sombra da bananeira.

Tabela 12. Teores de clorofilas *a*, clorofila *b*, clorofila total e relação clorofila *a/b* de cafeeiros arábica Catuaí Vermelho IAC 44 sob três sistemas de condução: cafeeiro monocultivo (CM), cafeeiro com bananeira (CB), cafeeiro com bananeira e palmeira juçara (CBP), safra 2016/2017, Alegre – ES.

Sistemas de condução	CLa	CLb	CLT	CLa/b
Média: CM	44,41 ± 0,57	21,74 ± 1,32	66,14 ± 1,73	2,05 ± 0,11
Média: CB	43,99 ± 0,88	19,56 ± 2,58	63,54 ± 3,21	2,28 ± 0,27
Média: CBP	43,91 ± 1,45	17,78 ± 2,60	61,69 ± 3,14	2,51 ± 0,35
Máximo	45,55	23,08	68,13	2,96
Mínimo	42,20	15,40	58,40	1,91
Média geral	44,10	19,69	63,79	2,28
CV _{experimental} (%)	2,23	13,55	5,01	13,66
W _{calculado}	0,93 ^N	0,93 ^N	0,93 ^N	0,93 ^N
Coefficiente de assimetria	-0,53	-0,28	-0,44	0,72
Coefficiente de curtose	2,43	1,80	1,99	2,59

^NA amostra provém de uma população com distribuição normal, pelo teste de Shapiro-Wilk, em 5% de probabilidade. Referências para estimadores de assimetria e curtose sendo 0 e 3, respectivamente.

Bonfim et al. (2010) verificaram que o cafeeiro arábica sombreado, com boas condições nutricionais, apresentou maiores teores de clorofila total quando comparado com cafeeiros a pleno sol.

Diversos trabalhos desenvolvidos em outras culturas, os diferentes autores (REGO; POSSAMANI, 2006; MARTINS et al., 2009; OLIVEIRA et al., 2009; SOUZA et al., 2011; MAYOLI; GITAU, 2012), relatam ter encontrado maiores teores de clorofilas em plantas sombreadas em relação às de pleno sol.

Quando o sombreamento aumenta, a relação entre clorofila *a* e *b* diminui porque a concentração de clorofila *b* acrescenta-se, permitindo assim às plantas maximizarem a captura de luz (DALMOLIN et al., 2015). Quando a relação é baixa, indica aumento dos teores de clorofila *b* e melhor aproveitamento da pouca luminosidade (ARAÚJO et al., 2016).

Os fatores que reduzem a relação clorofila *a/b* são a idade das folhas e baixa disponibilidade da luz (LEI et al. 1996). Castro e Sanchez (2008) relatam ter encontrado uma relação alta de clorofila *a /b* em folhas de *Populus tremuloides* sob sombra, enquanto que em *Populus balsamífera*, o valor da relação foi maior em folhas colocadas em plena exposição, quando

comparado com folhas sombreadas. Casierra et al. (2012) evidenciaram que as folhas de calêndula colocadas sob sombra apresentaram um maior valor na relação entre ambas clorofilas, quando comparado com as folhas sob plena exposição.

Trocas gasosas

Foi observada normalidade para a maioria das variáveis relacionadas a trocas gasosas, e notou-se que, em sua maioria, apresentaram distribuição normal simétrica positiva e platicúrtica (Tabelas 13 e 14).

Para taxa de assimilação líquida de CO₂ (*A*), Tabela 13, os valores variaram entre 5,17 e 10,47 com um coeficiente de variação de 18,45%, sendo que o sistema CB apresentou a maior taxa seguido do sistema CM. Estes resultados podem se explicar pelo sombreamento do cafeeiro, causado pela bananeira, que permite reduzir a irradiação sobre a planta de cafeeiros. Nas plantas tipo C3, como é o cafeeiro, baixos níveis de radiação podem saturar o aparelho fotossintético (LARCHER, 2000), o que ajudaria a explicar a maior taxa obtida. E, no caso do sistema CM, elevados níveis de radiação podem causar danos foto-oxidativos no aparelho fotossintético, aumentando o processo fotorrespiratório e reduzindo a taxa de assimilação líquida de CO₂ (CAVATTE et al., 2012). No caso do sistema CBP, é possível que o excesso de sombreamento tenha reduzido os níveis de radiação, reduzindo a taxa de assimilação líquida de CO₂ (BALIZA et al., 2012). A atividade fotossintética pode variar de acordo com o ambiente, e as principais limitações ambientais são CO₂ e radiação (ZHOU; HAN, 2005).

Os valores encontrados para (*A*) encontram-se na faixa de 7 a 12 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, e segundo Araújo (2006), esses valores são baixos em relação à maioria das plantas lenhosas, e que a explicação poderia ser a resistência à difusão do CO₂, desde a atmosfera até os sítios de carboxilação.

A condutância estomática é uma variável importante que indica o intercâmbio gasoso entre a planta e a atmosfera, e representa o fluxo de água e CO₂ através dos estomas, e existe uma relação direta entre a condutância e a taxa fotossintética (HERNANDEZ et al., 2007). Os valores da condutância são indicadores indiretos da umidade do solo; valores acima do ótimo (0,20 a 0,30 $\text{mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) significam consumo de luxo; e por abaixo podem causar estresses (PONCE; MARCACUZCO, 2017).

Tabela 13. Taxa de assimilação líquida de CO₂ (*A*), condutância estomática (*g_s*), concentração subestomática de CO₂ (*C_i*) e Transpiração (*E*) de cafeeiros arábica Catuaí Vermelho IAC 44 sob três sistemas de condução: cafeeiro monocultivo (CM), cafeeiro com bananeira (CB), cafeeiro com bananeira e palmeira juçara (CBP), safra 2016/2017, Alegre – ES

Sistemas de condução	<i>A</i> ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	<i>g_s</i> ($\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	<i>C_i</i> (ppm)	<i>E</i> ($\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)
Média: CM	7,31 ± 0,43	0,13 ± 0,02	303,74 ± 17,90	1,79 ± 0,32
Média: CB	8,84 ± 1,25	0,19 ± 0,02	318,79 ± 8,33	2,26 ± 0,34
Média: CBP	6,32 ± 0,95	0,24 ± 0,08	332,95 ± 8,67	2,10 ± 0,35
Máximo	10,47	0,37	342,47	2,83
Mínimo	5,17	0,11	286,77	1,36
Média geral	7,49	0,18	318,49	2,05
CV _{experimental} (%)	18,45	35,62	5,30	18,08
W _{calculado}	0,95 ^N	0,85	0,94 ^N	0,94 ^N
Coefficiente de assimetria	0,54	1,51	-0,46	0,47
Coefficiente de curtose	2,99	5,57	2,24	3,34

^NA amostra provém de uma população com distribuição normal, pelo teste de Shapiro-Wilk, em 5% de probabilidade. Referências para estimadores de assimetria e curtose sendo 0 e 3, respectivamente.

