ISSN 1809-6875

COFFEE SCIENCE

Volume 9, Número 3, 2014

FERTILIDADE E COMPARTIMENTOS DA MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO SOB DIFERENTES SISTEMAS DE MANEJO

Luciana Ventura Machado[1], Otacílio José Passos Rangel[2], Eduardo de Sá Mendonça[3], Ramires Ventura Machado[4], Jéferson Luiz Ferrari[5]

(Recebido: 22 de novembro de 2012; aceito: 6 de março de 2014)

RESUMO: A matéria orgânica do solo é influenciada pelo manejo adotado, sendo por essa razão, considerada um indicador da qualidade do solo e sustentabilidade de agroecossistemas. Objetivou-se, neste trabalho, avaliar as alterações na fertilidade e os diferentes compartimentos da matéria orgânica de um Latossolo Vermelho-Amarelo sob diferentes sistemas de manejo da lavoura cafeeira, em área de influência de Floresta Atlântica, no distrito de Boa Esperança, em Marechal Floriano, Espírito Santo. As amostras de solo foram coletadas nas profundidades de 0–0,05 e 0,05–0,10 m. Os sistemas amostrados foram: FN (floresta nativa), CC (café consorciado com frutíferas) e CS (café a pleno sol). Foram realizadas análises físicas e químicas do solo e quantificados os teores de carbono orgânico total (COT), nitrogênio total (NT) e carbono das diferentes frações: humina (C-HUM), ácidos húmicos (C-FAH) e ácidos fúlvicos (C-FAF). Foram calculados os valores das relações C-FAH/C-FAF e C-HUM/(C-FAF+C-FAH), dos estoques de COT e NT e a relação COT/NT do solo. A substituição da floresta nativa por cultivos de café alteraram a densidade e a fertilidade do solo. Os sistemas de café provocaram redução no teor e estoque de carbono e nitrogênio do solo. A floresta apresentou equilíbrio na cinética de decomposição dos resíduos orgânicos e na liberação de N e outros nutrientes (P e K^+) via serrapilheira no solo. A implantação dos agroecossistemas provocou mudanças no comportamento das substâncias húmicas, sendo que o café consorciado apresentou menor ciclagem orgânica.

Termos para indexação: Café arábica, nutrientes, carbono orgânico, substâncias húmicas.

FERTILITY AND ORGANIC MATTER COMPARTMENTS IN SOIL UNDER DIFFERENT MANAGEMENT SYSTEMS

ABSTRACT: *The soil organic matter is influenced by management adopted, and for this reason, considered an indicator of soil quality and sustainability of agroecosystems. The objective of this study was to evaluate the changes in soil fertility and different organic matter compartments of an Oxisol under different management systems of a coffee plantation area under influence of the Atlantic Forest located in the district of Boa Esperança, Marechal Floriano in the state of Espírito Santo. Soil samples were collected at depths from 0-0,05 and 0,05-0,10m. The management systems samples were: NF (native forest), CC (intercropped coffee with fruits) and UC (unshaded coffee). Also, a physical and chemical analysis of the soil was done and quantified the contents of total organic carbon (TOC), total nitrogen (TN); carbon in different fractions also was quantified: humin (C-HUM), humic acids (C-HAF) and fulvic acids (C-FAF). The values of C-HAF/C-FAF and C-HUM/(C-FAF+C-HAF), TOC stocks, TN stocks and the relation of TOC/TN in the soil were calculated. The replacement of native forest for cultivations of coffee changed the density and soil fertility. The coffee systems caused a reduction in content and stock of carbon and nitrogen in the soil. The forest showed equilibrium in the kinetics of decomposition of organic waste and release of N and other nutrients (P and K^+) in the soil through litterfall. The deployment of agroecosystems caused changes in the behavior of humic substances, and intercropped coffee showed lowest organic cycling.*

Index terms: *Arabica coffee, nutrients, organic carbon, humic substances.*

1 INTRODUÇÃO

A cafeicultura constitui-se em um dos principais agroecossistemas do Espírito Santo devido a sua importância social e econômica no Estado. A cadeia produtiva do café, em sua totalidade, gera aproximadamente 400 mil postos de trabalho diretos e indiretos, e responde por 43,26% do Produto Interno Bruto (PIB) capixaba. Mais de 75% da cafeicultura capixaba são de agricultores de base familiar (FERRÃO et al., 2008).

As mudanças no sistema de uso da terra, como a substituição de sistemas naturais em áreas agrícolas com cultivo mais intensivo, o frequente uso de queimadas e o preparo intensivo do solo promove o rápido declínio da matéria orgânica do solo (MOS) (SILVA; MENDONÇA, 2007) e contribui significativamente para o aumento da concentração de gases do efeito estufa (GEE) na atmosfera (SOUZA; PREZOTTI; GUARÇONI, 2012), principalmente o dióxido de carbono (CO_2), o óxido nitroso (N_2O) e o metano (CH_4) (CERRI et al., 2007).

Em solos sob vegetação natural, o carbono

[1,2,5] Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo /Ifes - Campus de Alegre - Cx. P. 47 - 29500-000 Alegre - ES - luvetmac@gmail.com, ojprangel@ifes.edu.br; ferrariluiz@ifes.edu.br
[3,4] Universidade Federal do Espírito Santo/UFES – Departamento de Produção Vegetal/DPV - Alto Universitário - Cx. P. 16 29500-000 - Alegre - ES - eduardo.mendonca@ufes.br, ramiresmachado@hotmail.com

orgânico encontra-se em equilíbrio dinâmico, com teores praticamente constantes ao longo do tempo (D'ANDRÉA et al., 2004). Com a implantação dos agroecossistemas ocorre alteração nas taxas de adição e perdas efetivas de MOS (NUNES et al., 2011) e, um novo equilíbrio é atingido de acordo com as características do sistema de manejo adotado e das condições edafoambientais da área (EBELING et al., 2008; FREITAS et al., 2000; LOSS et al., 2007).