A condutância estomática observada nos sistemas de condução, Tabela 13, mostrou valores entre 0,11 e 0,37 mol H₂O m² s⁻¹ com um coeficiente de variação de 35,62. O sistema CBP obteve maiores valores para condutância estomática. No caso do sistema CB, obteve valor intermediário; enquanto o sistema CM apresentou menor valor. O fato de ter observado maiores valores de condutância nos cafeeiros consorciados, pode se explicar pela condição de sombreamento que contribui a manter a umidade de solo e regular a temperatura do ar e que poderiam beneficiar as trocas gasosas do cafeeiro (DaMATTA, 2004). No caso do CM, a menor condutância estomática permite à planta reduzir a perda de água, restringindo a entrada de CO₂ (ARAÚJO; DEMINICIS, 2009).

Resultados semelhantes foram relatados por Freitas et al. (2003) e Baliza et al. (2012), que evidenciaram menores valores de condutância estomática em cafeeiros a pleno sol.

Para concentração subestomática de CO₂ (*C_i*), Tabela 13, os valores variaram entre 286,77 e 342,47 ppm com um coeficiente de variação de 5,30%, sendo que o sistema CBP apresentou maior valor, seguido de CB. Quando a concentração subestomática de CO₂ é elevada, a taxa fotossintética é menor, existindo uma relação inversamente proporcional entre ambas as variáveis, conforme relatado por Concenção et al. (2008).

Para transpiração, Tabela 13, os valores variaram entre 1,36 e 2,83 com um coeficiente de

variação de 18,08%. Observa-se que os sistemas consorciados perderam mais água do que CM. Resultado semelhante foi obtido por Freitas et al. (2003) quando analisaram diferentes níveis de sombreamento no comportamento fisiológico de cultivares de *Coffea arabica* L.

Para eficiência intrínseca de uso de água (A/g_s), Tabela 14, observa-se que os valores variaram entre 20,75 e 69,64 $\mu\text{mol mol}^{-1}$ com um coeficiente de variação de 32,14%. Os sistemas CM e CB conseguiram ser mais eficientes no uso de água. Os maiores valores de eficiência intrínseca de uso de água implicam melhor uso da água na produção de matéria vegetal (MEDRANO et al., 2007).

Tabela 14. Eficiência intrínseca de uso de água (A/g_s), eficiência instantânea de carboxilação (A/C_i) e eficiência instantânea de uso de água (A/E) de cafeeiros arábica Catuaí Vermelho IAC 44 sob três sistemas de condução: cafeeiro monocultivo (CM), cafeeiro com bananeira (CB), cafeeiro com bananeira e palmeira juçara (CBP), safra 2016/2017, Alegre – ES

Sistema de condução	A/g_s ($\mu\text{mol mol}^{-1}$)	A/C_i ($\text{mol m}^2 \text{s}^{-1}$)	A/E ($\mu\text{mol mol}^{-1}$)
Média: CM	58,39 ± 7,35	0,024 ± 0,002	4,20 ± 0,90
Média: CB	47,25 ± 5,41	0,028 ± 0,004	3,94 ± 0,44
Média: CBP	27,67 ± 5,09	0,020 ± 0,003	3,04 ± 0,36
Máximo	69,64	0,034	5,71
Mínimo	20,75	0,015	2,68
Média geral	44,44	0,024	3,73
$CV_{\text{experimental}}$ (%)	32,14	20,28	20,66
$W_{\text{calculado}}$	0,95 ^N	0,98 ^N	0,92 ^N
Coeficiente de assimetria	-0,13	0,35	0,97
Coeficiente de curtose	2,04	2,86	4,08

^NA amostra provém de uma população com distribuição normal, pelo teste de Shapiro-Wilk, em 5% de probabilidade. Referências para estimadores de assimetria e curtose sendo 0 e 3, respectivamente.

Para eficiência instantânea de carboxilação (A/C_i), Tabela 14, observou-se que os valores variaram entre 0,015 e 0,034 $\text{mol m}^2 \text{s}^{-1}$ com um coeficiente de 20,28%. O CB obteve maiores médias sendo maior a CM e CBP. O fato de ter conseguido maior eficiência de carboxilação no CB pode-se explicar pela maior taxa de assimilação líquida de CO_2 e a concentração interna de CO_2 , pois estas variáveis estão estreitamente relacionadas conforme relatado por Ferraz et al. (2012).

Para eficiência instantânea de uso de água (A/E), Tabela 14, os valores variaram entre 2,68 e 5,71 com um coeficiente de variação de 20,66%. Os sistemas CM e CB foram mais eficientes

do que CBP. Pode-se perceber que o maior sombreamento, reduz a eficiência. A assimilação de dióxido de carbono do meio externo, produz perda de água nas folhas, e sua diminuição da perda restringe a entrada de CO₂ (SHIMAZAKI et al., 2007). A relação entre a taxa de assimilação líquida de CO₂ e a transpiração, indica a eficiência instantânea no uso de água, em que os valores observados relacionam a quantidade de carbono que a planta fixa, por cada unidade de água que perde (JAIMEZ et al., 2005).

CONCLUSÕES

O cafeeiro em condições de consórcio apresentou menores eficiências intrínseca e instantânea de uso de água; e maiores valores de condutância estomática, e transpiração. As plantas de cafeeiro no sistema de consórcio com bananeira exibiram maior taxa de assimilação líquida de CO₂.

O cafeeiro no sistema de monocultivo apresentou maior eficiência de uso de água.

REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, W. L. **Limitações da fotossíntese e metabolismo do carbono em folhas de diferentes posições da copa do cafeeiro (*Coffea arabica* L.)**. Dissertação de mestrado em Fisiologia Vegetal. Universidade Federal de Viçosa. 2006. 57p.
- ARAÚJO, A. **Microclima e características fisiológicas do cafeeiro conilon consorciado com seringueira e bananeira**. Dissertação de mestrado. Universidade Federal do Espírito Santo. 2013. 113p.
- ARAÚJO, S. A. C.; DEMINICIS, B. B. Fotoinibição da fotossíntese. **Revista Brasileira de Biociências**, Porto Alegre, v. 7, n. 4, p. 463-472, 2009.
- ARAÚJO, A.V.; PARTELLI, F. L.; OLIOSI, G.; PEZZOPANE, J. R. M. Microclimate, development and productivity of robusta coffee shaded by rubber trees and at full sun **Revista Ciências Agronômicas**, v. 47, n. 4, p. 700-709, 2016.
- BALIZA, D. P.; CUNHA, R. L.; CASTRO, E. M.; DELFINO BARBOSA, J. P. R. A.; PIRES, M. F.; GOMES, R. A. Trocas gasosas e características estruturais adaptativas de

- Cafeeiros cultivados em diferentes níveis de radiação. **Coffee Science**, Lavras, v. 7, n. 3, p. 250-258, 2012.
- BONFIM, J. A.; MATSUMOTO, S. N.; LIMA, J. M.; CÉSAR, F. R. C.; SANTOS, M. A. F. Fungos micorrízicos arbusculares (fma) e aspectos fisiológicos em cafeeiros cultivados em sistema agroflorestal e a pleno sol. **Bragantia**, Campinas, v.69, n. 1, p. 201-206, 2010.
- CAMPANHA, M. M.; SANTOS, R. H. S.; FREITAS, G. B.; MARTINEZ, H. E. P.; JARAMILLO-BOTERO, C.; GARCIA, S. L. R. Análise comparativa das características da serapilheira e do solo em cafezais (*Coffea arabica* L.) cultivados em sistema agroflorestal e em monocultura, na Zona da Mata MG. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 31, n. 5, p. 805-812, 2007.
- CAO, K. F. Leaf anatomy and chlorophyll content of 12 woody species in contrasting light conditions in Bornean heath forest. **Journal of Botany Canadian**, Ottawa, v. 78, n. 10, p. 1245-1253, 2000.
- CASIERRA, F.; AVILA, O.; RIASCOS, D. Cambios diarios del contenido de pigmentos fotosintéticos en hojas de caléndula bajo sol y sombra. **Temas Agrarios**, v. 17, n. 1, p. 60-71, 2012.
- CAVATTE P. C.; OLIVEIRA, A. A.; MORAIS, L. E.; MARTINS, S.C.; SANGLARD, L. M.; DaMATTA, F. M. Could shading reduce the negative impacts of drought on coffee? A morphophysiological analysis. **Physiologia Plantarum**, v. 114, p. 111-122, 2012.
- DALMOLIN, A. C.; OLIVEIRA, S. E.; ALMEIDA, B. C.; ORTÍZ, C. E. Alterações morfofisiológicas de plantas jovens de *Curatella americana* L. submetidas ao sombreamento. **Revista Brasileira de Biociências**, Porto Alegre, v. 13, n. 1, p. 41-48, 2015.
- DaMATTA, F. M. Ecophysiological constrains on the production of shaded and unshaded coffee: a review. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 86, n. 2, p. 99-114, 2004.
- FENG, Y. L.; CAO, K. F.; ZHANG, J. L. Photosynthetic characteristics, dark respiration and leaf mass per unit area in seedlings of four tropical tree species grown under three irradiances. **Photosynthetica**, Praga, v. 42, n. 3, p. 431-437, 2004.

- FERRAZ, R. L. S.; MELO, A. S.; SUASSUNA, J. F.; BRITO, M. E. B.; FERNANDES, P. D.; Júnior, E. S. N. Trocas gasosas e eficiência fotossintética em ecótipos de feijoeiro cultivados no semiárido. **Pesquisa Agropecuaria Tropical**, Goiânia, v. 42, n. 2, p. 181-188, 2012.
- FERREIRA, D. F. SISVAR: A Computer statistical Analysis System. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 35, p. 1039-1042, 2011.
- FLORES, F. La producción de café en México: ventana de oportunidad para el sector agrícola de Chiapas. **Rev. Espacio I+D, Innovación más desarrollo**. México. v. 4, n. 7, p.175-194, 2015.
- FORTES, D.; HERRERA, R. S.; GONZÁLEZ, S.; GARCÍA, M.; ROMERO, A.; CRUZ, A. M. Comportamiento de los pigmentos fotosintéticos, según la edad de rebrote después del pastoreo de *Pennisetum purpureum* vc. Cuba CT-115 en la estación poco lluviosa **Revista Cubana de Ciencia Agrícola**, v. 43, n. 2, p. 183-186, 2009.
- FREITAS, R. B.; OLIVIERA, L. E. M.; FILHO, N. D.; SOARES, A. M. Influência de diferentes níveis de sombreamento no comportamento fisiológico de cultivares de café (*Coffea arabica* L.). **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras. v. 27, n. 4, p. 804-810, 2003.
- GARCÍA, X.; GARCÍA, E.; RASCÓN, Q.; HERRERA, L.; AGUADO, G. A. 2005. Chlorophyll accumulation is enhanced by osmotic stress in graminaceous chlorophyllic cells. **Journal of Plant Physiology**. v.162, n, 6, p. 650-661, 2005.
- GOMES, I. A. C.; CASTRO, E. M.; SOARES, A. M.; ALVES, J. D.; ALVARENGA, M. I. N.; ALVES, E.; BARBOSA, J. P. R. A. D.; FRIES, D. D. Alterações morfofisiológicas em folhas de *Coffea arabica* L. cv. "Oeiras" sob influência do sombreamento por *Acacia mangium* Willd. **Ciência Rural**, v. 38, n. 1, p. 109-115, 2008.
- HERNÁNDEZ, D. C.; CALZADA, R. T.; ARRIAGA, O. E.; AVILA, J. G. A.; HERNÁNDEZ, A. F. Evaluación de un método para medir fotosíntesis en mezquite (*Prosopis glandulosa*). **Revista Chapingo Serie Zonas Áridas**. v. 6, p. 185-190, 2007.
- IVANOV, A.; HURRY, V.; SANE, P.; ÖQUIST, G.; HUNER, N. Reaction centre quenching of excess light energy and photoprotection of photosystem II. **Journal of Plant Biology**, v. 51, p. 85–96, 2008.

- JAIMEZ, R. E. et al. Seasonal variations in leaf gas exchange of plantain cv. 'Hartón' (*Musa AAB*) under different soil water conditions in a humid tropical region. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 104, n. 1, p. 79-89, 2005.
- LARCHER W. **Ecofisiologia vegetal**. Prado. São Carlos: Roma, 2000, 532p
- LEI, T.T.; TABUCHI, R.; KITAO, M.; KOIKE, T. Functional relationship between chlorophyll content and leaf reflectance, and light-capturing efficiency of Japanese forest species. **Physiologia Plantarum**, v. 96, p. 411-418, 1996.
- MARTINS, J. R.; ALVARENGA, A. A.; CASTRO, E. M.; SILVA, A. P. O.; OLIVEIRA, C.; ALVES, E. Anatomia foliar de plantas de alfavaca-cravo cultivadas sob malhas coloridas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, n. 1, p. 82-87, 2009.
- MAYOLI, R. N.; GITAU, K. M. The effects of shade trees on hysiology of arabica coffee. **African Journal of Horticultural Science**, Kenya, v. 6, n. 1, p. 35-42, 2012.
- MEDRANO, H.; BOTA, J.; CIFRE, J.; FLEXAS, J.; CARBÓ, M. R.; GULÍAS, J. Eficiencia en el uso del agua por las plantas. **Investigaciones Geográficas**, n. 43, p. 63-84, 2007.
- OLIVEIRA, M. I.; CASTRO, E. M.; COSTA, L. C. B.; OLIVEIRA, C. Características biométricas, anatômicas e fisiológicas de *Artemisia vulgaris* L. cultivada sob telas coloridas. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, Botucatu, v. 11, n. 1, p. 56-62, 2009.
- PEZZOPANE, J. R. M.; GALLO, M. J. P. B.; CAMARGO, M. P. B.; FAZUOLI, L. C. Avaliações fenológicas e agronômicas em café arábica cultivado a pleno sol e consorciado com banana 'Prata Anã'. **Bragantia**, v. 66, n. 7, p.701-709, 2007.
- PONCE, E.C.V.; MARCACUZCO, J.A.M. Desempeño del *Phaseolus vulgaris* bajo riego parcial cultivado en un sistema de respuesta hidrogravitrópica. **Scientia Agropecuaria** v. 8, n. 2, p. 137-147, 2017.
- REGO, G. M.; POSSAMANI, E. Efeito do sombreamento sobre o teor de clorofila e crescimento inicial do jequitibá-rosa. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, n. 53, p.179-194, 2006.
- RUBERTI, I.; SESSA, G.; CIOLFI, A.; POSSENTI, M.; CARABELLI, M.; MORELLI, G. 2012. Plant adaptation to dynamically changing environment: The shade avoidance