Sendo assim, estudos que visem caracterizar o comportamento e composição da MOS são fundamentais para o entendimento de sua natureza e elucidação dos fatores que governam sua estabilização, a fim de identificar e estabelecer práticas de manejo mais conservacionistas que contribuam com a sua preservação e promovam a sustentabilidade dos agroecossistemas.

Objetivou-se,neste trabalho, avaliar as alterações na fertilidade e na dinâmica dos compartimentos da matéria orgânica de um Latossolo Vermelho-Amarelo, submetido a diferentes sistemas de manejo da lavoura cafeeira, em área de influência de Floresta Atlântica, no distrito de Boa Esperança, em Marechal Floriano, ES.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Localização e caracterização da área de estudo

A área de estudo localiza-se em uma propriedade rural particular situada na comunidade Boa Esperança, no município de Marechal Floriano, região serrana do estado do Espírito Santo. O clima da região, segundo classificação de Köppen é do tipo Cfb (SILVA, 2005), com temperatura média de 18°C (INSTITUTO CAPIXABA DE PESQUISA, ASSISTÊNCIA TÉCNICA E EXTENSÃO RURAL - INCAPER, 2011) e precipitação pluviométrica variando de 1.200 a 1.700 mm (SILVA; SANTOS; SILVA, 2011)**.** O solo estudado é um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico (LVAd), com textura média (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA, 2006).

2.2 Instalação do experimento e amostragem do solo

As áreas de estudo pertencem a uma propriedade agrícola, localizada em Marechal Floriano, Espírito Santo. O experimento foi realizado em setembro de 2011. No ano de 2008, após o corte e queima da vegetação natural foi implantada a lavoura de café arábica (*Coffea arabica* L. cv. Catuaí Amarelo), em espaçamento 2x1 m. O terço médio da lavoura (2.000 m^2 de área cultivada) é separado em, aproximadamente, 3 metros ("ruas" entre os cafeeiros) do terço superior (6.000 m^2 de área cultivada) e do terço inferior (2.000 m^2 de área cultivada). No terço médio dessa lavoura, foram plantadas, em consórcio, espécies frutíferas na entrelinha do cafeeiro. As espécies frutíferas cultivadas com o cafeeiro compõem-se, aproximadamente, de 60 bananeiras (*Musa* sp.), cultivar Terra; 20 tangerineiras (*Citrus* sp.), cultivar Pokan e 20 laranjeiras (*Citrus* sp.), cultivar Bahia. As bananeiras e os citros foram plantados dispersos, sem espaçamento definido, nas entrelinhas do café. A aplicação de calcário foi realizada em fevereiro de 2011, aplicando-se 100 g $planta^{-1}$ sob a saia do café e, anualmente, no mês de outubro, a lavoura recebe adubação com NPK, na dose de 100 g $planta^{-1}$ sob a saia do café. O manejo de espécies espontâneas é realizado por meio de herbicidas de contato, com capina mecânica na linha, mantendo-se a cobertura morta oriunda da capina química na entrelinha da cultura.

Foram amostrados três sistemas de uso e manejo do solo para avaliações físico-químicas e fracionamento químico da matéria orgânica, a saber: 1) FN - uma área sob floresta nativa (20º 23' 16,03" S; 40º 47' 01,57" W e altitude de 759 m) em Bioma Mata Atlântica, numa distância aproximada de 230 m da lavoura cafeeira, com a mesma classe de solo e sem histórico de intervenção humana (área de referência); 2) CC - café consorciado com frutíferas (banana e citros) (20º 23' 16" S; 40º 46' 55,22" W e 754 m de altitude) e; 3) CS - café a pleno sol (sistema convencional em monocultivo) (20º 23' 13,32" S; 40º 46' "53,88" W e 771 m de altitude), ambos os sistemas cafeeiros com 4 anos de cultivo.

Em cada sistema foi instalada uma parcela de 10x8 m, com 2 metros de bordadura externa em cada lado da parcela, correspondendo a uma área útil total de 80 m^2, na qual foram delimitadas quatro subáreas equidistantes, para obtenção das amostras. Em cada ponto de coleta, em todos os sistemas de uso e manejo, foram abertas pequenas trincheiras para coleta das amostras simples do horizonte superficial (A) do solo nas profundidades de 0-0,05 e 0,05-0,10 m. Na área com floresta, as amostras simples foram obtidas por caminhamento em zigue-zague em sentido vertical dentro da área útil da parcela. Nas áreas com cafeeiro, as amostras foram coletadas nas entrelinhas de plantio da lavoura.

Para cada sistema foram coletadas 4 amostras compostas, obtidas a partir de 5 subamostras (com ± 500 g de solo) em cada profundidade, totalizando 24 amostras de solo. Após a coleta, as amostras de solo foram acondicionadas em sacos plásticos e conduzidas para o Laboratório de Física e Química do Solo do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo (CCA-UFES), onde foram secadas ao ar, destorroadas e passadas em peneira com malha de 2 mm, obtendo-se a terra fina seca ao ar - TFSA. Para determinação da densidade do solo foram coletadas amostras indeformadas de solo nas mesmas profundidades, em cada um dos três sistemas, totalizando quatro amostras de cada profundidade, utilizando-se cilindros metálicos de Koppec de 4,98 cm de comprimento e 4,78 cm de diâmetro interno. As coletas de solo para este estudo foram realizadas ao acaso dentro de cada sistema, considerando 2 profundidades e 4 repetições.