response. **Biotechnology Advances** 30: 1047–1058.

SCALON, S. P. Q.; MUSSURY, R. M.; RIGONI, M. R.; VERALDO, F. Crescimento inicial de mudas de espécies florestais nativas sob diferentes níveis de sombreamento. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 26, n. 1, p. 1-5, 2002.

SHIMAZAKI, K.; DOI, M.; ASSMANN, S. M.; KINOSHITA, T. Light regulation of stomatal movement. **Annual Review of Plant Biology**, Gainesville, v. 58, n. 1, p. 219-247, 2007.

SOUZA, G.; CASTRO, E.; SOARES, A.; SANTOS, A.; ALVES, E. Teores de pigmentos fotossintéticos, taxa de fotossíntese e estrutura de cloroplastos de plantas jovens de *Mikania laevigata* Schultz Bip. ex Baker cultivadas sob malhas coloridas. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 32, n. 1, p. 1843-1854, 2011

WINTGENS, J. N. **Coffee: Growing, processing, sustainable production**. 2. ed. Alemanha. 2012. 1000p.

ZHOU, Y. M.; HAN, S. J. Photosynthetic response and stomatal behaviour of *Pinus koraiensis* during the fourth year of exposure to elevated CO₂ concentration. **Photosynthetica**, Amsterdam, v. 43, n. 3, p. 445-449, 2005.

CAPÍTULO 04

TEORES E ALOCAÇÃO DE MACRO E MICRONUTRIENTES EM FOLHAS, CAULES E GRÃOS DE CAFEIEIRO ARÁBICA EM CULTIVOS CONSORCIADOS

RESUMO

Objetivou-se caracterizar nutricionalmente o cafeeiro sob três sistemas de condução no sul do estado do Espírito Santo, quais sejam: a) cafeeiro em monocultivo (CM); b) cafeeiro consorciado com bananeira (CB); e c) cafeeiro consorciado com bananeira e palmeira juçara (CBP). Na fase reprodutiva chumbinho, nas folhas avaliaram-se os teores nutricionais de N, P, K, Ca, Mg, S, Cu, Fe, Mn e Zn. E, na fase reprodutiva de maturação, os conteúdos dos nutrientes nos compartimentos dos ramos plagiotrópicos (folhas, grãos e caules). O cafeeiro em monocultivo acumulou maior quantidade de nutrientes nos grãos e apresentou maiores teores foliares para P, K, Ca, S, Cu e Zn. Os cafeeiros consorciados acumularam maior quantidade dos nutrientes nas folhas e nos caules, e exibiram maiores teores foliares de Mg e Fe.

Palavras-chave: *Coffea arabica*, estado nutricional, nitrogênio

ABSTRACT

The objective of this study was to characterize coffee plants nutritionally under three systems of conduction in the southern state of Espírito Santo, namely: a) coffee in monoculture (CM); b) coffee tree intercropped with banana (CB); and c) coffee tree intercropped with banana tree and juçara palm (CBP). Were evaluated in the leaves in the reproductive stage, the nutritional contents of N, P, K, Ca, Mg, S, Cu, Fe, Mn and Zn. And in the reproductive stage of maturation, the contents of the nutrients in the compartments of the plagiotropic branches (leaves, grains and stems). The monoculture coffee tree accumulated more nutrients in the grains and presented higher leaf contents for P, K, Ca, S, Cu and Zn. The intercropped trees accumulated more nutrients in the leaves and stems, and showed higher leaf contents of Mg and Fe.

Keywords: *Coffea arabica*, nutritional status, nitrogen.

INTRODUÇÃO

A produção do cafeeiro em sistemas consorciados com culturas que forneçam sombreamento e renda é uma das alternativas viáveis para mitigar o efeito do aquecimento global e reduzir os riscos econômicos (ARAÚJO, 2013). A consorciação adequada permitirá amenizar o ambiente climático reduzindo as altas temperaturas e radiações (PEZZOPANE et al, 2010).

Os sistemas de consorciação proporcionam maior proteção do solo contra a erosão, promovem a ciclagem de nutrientes pelas diferenças nas atividades radiculares das culturas envolvidas, permitem o aumento nas quantidades de matéria orgânica no solo pelas quedas de ramos, galhos e folhas entre outras partes das espécies vegetais e reduzem as perdas de N (MANCUSO et al., 2013). O aumento da biodiversidade permite a autorregulação dos sistemas gerando ambientes desfavoráveis para algumas pragas e doenças (RICCI et al., 2006).

O sucesso dos sistemas em consórcios está relacionado à quantidade de nutrientes fornecida pelo processo de decomposição dos restos vegetais no local, e com esses nutrientes lançados satisfazer as necessidades da colheita (MENDONÇA: STOTT, 2013).

No Brasil, as culturas como o ingazeiro, grevílea, seringueira, coqueiro anão, macadâmia e bananeira são utilizadas para o consórcio com o cafeeiro (ARAÚJO et al., 2015). As bananeiras consorciadas com o cafeeiro oferecem muitos benefícios como, por exemplo, a atenuação da radiação, redução tanto de danos fotossintéticos pelo excesso de luz quanto a velocidade de vento (PEZZOPANE et al., 2005). Outra grande vantagem de consorciar o cafeeiro com a bananeira é a geração de renda extra que pode contribuir a reduzir os riscos econômicos dos produtores (ASTEN et al., 2011).

O manejo do cafeeiro em sistemas consorciados deve ser realizado, observando-se a complementariedade ou competição específica entre seus componentes, tanto em relação às necessidades nutricionais quanto ao nível de sombreamento a que os cafeeiros estão submetidos com a finalidade de otimizar os ganhos (SALGADO et al., 2004).

Nesse contexto, objetivou-se caracterizar nutricionalmente o cafeeiro sob três sistemas de condução, na região de Caparaó, sul do estado do Espírito Santo.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na localidade de Lagoa Seca, zona rural do município de Alegre (ES), em uma propriedade tipicamente produtora de café arábica, a uma altitude de 740 m e com as seguintes coordenadas geográficas: latitude 20°53'30" S; longitude 41°28' W.