2.3 Análises químicas e físicas do solo

A TFSA foi submetida à análise química (SILVA et al., 2009) e granulométrica, pelo método da pipeta (EMBRAPA, 1997). A densidade do solo foi determinada pelo método do anel volumétrico (EMBRAPA, 1997). Os teores de COT e NT do solo foram determinados seguindo marcha analítica descrita em Mendonça e Matos (2005). Com os resultados, calculou-se a relação COT/NT do solo. Os estoques de COT e NT foram calculados nas profundidades de 0–0,05 e 0,05–0,10 m, a partir da expressão:EstCOT ou EstNT = (COT ou NT) × Ds × E/10, em que EstCOT e EstNT é o estoque de carbono orgânico total ou nitrogênio total em determinada profundidade (Mg ha^{-1}); COT é o teor de carbono orgânico total (g kg^{-1}); NT é o teor de nitrogênio total no solo (g kg^{-1}); Ds é a densidade do solo (g cm^{-3}), E é a espessura da camada considerada (cm).

A extração e quantificação dos teores de C orgânico das frações ácidos fúlvicos (C-FAF), ácidos húmicos (C-FAH) e humina (C-HUM) foi realizada conforme metodologia da solubilidade diferencial em meio alcalino e ácido, descrita em IHSS (SWIFT, 1996), adaptada por Benites, Madari e Machado (2003) e Mendonça e Matos (2005). Com os resultados foram calculadas as relações C-FAH/C-FAF e C-HUM/(C-FAF + C-FAH).

2.4 Análise estatística dos dados

Os dados foram submetidos à análise de variância, utilizando o aplicativo computacional SISVAR 5.3 (FERREIRA, 2008), em que os graus de liberdade para tratamento (sistemas) foram decompostos em 2 contrastes ortogonais entre si, estudando cada profundidade isoladamente. Em C1 = (2F-CC-CS) (Quadro 1), o sistema floresta nativa (FN) foi avaliado comparativamente ao sistema café consorciado (CC) e ao sistema café a pleno sol (CS). O contraste C2 = (CC-CS) permitiu avaliar o sistema café consorciado em relação ao sistema café a pleno sol. A significância dos contrastes foi testada pelo teste F ($p<0,05$ e 0,01).

Posteriormente, efetuou-se a análise multivariada, para identificar sistemas com maior ou menor grau de similaridade dentro e entre as profundidades avaliadas, utilizou-se a análise de componente principal e em seguida a análise de agrupamento.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Composição granulométrica do solo

A composição granulométrica e a classe textural das amostras de um Latossolo Vermelho-Amarelo nas profundidades de 0-0,05 e 0,05-0,10 m, sob os sistemas FN (floresta nativa), CC (café consorciado) e CS (café a pleno sol), constam na Tabela 1.

QUADRO 1 - Contrastes ortogonais (C) utilizados na comparação entre os diferentes sistemas de manejo.

Profundidade	Sistema	C1	C2	C3	C4
1	FN	2	0	0	0
	CC	-1	1	0	0
	CS	-1	-1	0	0
2	FN	0	0	2	0
	CC	0	0	-1	1
	CS	0	0	-1	-1

Houve predomínio da fração areia em todos os sistemas avaliados. Os teores de argila variaram de 24,75 a 30,46 dag kg^{-1}, na profundidade de 0-0,05 m, e de 21,84 a 26,79 dag kg^{-1}, na profundidade de 0,05–0,10 m, o que inclui o solo na classe textural média. Os sistemas CS e CC apresentaram os menores teores de argila comparados a FN, sendo que no CC essa redução foi mais acentuada. Isso pode ser explicado pela localização do CC na posição meia encosta, caracterizando intenso processo de perdas de solo e, consequentemente, de nutrientes.

A textura é capaz de influenciar sobremaneira os teores de C orgânico e a dinâmica de nutrientes no complexo de troca catiônica (LOSS et al., 2007), visto que, solos com maiores teores da fração argila favorecem a interação entre a matéria orgânica e os minerais da fração argila, promovendo maior estabilidade do carbono orgânico no solo (FONTANA et al., 2010).

3.2 Caracterização química e densidade do solo

A elevada acidez associada à extrema pobreza em bases na área de referência (FN) evidenciaram tratar-se de um solo bastante intemperizado e com baixa fertilidade natural, ressaltando a importância da matéria orgânica na ciclagem de nutrientes nesta área.

O menor valor de pH (maior acidez) foi obtido no solo sob floresta, nas duas profundidades estudadas (Tabela 2, C1). Isso pode ser explicado pelo maior incremento no aporte de resíduos orgânicos no sistema FN, favorecendo maior adição de C ao solo na forma de raízes, folhas e ácidos orgânicos. Segundo Ebeling et al. (2008), quanto maior o conteúdo de carbono, maior tenderá ser a acidez do solo.

A floresta, na profundidade de 0-0,05 m também apresentou acidez potencial mais elevada, comparada aos sistemas com café, conforme indicado em C1. Os baixos valores de pH também podem ser explicados pelos teores de alumínio trocável (Al^{3+}), uma vez que, o Al^{3+} ao sofrer hidrólise libera H^+ na solução do solo e contribui para o aumento da acidez (SOUSA et al., 2007). Os sistemas CC e CS receberam calagem, tendo esse fator influenciado o pH do solo dos sistemas com café.

O solo sob o sistema CS apresentou saturação de alumínio superior ao sistema CC, em ambas as profundidades (Tabela 2, C2). O teor de Mg^{2+} e a saturação por bases (V) encontrado no sistema CC foram superiores ao encontrado no sistema CS, em ambas as profundidades, como indicado em C2. Marin (2002), ao avaliar o sistema agroecológico com café, verificou saturação por bases superior em 11,03% ao sistema convencional.