A área estudada caracteriza-se por sua topografia ondulada-acidentada, com solo classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo. O clima da região, de acordo com a classificação de Köppen, é do tipo Cwa, caracterizado por ter verão chuvoso e inverno seco.

Os dados de precipitação e temperatura na safra 2016/2017 foram coletados por intermédio de estação meteorológica automática Modelo E5000 instalada no local de estudo. A temperatura média anual foi de 21,34 °C e a precipitação pluvial anual, de 1616,29 mm (Figura 1). As condições climáticas apresentadas foram adequadas para o desenvolvimento do cafeeiro (WINTGENS, 2012).

O estudo foi realizado no cultivo de cafeeiro sob três sistemas de condução: a) cafeeiro em monocultivo (CM); b) cafeeiro consorciado com bananeira (CB); e c) cafeeiro consorciado com bananeira e palmeira juçara (CBP).

A variedade de cafeeiro arábica utilizada nos sistemas de condução foi Catuaí Vermelho IAC 44, plantado em 1991, com linhas de cultivo em curva de nível voltadas para face oeste, com espaçamento de 3 m entre linhas e 2 m entre covas, com duas plantas por cova. Em 2010 foi realizada poda tipo decote baixo e efetuado o plantio de bananeira nanicão nas entre linhas do cafeeiro, no espaçamento 5 x 3 m. Da mesma forma, em 2013, nas mesmas linhas da bananeira se plantou palmeira juçara, no espaçamento 5 x 3 m (Figura 2). Na Tabela 1 são descritas algumas características dos sistemas de condução.

A condução do cultivo seguiu as recomendações propostas para cafeeiro arábica por Reis e Cunha (2010). Em outubro de 2016 foi realizada a correção da acidez do solo pela calagem, após um mês se efetuou a primeira adubação com macro e micronutrientes, sendo realizada mais duas (dezembro de 2016 e fevereiro de 2017) com macronutrientes, seguindo a recomendação de manejo nutricional para o cafeeiro arábica (PREZOTTI et al., 2007).

Os cultivos se desenvolveram em condições de sequeiro e sem emprego de produtos químicos para o controle das pragas e doenças. As plantas daninhas foram controladas utilizando roçadeira costal.

As parcelas experimentais consistiram em áreas de 30 m², aleatoriamente selecionadas dentro da área de cada sistema de cultivo. Foram empregadas cinco repetições e as médias das parcelas foram estimadas com base na avaliação de todas as plantas centrais da parcela.

Para avaliar o estado nutricional da planta e distribuição dos nutrientes nos tecidos vegetais, as avaliações ocorreram durante as fases chumbinho e maturação na safra 2016/2017. Estas foram realizadas em dois ramos plagiotrópicos do terço médio, um em cada lado da linha de cultivo, em cada uma das três plantas da parte central de cada área amostrada. Os ramos plagiotrópicos com folhas e frutos, foram seccionados e levados ao Laboratório de Nutrição Mineral de Plantas do CCAE-UFES para as análises nutricionais, separando-os em folhas, frutos e ramos, e, posteriormente, estes materiais foram acondicionados em sacos de papel para a secagem em estufa de circulação forçada de ar a 65 °C até massa constante. Após cada componente vegetal (folhas, frutos e ramos) foi triturado em moinho tipo Wiley, e subsequentemente, submetido a análises químicas dos teores nutricionais (SILVA, 1999). As determinações dos teores de macro e micronutrientes (N, P, K, Ca, Mg, S, Cu, Fe, Mn e Zn) nos tecidos vegetais foram realizadas de acordo com os métodos descritos pela Embrapa (1997).

Com os resultados obtidos se realizaram as análises estatísticas descritivas. Para cada variável obteve-se a média, o desvio padrão, o valor máximo, o valor mínimo e o coeficiente de variação.

A normalidade de distribuição dos dados foi testada com emprego do teste de Shapiro-Wilk em 5% de probabilidade, e os coeficientes de simetria e Curtose das distribuições foram estimados, empregando-se as referências de 0 e 3, respectivamente. As análises foram realizadas com auxílio do programa estatístico SISVAR (FERREIRA et al., 2011).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Macronutrientes

Foi observada normalidade para a maioria das variáveis relacionadas a macronutrientes, e notou-se que, em sua maioria, as variáveis apresentaram distribuição normal simétrica positiva e platicúrtica (Tabelas 15 e 16).

Na Tabela 15, observa-se que os teores de N nas folhas variaram entre 2,64 e 3,13 dag kg⁻¹

com um coeficiente de variação de 4,21%. O cafeeiro nos três sistemas de condução apresentou teores foliares adequados para o seu normal desenvolvimento no estado do Espírito Santo, conforme preconizado por Prezotti e Guarçoni (2013). Pode-se notar diferenças muito pequenas entre os sistemas de condução, para este nutriente.

O fato de não ter encontrado maiores diferenças entre os sistemas de condução para N, apesar de que os sistemas consorciados apresentaram maior competição entre as plantas devido à diversificação, pode-se explicar pelo maior conteúdo da matéria orgânica presente nesses sistemas, a que fornece de N tanto para o cafeeiro quanto as culturas consorciadas, conforme relatado por Mancuso et al. (2013). Além disso, o maior sombreamento e a maior cobertura de solo aumentam a massa radicular e reduzem a perda de N (RICCI et al., 2006).

Resultado similar foi relatado por Araújo et al. (2015), que referem não ter encontrado diferenças significativas nos teores de N nas folhas entre os cafeeiros localizados a 1,75 m e 5,25 m de distância das plantas da bananeira em sistemas consorciados.

Para P e K, os três sistemas de condução caracterizaram-se por apresentar teores nas folhas abaixo da faixa proposta por Prezotti e Guarçoni (2013) para o bom desenvolvimento da cultura do cafeeiro no estado do Espírito Santo.

Para P e K, os maiores teores foram obtidos pelo sistema CM quando comparado com os sistemas CB e CBP. Esses resultados refletem o efeito da competição pela absorção destes nutrientes.

Os resultados obtidos mostram que o maior número de culturas por área, principalmente quando somente um dos cultivos é adubado, pode promover maior competição pelo nutriente, reduzindo o acúmulo de K nas folhas. Assim mesmo, devido a sua alta mobilidade, e até condições ambientais desfavoráveis na sua absorção no solo, este pode ser remobilizado dentro da planta durante todo o ciclo do cafeeiro (LAVIOLA, et al., 2008).

Resultado semelhante foi relatado por Araújo et al. (2015), que referem ter encontrado menor teor de P nas folhas do cafeeiro sombreado pela bananeira, explicando que essa ocorrência poderia ser pela competição do sistema radicular pelos nutrientes entre ambas as espécies.