Para os teores de P e K^+, o sistema FN foi superior comparado aos sistemas CC e CS, em ambas as profundidades estudadas (Tabela 2, C1). Isso indica que parte do P ciclado na floresta esteja na forma de compostos orgânicos, assim, a planta absorveria diretamente da decomposição do substrato orgânico ou da fase orgânica sem dar chances ao substrato mineral do solo de fixar o P nesse equilíbrio (NOVAIS; SMYTH; NUNES, 2007).

TABELA 1 - Granulometria e classe textural de um Latossolo Vermelho-Amarelo nas profundidades de 0–0,05 e 0,05–0,10 m sob os sistemas FN (floresta nativa), CC (café consorciado) e CS (café a pleno sol).

Sistema	---------- Fração granulométrica ----------			Classe Textural[1]
	Areia	Silte	Argila	
	---------- dag kg^{-1} ----------			
	Profundidade 0-0,05 m			
FN	62,44	7,08	30,46	Média
CC	66,72	8,52	24,75	Média
CS	64,88	9,44	25,66	Média
	Profundidade 0,05-0,10 m			
FN	68,60	5,20	26,18	Média
CC	69,88	8,26	21,84	Média
CS	62,25	10,93	26,79	Média

[1]Triângulo textural (EMBRAPA, 2006).

TABELA 2 - Médias e contrastes médios da caracterização química e da densidade do solo (Ds) nas profundidades de 0–0,05 e 0,05–0,10 m de um Latossolo Vermelho-Amarelo sob os sistemas FN (floresta nativa), CC (café consorciado) e CS (café a pleno sol).

Sistema	Ds	pH	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Al^{3+}	P	K^{+}	H+Al	SB	T	t	m	V
	g cm^{-3}		--------- $cmol_c$ dm^{-3}---------			---- mg dm^{-3} -----		---------- $cmol_c$ dm^{-3} ----------				------- % --------	
	---------- Profundidade 0-0,05 m ----------												
FN	0,94	4,3	0,93	0,97	0,56	14,87	51,50	28,63	2,07	30,66	2,59	22,46	6,60
CC	1,13	5,1	1,03	1,16	0,30	5,92	30,50	17,45	2,29	19,72	2,57	12,17	11,49
CS	1,15	5,0	0,97	0,87	0,48	9,01	26,25	21,10	1,92	23,00	2,38	19,94	8,30
	---------- Profundidade 0,05-0,10 m ----------												
FN	1,01	4,3	0,45	0,61	0,54	12,48	38,25	22,71	1,19	23,87	1,69	31,93	4,83
CC	1,17	4,9	0,52	0,75	0,39	5,41	26,00	18,50	1,36	19,83	1,72	24,18	6,78
CS	1,16	4,7	0,38	0,51	0,71	8,60	25,75	22,25	0,98	23,21	1,67	43,19	4,23
Contrastes	---------- Profundidade 0-0,05 m ----------												
C_1	-0,198**	-0,731**	-0,074	-0,043	0,175**	7,410**	23,125**	9,353**	-0,042	9,296**	0,118	6,405*	-3,297**
C_2	-0,019	0,132	0,061	0,294*	-0,175**	-3,087*	4,250	-3,651	0,368	-3,285	0,191	-7,766*	3,192*
	---------- Profundidade 0,05-0,10 m ----------												
C_1	-0,157**	-0,529**	0,001	-0,023	-0,012	5,479**	12,375**	2,331	0,018	2,340	-0,003	-1,751	-0,673
C_2	0,008	0,133	0,132	0,241*	-0,325**	-3,189*	0,250	-3,754	0,375	-3,380	0,049	-19,013**	2,549*

C_1 = (2FN-CC-CS); C_2 = (CC-CS); *; ** = significativo a 5% e 1%, respectivamente.

O teor de P, no sistema CS, foi superior ao teor encontrado no CC, em ambas as profundidades, conforme indica C2. Esse comportamento, possivelmente, está associado a maior concorrência e exportação de P, pelas culturas em consórcio (café, citros, banana), comparadas ao café em monocultivo.

Os teores de P e K^+ decresceram em profundidade em todos os sistemas avaliados. Isso pode ser devido ao maior aporte de matéria orgânica ocorrer em superfície, à ausência de revolvimento do solo e à baixa mobilidade do fósforo, promovendo maior disponibilidade desses nutrientes em superfície (FALLEIRO et al., 2003).

Na profundidade 0-0,05 m, o valor de T obtido no sistema FN (30,66 $cmol_c$ dm^{-3}) foi superior aos valores encontrados nas áreas cultivadas com café consorciado e a pleno sol (19,72 e 23,00 $cmol_c$ dm^{-3}, respectivamente) (Tabela 2, C1). Esse comportamento destaca a importância da matéria orgânica como fração de maior contribuição na capacidade de troca de cátions dos Latossolos. A saturação por bases nos cultivos de café foi superior à encontrada no solo sob floresta, na profundidade de 0-0,05 m, indicado em C1. Isso pode ser explicado pelo efeito da calagem e adubação no solo, sob os cultivos de café.

O sistema FN apresentou menor densidade, em ambas as profundidades (Tabela 2, C1). Isso ocorreu em razão da adição de carbono por maior diversidade de material vegetal. Os sistemas CC e CS conferiram aumento na densidade do solo, possivelmente em função do manejo adotado tendo como referencial a floresta natural. Esses resultados corroboram com os resultados obtidos por demais autores (ROSA et al., 2003; SILVA et al., 2011).

3.3 Carbono orgânico total, nitrogênio total e relação COT/NT do solo

Os teores de COT e NT e o estoque de COT encontrados na floresta, na profundidade de 0-0,05 m, foram superiores aos sistemas cafeeiros (Tabela 3, C1).

Segundo Mafra et al. (2008), a deposição de material orgânico proveniente, principalmente, da serrapilheira é responsável pelo acúmulo de carbono na superfície do solo à medida que vai sendo humificada. Igualmente, nota-se que a exposição do solo à ação do clima aumentou a susceptibilidade da oxidação do carbono do solo submetido aos cultivos de café. Em razão disso, após a derrubada da floresta, os sistemas CC e CS apresentaram redução dos teores e estoques de COT devido à redução da quantidade de resíduos orgânicos aportados sobre o solo e pelo aumento da atividade da microbiota do solo, promovido por melhores condições do meio (FONTANA et al., 2011).

O resultado de teor de COT encontrado no sistema FN (61,09 g kg^{-1}) foi superior ao obtido por Mafra et al. (2008), que avaliaram o COT e atributos químicos do solo em áreas florestais e verificaram teor de carbono igual a 56 g kg^{-1}, na profundidade de 0-0,05 m, no sistema mata nativa, em relação aos sistemas : campo nativo, floresta de pinus com 12 anos de idade, floresta de pinus com 20 anos de idade e reflorestamento de araucária com 18 anos de idade.

É importante ressaltar que, apesar da grande quantidade de material orgânico aportado no solo sob o café consorciado (em quatro anos de cultivo se pode colher três ou mais cachos e retornar três pseudocaules. Se: 60 plantas x 3 pseudocaules x (±) 80 kg por pseudocaule = 14,4 toneladas em 2000 m^2 ou 72 t/ha de massa verde e mais ou menos 7,2 t/ha de matéria seca), o teor de COT não atingiu o nível encontrado no sistema FN na profundidade 0-0,05 m (Tabela 3, C1), e também, não apresentou diferença significativa comparado ao sistema CS, em ambas as profundidades avaliadas (Tabela 3, C2). Isso indica que os restos culturais do café consorciado não estão retornando ao sistema, em razão da retirada dos pseudocaules, por ocasião da colheita dos cachos.

A floresta nativa apresentou teor e estoque de NT superior aos sistemas de café na profundidade de 0,05-0,10 m (Tabela 3, C1). Segundo Braghirolli et al. (2012), a maior quantidade de espécies vegetais fixadoras de N atmosférico e a maior simbiose entre plantas, bactérias diazotróficas e fungos micorrízicos presentes na floresta, permitem maior incorporação de C e N no solo e, consequentemente, maior eficiência na absorção de nutrientes pelas plantas. Em contrapartida, o revolvimento do solo e as extrações e perdas de nutrientes inerentes dos agroecossistemas conduzem ao declínio do estoque de N orgânico ao longo do tempo, que por sua vez conduzem ao declínio de carbono orgânico até que novo equilíbrio seja atingido (NUNES et al., 2011; WEBER; MIELNICZUK, 2009).

Os sistemas cultivados com café apresentaram relação COT/NT superior à floresta nativa na profundidade de 0,05-0,10 m (Tabela 3, C1).

TABELA 3 - Médias e contrastes médios dos teores e estoques de carbono orgânico total (COT), nitrogênio total (NT) e relação carbono orgânico total e nitrogênio total (COT/NT) nas profundidades de 0–0,05 e 0,05–0,10 m de um Latossolo Vermelho-Amarelo sob os sistemas FN (floresta nativa), CC (café consorciado) e CS (café a pleno sol).

Sistemas	COT	NT	COT	NT	Relação COT/NT
	--------- g kg^{-1} --------		-------- Mg ha^{-1} --------		
	---------- Profundidade 0-0,05 m ----------				
FN	61,09	2,84	28,46	1,33	21
CC	32,87	1,64	18,56	0,93	21
CS	37,01	2,24	21,38	1,27	19
	---------- Profundidade 0,05-0,10 m ----------				
FN	38,36	3,82	19,23	1,78	11
CC	32,22	2,03	18,88	1,19	16
CS	34,86	2,25	20,42	1,27	17
Contrastes	---------- Profundidade 0-0,05 m ----------				
C_1	26,152**	0,901*	8,491**	0,233	1,598
C_2	-4,140	-0,598	-2,816	-0,337	1,764
	---------- Profundidade 0,05-0,10 m ----------				
C_1	4,820	1,682**	-0,417	0,542**	-5,224*
C_2	-2,644	-0,222	-1,540	-0,081	-0,528

C_1 = (2FN-CC-CS); C_2 = (CC-CS); *; ** = significativo a 5% e 1%, respectivamente.

Isso indica que na floresta ocorre ciclagem mais intensa da MOS, com predomínio do processo de mineralização e aumento na liberação de N no solo, ou seja, verifica-se equilíbrio na cinética de decomposição dos resíduos orgânicos e na liberação de N e outros nutrientes, via serapilheira, no solo. Para Freitas et al. (2000), valores elevados da relação COT/NT é característica de solos tropicais, podendo esses valores ser atribuídos à alta acidez do solo, que limita a decomposição da matéria orgânica com elevada relação COT/NT.

3.4 Fracionamento químico da matéria orgânica do solo

Os teores de C-FAF, C-FAH e C-HUM foram significativamente superiores no sistema FN comparado aos sistemas cafeeiros na profundidade de 0-0,05 m (Tabela 4, C1). Ademais, o sistema FN apresentou teores de C-FAH e C-HUM superiores aos sistemas com café, na profundidade de 0,05-0,10 m (C1). Esse fato, possivelmente, está relacionado com a maior deposição de material vegetal (folhas frutos, raízes e exsudados de raízes) encontrada no solo sob floresta.

A maior proporção de carbono, nas diferentes substâncias húmicas em todos os sistemas avaliados, esteve associada à fração humina. A fração humina é considerada a fração com maior reserva de C nos solos (EBELING et al., 2011). Ainda, de acordo com Fontana et al. (2010), a humina indica presença de matéria orgânica recalcitrante e fortemente estabilizada com a parte mineral do solo, enquanto os ácidos fúlvicos correspondem à matéria orgânica proveniente de formas lábeis, como exsudados, que são mais facilmente humificadas.