Tabela 15. Teores de N, P e K em folhas de cafeeiro arábica Catuaí Vermelho IAC 44 sob três sistemas de condução: cafeeiro em monocultivo (CM), cafeeiro com bananeira (CB), cafeeiro com bananeira e palmeira juçara (CBP), safra 2016/2017, Alegre – ES

Sistemas de condução	N	P	K
	----- dag kg ⁻¹ -----		
Média: CM	2,84 ± 0,10	0,14 ± 0,01	1,67 ± 0,06
Média: CB	2,90 ± 0,15	0,13 ± 0,00	1,58 ± 0,06
Média: CBP	2,76 ± 0,07	0,11 ± 0,01	1,42 ± 0,04
Máximo	3,13	0,15	1,72
Mínimo	2,64	0,10	1,38
Média geral	2,83	0,13	1,55
CV _{experimental} (%)	4,21	11,13	7,68
W _{calculado}	0,93 ^N	0,93 ^N	0,93 ^N
Coefficiente de assimetria	0,83	-0,28	-0,13
Coefficiente de curtose	3,87	2,09	1,66

^NA amostra provém de uma população com distribuição normal, pelo teste de Shapiro-Wilk, em 5% de probabilidade. Referências para estimadores de assimetria e curtose sendo 0 e 3, respectivamente.

Para Ca os teores variaram entre 1,08 e 1,50 dag kg⁻¹ com um coeficiente de variação de 10,23%, Tabela 16. Os três sistemas de condução caracterizaram-se por apresentar teores foliares adequados para o normal desenvolvimento do cafeeiro no estado de Espírito Santo, conforme preconizado por Prezotti e Guarçoni (2013). O maior teor de Ca se apresentou no sistema CM quando comparado com os sistemas CB e CBP. Os menores teores de Ca no cafeeiro em sistemas consorciados podem ser atribuídos pela competição entre as culturas envolvidas.

Resultado similar foi encontrado por Araújo et al. (2015), que referem ter encontrado menor teor de Ca nas folhas do cafeeiro sombreado pela bananeira, explicando que essa ocorrência poderia ser pela competição do sistema radicular pelos nutrientes entre ambas as espécies.

Na Tabela 16 pode-se observar que os teores de Mg variaram entre 0,49 e 0,75 dg kg⁻¹ com um coeficiente de variação de 16,28%; enquanto para S, os teores variaram entre 0,59 e 1,00 dag kg⁻¹ com um coeficiente de variação de 16,28%. Os três sistemas de condução caracterizaram-se por apresentar elevados teores foliares de Mg e S para o normal desenvolvimento do cafeeiro no estado de Espírito Santo, conforme preconizado por Prezotti e Guarçoni (2013). É possível que a calagem, praticada continuamente nas lavouras, esteja

fornecendo constantemente esses nutrientes. Além disso, é possível também que a mineralização da matéria orgânica e a adição de adubos minerais que contêm Mg e S na composição, estejam contribuindo com o fornecimento constante desses nutrientes. Faquin (2005) refere que a matéria orgânica do solo é uma fonte importante de nutrientes.

Tabela 16. Teores de Ca, Mg e S em folhas de cafeeiro arábica Catuaí Vermelho IAC 44 sob três sistemas de condução: cafeeiro em monocultivo (CM), cafeeiro com bananeira (CB), cafeeiro com bananeira e palmeira juçara (CBP), safra 2016/2017, Alegre – ES

Sistemas de condução	Ca	Mg	S
	----- dag kg ⁻¹ -----		
Média: CM	1,42 ± 0,10	0,55 ± 0,04	0,77 ± 0,16
Média: CB	1,34 ± 0,05	0,73 ± 0,02	0,62 ± 0,03
Média: CBP	1,15 ± 0,05	0,68 ± 0,02	0,65 ± 0,03
Máximo	1,50	0,75	1,00
Mínimo	1,08	0,49	0,59
Média geral	1,30	0,65	0,68
CV _{experimental} (%)	10,23	12,24	16,28
W _{calculado}	0,95 ^N	0,91 ^N	0,74
Coefficiente de assimetria	-0,10	-0,65	1,87
Coefficiente de curtose	1,83	2,22	5,82

^NA amostra provém de uma população com distribuição normal, pelo teste de Shapiro-Wilk, em 5% de probabilidade. Referências para estimadores de assimetria e curtose sendo 0 e 3, respectivamente.

Os maiores teores de Mg foram observados nos sistemas consorciados quando comparado com o cafeeiro em monocultivo. É possível que nos sistemas consorciados, o cafeeiro tenha exigido maior formação de clorofila para captar a luz, e isso possa ter estimulado uma maior absorção de Mg. Enquanto o maior teor de S apresentou-se em CM, quando comparado com o cafeeiro em sistemas consorciados. É possível que o cafeeiro nos sistemas consorciados tenha apresentado maior competição com as outras culturas pelo nutriente.

Micronutrientes

Foi observada normalidade para as variáveis Ferro e Zinco, e notou-se que apresentaram distribuição normal simétrica positiva leptocúrtica e platicúrtica, respectivamente (Tabela 17).

Os teores de Cu nas folhas variaram entre 5,40 e 11,40 mg kg⁻¹ com um coeficiente de variação de 23,62%. O teor de Cu mostrado pelo sistema CM encontra-se na faixa adequada, enquanto os cafeeiros sob consórcio apresentaram teores abaixo da faixa recomendada por Prezotti e Guarçoni (2013) para o bom desenvolvimento da cultura do cafeeiro no estado do Espírito Santo.

Em média, o maior teor de Cu apresentou-se no cafeeiro em monocultivo quando comparado com os outros sistemas.

O fato de ter encontrado menores teores de Cu nas folhas nas culturas consorciadas poderia se explicar pelo maior conteúdo de matéria orgânica no solo. O Cu está ligado à formação de complexos orgânicos e é o micronutriente que mais interage com os compostos orgânicos do solo formando complexos estáveis, especialmente com grupos carboxílicos e fenólicos, conforme relatado por Abreu et al. (2007).

Em cafeeiros a pleno sol, espera-se encontrar maiores teores de Cu, porque este fica envolvido na capacidade antioxidativa, já que é constituinte de enzimas que participam da remoção de moléculas altamente reativas de O₂ (RAMALHO et al., 2013), situação que se apresentou nesta pesquisa.

Tabela 17. Teores de Cu, Fe, Mn e Zn em folhas de cafeeiro arábica Catuaí Vermelho IAC 44 sob três sistemas de condução: cafeeiro em monocultivo (CM), cafeeiro com bananeira (CB), cafeeiro com bananeira e palmeira juçara (CBP), safra 2016/2017, Alegre – ES

Sistema de condução	Cu	Fe	Mn	Zn
	----- mg kg ⁻¹ -----			
Média: CM	10,14 ± 1,8	125,24 ± 16,01	77,51 ± 3,89	33,28 ± 3,50
Média: CB	7,09 ± 0,34	141,89 ± 39,55	107,82 ± 1,11	21,10 ± 4,90
Média: CBP	6,31 ± 0,54	159,42 ± 13,26	77,09 ± 1,33	16,85 ± 1,58
Máximo	11,40	212,26	109,00	37,85
Mínimo	5,40	102,73	72,13	14,91
Média geral	7,85	142,18	87,48	23,75
CV _{experimental} (%)	23,62	19,63	17,22	33,42
W _{calculado}	0,86	0,92 ^N	0,72	0,89 ^N
Coeficiente de assimetria	0,77	1,00	0,65	0,42
Coeficiente de curtose	2,18	3,71	1,51	1,77

^NA amostra provém de uma população com distribuição normal, pelo teste de Shapiro-Wilk, em 5% de probabilidade. Referências para estimadores de assimetria e curtose sendo 0 e 3, respectivamente.

Resultado similar foi relatado por Carmo et al. (2012), que evidenciaram menores teores de Cu no tecido foliar do cafeeiro em sistema agroflorestal apesar de ter mais Cu no solo.

Já Araújo et al. (2015), estudando cafeeiro conilon a pleno sol e consorciado com seringueira e bananeira não encontraram diferenças significativas para teor de Cu nas folhas, entre o cafeeiro a pleno sol e cafeeiro sombreado.

Os teores de Fe variaram entre 102,73 e 212,26 mg kg⁻¹ com um coeficiente de variação de 19,63%. Os três sistemas de condução apresentaram teores foliares de Fe adequados para o bom desenvolvimento da cultura do cafeeiro no estado do Espírito Santo, conforme preconizado por Prezotti e Guarçoni (2013). Os cafeeiros em consórcios apresentaram maiores teores de Fe quando comparados com o cafeeiro em monocultivo.

O ferro é um elemento importante na fotossíntese e na biossíntese de proteínas e clorofila, e Ramalho et al. (2013) relatam que em cafeeiros a pleno sol, espera-se encontrar maior teor de Fe, porque este fica também envolvido na capacidade antioxidativa já que é constituinte de enzimas que participam da remoção de moléculas altamente reativas de O₂.

Para Mn, os teores nas folhas variaram entre 72,13 e 109,00 mg kg⁻¹ com um coeficiente de variação de 17,22%. Os três sistemas de condução caracterizaram-se por apresentar teores abaixo da faixa proposta por Prezotti e Guarçoni (2013) para o bom desenvolvimento da cultura do cafeeiro no estado de Espírito Santo. O maior teor de Mn foi encontrado no cafeeiro consorciado com bananeira quando comparado com os outros sistemas de condução.

Ramalho et al. (2013), relatam que em cafeeiros a pleno sol, espera-se encontrar maior teor de Mn, porque este fica envolvido na capacidade antioxidativa já que é constituinte de enzimas que participam da remoção de moléculas altamente reativas de O₂.

Os teores de Zn variaram entre 14,91 e 37,85 mg kg⁻¹ com um coeficiente de variação de 33,42%. Os três sistemas de condução caracterizaram-se por apresentar elevados teores foliares para o normal desenvolvimento do cafeeiro no estado de Espírito Santo, conforme recomendado por Prezotti e Guarçoni (2013). É possível que a adubação constante com sulfato de zinco seja a causa desse elevado teor.

O maior teor de Zn foi verificado em cafeeiros em monocultivo quando comparados com os sistemas consorciados. As diferenças mostradas entre os sistemas de condução são explicadas pelo número de culturas envolvidas, sendo que um maior número de espécies envolvidas

umentará a competição pelo nutriente. Outra explicação poderia ser que o Zn esteja formando complexos orgânicos estáveis com reduzida solubilidade, conforme relatado por Carmo et al. (2012).

Conteúdo de nutrientes nas folhas, grãos, caules e total

Na Tabela 19 pode-se observar a média dos nutrientes contida nas folhas, grãos e caule por ramo plagiotrópico, em cada sistema de condução.

Tabela 18. Nutrientes contidos nos compartimentos do ramo plagiotrópico de cafeeiro arábica Catuaí Vermelho IAC 44 sob três sistemas de condução: cafeeiro em monocultivo (CM), cafeeiro com bananeira (CB), cafeeiro com bananeira e palmeira juçara (CBP), safra 2016/2017, Alegre – ES.

Nutriente	----- Folhas -----			-----Grãos -----			----- Caules -----			----- Total por ramo -----		
	CM	CB	CBP	CM	CB	CBP	CM	CB	CBP	CM	CB	CBP
	----- mg -----											
N	142,77	206,29	232,60	703,27	562,85	663,63	88,15	104,97	110,13	934,19	874,12	1006,36
P	6,99	7,58	7,83	45,97	36,20	52,04	7,13	6,43	7,75	60,09	50,20	67,62
K	75,03	100,02	115,97	849,75	708,61	824,51	57,14	58,49	70,71	981,92	867,12	1011,20
Ca	93,50	119,94	130,86	299,22	222,21	253,46	41,47	35,37	43,25	434,19	377,52	427,57
Mg	40,49	63,11	66,55	101,03	79,89	100,74	22,06	21,34	26,39	163,58	164,34	193,68
S	98,67	141,84	153,46	436,88	389,52	391,20	51,94	50,83	50,20	587,50	582,19	594,86
	----- mg -----											
Cu	0,013	0,017	0,019	0,222	0,153	0,164	0,084	0,062	0,059	0,319	0,231	0,242
Fe	0,668	1,186	1,404	1,667	1,332	1,629	0,407	0,513	0,712	2,742	3,031	3,745
Mn	0,423	0,737	0,917	0,679	0,686	0,869	0,132	0,191	0,296	1,234	1,614	2,082
Zn	0,068	0,095	0,105	0,575	0,394	0,369	0,106	0,123	0,107	0,749	0,612	0,581
	----- Alocação relativa de nutriente (%) -----											
N	15,28	23,60	23,11	75,28	64,39	65,94	9,44	12,01	10,94	100,00	100,00	100,00
P	11,63	15,09	11,58	76,50	72,11	76,96	11,87	12,80	11,46	100,00	100,00	100,00
K	7,64	11,53	11,47	86,54	81,72	81,54	5,82	6,75	6,99	100,00	100,00	100,00
Ca	21,54	31,77	30,61	68,91	58,86	59,28	9,55	9,37	10,12	100,00	100,00	100,00
Mg	24,75	38,4	34,36	61,76	48,61	52,01	13,48	12,99	13,63	100,00	100,00	100,00
S	16,80	24,36	25,80	74,36	66,91	65,76	8,84	8,73	8,44	100,00	100,00	100,00
Cu	4,07	7,35	7,82	69,46	66,02	67,90	26,46	26,64	24,29	100,00	100,00	100,00
Fe	24,36	39,13	37,50	60,79	43,96	43,50	14,85	16,92	19,01	100,00	100,00	100,00
Mn	34,32	45,65	44,04	55,01	42,53	41,73	10,66	11,81	14,22	100,00	100,00	100,00
Zn	9,04	15,59	18,06	76,76	64,37	63,52	14,20	20,04	18,41	100,00	100,00	100,00

Analisando em termos de quantidade de nutrientes, os sistemas consorciados acumularam nas folhas maiores quantidades de todos os nutrientes quando comparados com o cafeeiro em monocultivo. E, em termos percentuais, a coisa não foi diferente.