O café a pleno sol apresentou teores de C-FAF e C-FAH superiores ao sistema consorciado, em ambas as profundidades avaliadas (Tabela 4, C2). Esse comportamento, possivelmente, está associado à posição íngreme do sistema CC, que sugere maior exposição à ação da água da chuva, intensificando a perda de nutrientes por transporte superficial, bem como a redução da matéria orgânica depositada sobre o solo.

A relação C-FAH/C-FAF indica a mobilidade do carbono no solo (LOSS et al., 2004). Não houve diferença entre os sistemas para essa variável nas profundidades estudadas.

TABELA 4 - Médias e contrastes médios dos teores de carbono nas frações húmicas e relações C-FAH/C-FAF e C-HUM/(C-FAF+C-FAH) nas profundidades de 0–0,05 e 0,05–0,10 m de um Latossolo Vermelho-Amarelo sob os sistemas FN (floresta nativa), CC (café consorciado) e CS (café a pleno sol).

Sistema	C-FAF	C-FAH	C-HUM	C-FAH/C-FAF	C-HUM/ (C-FAF+C-FAH)
	---------- g Kg^{-1} ----------				
	---------- Profundidade 0-0,05 m ----------				
FN	6,84	8,99	36,62	1,35	2,32
CC	3,76	4,52	21,06	1,21	2,59
CS	6,30	6,83	18,88	1,08	1,44
	---------- Profundidade 0,05-0,10 m ----------				
FN	5,51	7,42	22,71	1,42	1,75
CC	4,37	4,80	19,18	1,14	2,16
CS	6,13	7,03	17,04	1,14	1,31
Contrastes	---------- Profundidade 0-0,05 m ----------				
C1	1,803**	3,320**	16,650**	0,201	0,304
C2	-2,538**	-2,311**	2,186	0,132	1,150**
	---------- Profundidade 0,05-0,10 m ----------				
C1	0,262	1,507**	4,605*	0,280	0,011
C2	-1,760**	-2,231**	2,140	-0,003	0,853**

C-FAF: carbono da fração ácidos fúlvicos, C-FAH: carbono da fração ácidos húmicos, C-HUM: carbono da fração humina. C1 = (2FN-CC-CS); C2 = (CC-CS); *; ** = significativo a 5% e 1%, respectivamente.

Todos os sistemas, nas duas profundidades, apresentaram uma relação C-FAH/C-FAF superior a 1, revelando maior teor de C-FAH. Relações maiores que 1,0 podem ser explicadas por condições de solo e clima, em que os processos de polimerização e condensação são favoráveis ao aumento da relação (EBELING et al., 2011).

A relação C-HUM/(C-FAF+C-FAH) indica a estabilidade estrutural da MOS (ARAUJO et al., 2011). A floresta nativa não apresentou diferença significativa em relação aos cultivos de café nas profundidades estudadas (Tabela 4, C1). Isso indica que as baixas temperaturas da região e acidez do solo, possivelmente, estariam inibindo a atividade dos microrganismos e favorecendo menor taxa de decomposição do material vegetal aportado sobre o solo.

As fortes restrições de fertilidade nos solos também explicam o acúmulo de matéria orgânica pouco transformada (MIRANDA; CANELLAS; NASCIMENTO, 2007).

O CC apresentou relação C-HUM/(C-FAF+C-FAH) superior ao CS, em ambas as profundidades.

Isso pode ser atribuído ao menor aporte orgânico em razão da remoção, por lavagem da chuva, de matéria orgânica mais lábil e redução intensa da MOS no sistema CC, onde os compostos lábeis são removidos. Isso indica que, no solo sob o cultivo de café consorciado há menor ciclagem orgânica, e consequentemente de nutrientes.

4. Análise multivariada de agrupamento

Em relação aos sistemas nas profundidades estudadas (0-0,05 e 0,05-0,10 m) observa-se que o grupo formado por CC (0-0,05 e 0,05-0,10 m) e CS em 0-0,05 m apresenta semelhança entre os sistemas igual e superior a 23% (Figura 1). Enquanto que o sistema FN na profundidade de 0-0,05 m apresentou diferença de 36% em relação aos demais.

A dissimilaridade do sistema CC na profundidade de 0-0,05 m com a FN nessa mesma profundidade e a similaridade do CC com o CS na profundidade de 0-0,05 m permite inferir que o consórcio de café com citros e banana não proporcionou melhoria na fertilidade do solo, tampouco promoveu adição de carbono no solo frente às variações edafoclimáticas na área de estudo.