No caso dos grãos, o cafeeiro em monocultivo acumulou maiores quantidades de quase todos os nutrientes com exceção de P e Mn. E, em termos percentuais, ocorreu a mesma coisa, com exceção de P.

Em termos totais, o sistema CBP acumulou maiores quantidades de N, P, K, Mg, S, Fe e Mn, enquanto o sistema CM acumulou mais Ca, Cu e Zn. Os maiores conteúdos de nutrientes podem interferir direta ou indiretamente na qualidade final do café, seja pelo seu papel no metabolismo da planta e acúmulo de compostos químicos desejáveis, do ponto de vista do aroma e sabor de café, ou na produção de compostos que desfavorecem o desenvolvimento microbiano nos grãos (MARTINEZ et al., 2014).

CONCLUSÕES

O cafeeiro em monocultivo acumulou maior quantidade de nutrientes nos grãos e apresentou maiores teores foliares de P, K, Ca, S, Cu e Zn.

O cafeeiro em condições de consórcio acumulou maior quantidade dos nutrientes nas folhas e nos caules e exibiu maiores teores foliares de Mg e Fe.

REFERÊNCIAS

- ABREU, C. A. et al. Micronutrientes. In: NOVAIS, R. F. et al. (Ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG: SBCS, 2007. p. 645-736.
- ARAÚJO, A.V.; PARTELLI, F. L.; OLIVEIRA, M. G.; PEZZOPANE, J. R. M.; FALQUETO, A. R.; CAVATTE, P. C. Microclima e crescimento vegetativo do café conilon consorciado com bananeiras. **Coffee Science**, Lavras, v. 10, n. 2, p. 214 - 222, 2015.
- ARAÚJO, A. **Microclima e características fisiológicas do cafeeiro conilon consorciado com seringueira e bananeira**. Dissertação de mestrado. Universidade Federal do

Espírito Santo. 2013. 113p.

ASTEN, P. J. A.; WAIREGI, L. W. I.; MUKASA, D.; URINGI, N. O. Agronomic and economic benefits of coffee-banana intercropping in Uganda's smallholder farming systems. **Agriculture systems**, v. 104, p. 326-334, 2011.

CARMO, D. L.; NANNETTI, D. C.; LACERDA, T. M.; NANNETTI, A. N.; ESPÍRITO SANTO, D. J. Micronutrientes em solo e folha de cafeeiro sob sistema agroflorestal no sul de Minas Gerais. **Coffee Science**, Lavras, v. 7, n. 1, p. 76-83, 2012

FAQUIN, V. **Nutrição mineral das plantas**. Curso de pós-graduação. Universidade Federal de Lavras. 2005. 186p.

FERREIRA, D. F. SISVAR: A Computer statistical Analysis System. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 35, p. 1039-1042, 2011.

GUIMARÃES, P. T. G.; KAIO GONÇALVES DE LIMA DIAS, K. G. L.; FURTINI NETO, A. E.; OLIVEIRA SILVEIRA, H. R. O.; OLIVEIRA, C. H. C.; DIAS, C. M. L. Eficiência nutricional de cafeeiros supridos com Mg sob diferentes níveis de irradiância. **XXXV Congresso Brasileiro de Ciência do Solo**. Del 02 a 07 de agosto de 2015.

LAVIOLA, B. G.; MARTINEZ, H. E. P.; SALOMÃO, L. C. C.; CRUZ, C. D.; MENDONÇA, S. M.; ROSADO, L. Acúmulo em frutos e variação na concentração foliar de NPK em cafeeiro cultivado em quatro altitudes. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 24, n. 1, p. 19-31, 2008.

MANCUSO, M. A. C.; SORATTO, R. P.; PERDONÁ, M. J. Produção de café sombreado. **Colloquium Agrarie**, v. 9, n. 1, p. 31-44, 2013.

MARTINEZ, H. E. P.; CLEMENTE, J. M.; LACERDA, J. S.; NEVES, Y. P.; PEDROSA, A. W. Nutrição mineral do cafeeiro e qualidade da bebida. **Revista Ceres**, v. 61, p. 838-848, 2014.

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

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**, Santa Maria, v. 40, n. 6, p. 1-7, 2010b.

PEZZOPANE, J. R. M.; PEDRO JÚNIOR, M. J.; GALLO, P. B. Radiação solar e saldo de radiação em cultivo de café a pleno sol e consorciado com banana ‘Prata Anã. **Bragantia**, São Paulo, v. 64, n. 3, p. 487-499, 2005.

PREZOTTI, L. C.; GUARÇONI, A. **Guia de interpretação de análise de solo e foliar**. Vitória, ES: INCAPER, 2013. 104p.

RAMALHO, J. C.; FORTUNATO, A. S.; GOULAO, L. F.; LIDON, F. C. Cold-induced changes in mineral content in *Coffea* spp. Leaves: identification of descriptors for tolerance assessment. **Biologia Plantarum**, Copenhagen, v. 57, n. 3, p. 495-506, 2013.

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

SALGADO, B. G.; MACEDO, R. L. G.; VENTURIN, N.; CARVALHO, V. L. Produtividade de cafeeiros arborizados com ingazeiros e com grevílea em Lavras-MG. **Agrossilvicultura**, v. 1, n. 2, p. 155-162, 2004

WINTGENS, J. N. **Coffee: Growing, processing, sustainable production**. 2. ed. Alemanha. 2012. 1000p.

CONCLUSÃO GERAL

A textura de solo foi semelhante nos três sistemas de condução, e a 40 cm de profundidade, a resistência mecânica do solo à penetração foi maior no sistema de cafeeiro em monocultivo. Foi possível verificar que o solo cultivado com cafeeiro em condições de monocultivo apresentou melhores características químicas (pH, P, K, Ca, Mg, Al+H, SB, t, V e m). Neste sistema, a planta de cafeeiro obteve maiores teores foliares de P, K, Ca, S, Cu e Zn, maior acúmulo de massa seca e nutrientes nos grãos, e maior produtividade. Além disso, foi mais eficiente no uso de água.

O cafeeiro em condições de consórcio apresentou maior diâmetro de copa, ramos plagiotrópicos com maior acúmulo de massa seca nas folhas e caules e maior porcentagem de grãos graúdos (P16AC). Assim mesmo, apresentou menores valores para clorofila *b*, clorofila total, eficiência intrínseca de uso de água, eficiência instantânea de uso de água; e maiores valores para condutância estomática, e transpiração. Nestes sistemas, as plantas acumularam mais nutrientes nas folhas e caules, em detrimento dos grãos, e exibiram maiores teores foliares de Mg e Fe. O cafeeiro consorciado com bananeira obteve maior taxa de assimilação líquida de CO₂.