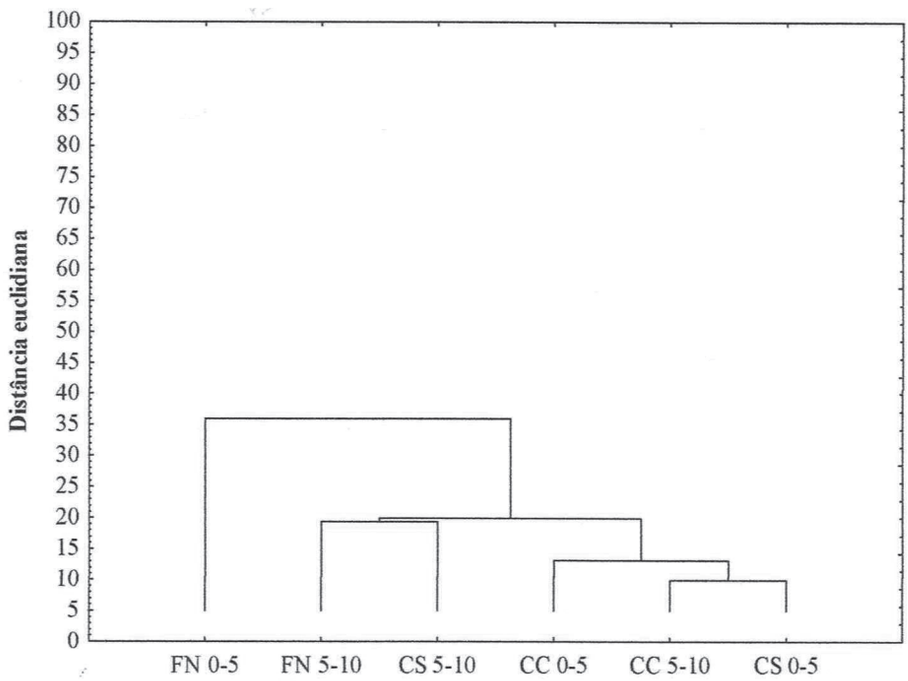

FIGURA 1 - Dendrograma apresentando as distâncias de ligação entre os sistemas nas profundidades de 0-0,05 m e 0,05-0,10 m. FN = floresta nativa; CC = café consorciado; CS = café a pleno sol.

Suporta essa hipótese o fato das características químicas do solo (pH, Ca^{2+}, K^{+}, SB, T) sob o CC ser semelhante ao CS na profundidade de 0-0,05 m (Tabela 2, C2), assim como o teor e estoque de COT e o teor de C nas frações húmicas do solo sob o CC não ter atingido os teores encontrados no FN na profundidade 0-0,05 m (Tabela 3 e 4, C1, respectivamente). A manutenção do solo totalmente coberto por serapilheira na floresta nativa e a maior biomassa acumulada proveniente dessa camada promoveu acúmulo de carbono e maior disponibilidade de nutrientes (P e K^{+}), em relação aos sistemas cafeeiros. Desta forma, observa-se que sistemas de manejo capazes de manter e, ou até mesmo incrementar o carbono orgânico no solo podem contribuir para a manutenção da capacidade produtiva dos solos e redução das perdas de gás carbônico para a atmosfera (LOSS et al., 2009).

4 CONCLUSÕES

A substituição da floresta por cultivos de café alteraram a densidade e a fertilidade do solo.

Os sistemas de café provocaram redução no teor e estoque de carbono e nitrogênio do solo.

A floresta apresentou equilíbrio na cinética de decomposição dos resíduos orgânicos e na liberação de N e outros nutrientes (P e K^{+}), via serapilheira no solo.

A implantação dos agroecossistemas provocou mudanças no comportamento das substâncias húmicas, sendo que o café consorciado apresentou menor ciclagem orgânica.

5 REFERÊNCIAS

ARAÚJO, E. A. et al. Impacto da conversão floresta - pastagem nos estoques e na dinâmica do carbono e substâncias húmicas do solo no bioma Amazônico. Acta Amazônica, Manaus, v. 41, n. 1, p. 103-114, mar. 2011.

BENITES, V. M.; MADARI, B.; MACHADO, P. L. O. A. Extração e fracionamento quantitativo de substâncias húmicas do solo: um procedimento simplificado de baixo custo. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2003. 7 p. (Comunicado Técnico, 16).

BRAGHIROLLI, F. L. et al. Fungos micorrízicos arbusculares na recuperação de florestas ciliares e fixação de carbono no solo. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v. 36, n. 3, p. 733-744, maio/jun. 2012.

CERRI, C. E. P. et al. Tropical agriculture and global warming: impacts and mitigation options. Scientia **Agricola**, Piracicaba, v. 64, n. 1, p. 83-99, jan./fev. 2007.

D'ANDRÉA, A. F. et al. Estoque de carbono e nitrogênio e formas de nitrogênio mineral em um solo submetido a diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 2, p. 179-186, fev. 2004.

EBELING, A. G. et al. Relação entre acidez e outros atributos químicos em solos com teores elevados de matéria orgânica. **Bragantia**, Campinas, v. 67, n. 2, p. 429-439, 2008.

_____. Substâncias húmicas e relação com atributos edáficos. **Bragantia**, Campinas, v. 70, n. 1, p. 157-165, 2011.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Levantamento e Conservação do Solo. **Manual de métodos de análises de solo**. Rio de Janeiro, 1997. 212 p.

_____. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro, 2006. 306 p.

FALLEIRO, R. M. et al. Influência dos sistemas de preparo nas propriedades químicas e físicas do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 6, p. 1097-1104, dez. 2003.

FERRÃO, R. G. et al. Estado da arte da cafeicultura no Espírito Santo. In: TOMAZ, M. A. et al. (Ed.). **Seminário para a sustentabilidade da cafeicultura**. Alegre: CCAUFES, 2008. p. 27-48.

FERREIRA, D. F. SISVAR: um programa para análises estatísticas e ensino de estatística. **Revista Symposium**, Lavras, v. 6, n. 2, p. 36-41, 2008.

FONTANA, A. et al. Avaliação dos compartimentos da matéria orgânica em área de Mata Atlântica. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 33, n. 3, p. 545-550, jul./set. 2011.

_____. Caracterização de substâncias húmicas da camada superficial do solo sob diferentes coberturas vegetais. **Magistra**, Cruz das Almas, v. 22, n. 1, p. 49-56, jan./mar. 2010.

FREITAS, P. L. et al. Nível e natureza do estoque orgânico de latossolos sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 1, p. 157-170, jan. 2000.

INSTITUTO CAPIXABA DE PESQUISA, ASSISTÊNCIA TÉCNICA E EXTENSÃO RURAL. **Marechal Floriano:** planejamento e programação de ações 2011. Vitória: SEAG/PROATER, 2011. 23 p. Disponível em: <http://www.incaper.es.gov.br/proater/municipios/Centro_cerrano/Marechal_Floriano.pdf>. Acesso em: 8 maio 2012.

LOSS, A. et al. Atributos químicos e físicos de solos de tabuleiros sob diferentes coberturas vegetais na região norte fluminense. **Magistra**, Cruz das Almas, v. 19, n. 2, p. 150-162, abr./jun. 2007.

_____. Caracterização da matéria orgânica sob diferentes sistemas de manejo agrícola e cobertura vegetal em solos de tabuleiro, no estado do Rio de Janeiro. **Agronomia**, Seropédica, v. 38, n. 2, p. 47-50, 2004.

_____. Frações orgânicas do solo em áreas sob manejo agroecológico em Capivari, Duque de Caxias, RJ. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 4, n. 3, p. 245- 251, jul./set. 2009.

MAFRA, A. L. et al. Carbono orgânico e atributos químicos do solo em áreas florestais. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 32, n. 2, p. 217-224, mar./abr. 2008.

MARIN, A. M. P. **Impactos de um sistema agroflorestal com café na qualidade do solo**. 2002. 83 f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2002.

MENDONÇA, E. S.; MATOS, E. S. **Matéria orgânica do solo:** métodos de análises. Viçosa, MG: UFV, 2005. 107 p.

MIRANDA, C. C.; CANELLAS, L. P.; NASCIMENTO, M. T. Caracterização da matéria orgânica do solo em fragmentos de mata atlântica e em plantios abandonados de eucalipto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 5, p. 905-916, set./out. 2007.

NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J.; NUNES, F. N. Fósforo. In: NOVAIS, R. F. et al. (Ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 471-550.

NUNES, R. S. et al. Sistemas de manejo e os estoques de carbono e nitrogênio em Latossolo de cerrado com a sucessão soja-milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, n. 4, p. 1407-1419, jul./ago. 2011.

ROSA, M. E. C. et al. Formas de carbono em latossolo vermelho eutroférrico sob plantio direto no sistema biogeográfico do cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 5, p. 911-923, 2003.

SILVA, D. C. et al. Atributos do solo em sistemas agroflorestais, cultivo convencional e floresta nativa. **Revista de Estudos Ambientais**, Blumenau, v. 13, n. 1, p. 77-86 jan./jun. 2011.

SILVA, E. D. **Estudo climático e morfológico dos municípios da região serrana do estado do Espírito Santo**. 2005. 87 f. Monografia (Graduação em Geografia) - Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2005.

SILVA, E. D.; SANTOS, A. R. S.; SILVA, K. G. Estudo morfológico e climático dos municípios da região serrana do estado do Espírito Santo. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v. 12, n. 39, p. 94-103, set. 2011.

SILVA, F. C. et al. Métodos de análises químicas para avaliação da fertilidade do solo. In: SILVA, F. C. (Ed.). **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2. ed. Brasília: EMBRAPA Informação Tecnológica, 2009. p. 105-190.

SILVA, I. R.; MENDONÇA, E. S. Matéria orgânica do solo. In: NOVAIS, R. F. et al. (Ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 275-374.

SOUSA, D. M. G. et al. 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.

SOUZA, J. L. de; PREZOTTI, L. C.; GUARÇONI, M. A. Potencial de sequestro de carbono em solos agrícolas sob manejo orgânico para redução da emissão de gases de efeito estufa. **Idesia**, Arica, v. 30, n. 1, p. 7-15, jan./abr. 2012.

SWIFT, R. S. Organic matter characterization. In: SPARKS, D. L. et al. (Ed.). **Methods of soil analysis**. Madison: Soil Science Society American, 1996. p. 1018-1020. (Soil Science Society American Book Series, 5).

WEBER, M. A.; MIELNICZUK, J. Estoque e disponibilidade de nitrogênio no solo em experimento de longa duração. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, n. 2, p. 429-437, mar./abr. 2009.

INFESTAÇÃO POR BICHO-MINEIRO E TEORES FOLIARES DE AÇÚCARES SOLÚVEIS TOTAIS E PROTEÍNA EM CAFEEIROS ORGÂNICOS

Vanessa Cristina de Almeida Theodoro[1], Rubens José Guimarães[2], Antônio Nazareno Guimarães Mendes[3]

(Recebido: 28 de junho de 2013; aceito: 10 de novembro de 2013)

RESUMO: O experimento foi instalado em agosto de 2004 em uma lavoura cafeeira, cultivar 'Catuaí amarelo', espaçamento 4,0 x 0,7 m e idade de 6 anos), no primeiro ano de transição agroecológica. Empregou-se o delineamento látice balanceado 4x4, com cinco repetições em fatorial 3x2x2, mais quatro tratamentos adicionais. Foram testados dezesseis tratamentos de acordo com as normas de agricultura orgânica: três adubos orgânicos (farelo de mamona, o esterco bovino, a cama de aviário), com ou sem palha de café em cobertura aplicada sobre os adubos; com ou sem adubação verde com feijão-guandu nas entrelinhas dos cafeeiros, e adubação foliar com biofertilizante para todos os tratamentos orgânicos. Os tratamentos adicionais testaram o efeito do uso de carvão e farinha de rocha em conjunto com adubos orgânicos e somente a utilização de palha de café e adubação verde como fertilizantes. O manejo convencional (testemunha) utilizou sulfato de amônio, cloreto de potássio e adubação foliar convencional. Foi avaliada a interação entre o comportamento do bicho mineiro (*Leucoptera coffeella*) sobre o teor de açúcares solúveis totais e proteína na folha do cafeeiro. Constatou-se que a adubação orgânica afeta a produção de açúcares solúveis totais na folha do cafeeiro, já a adubação convencional necessita de mais estudos em solos tropicais. O farelo de mamona promove um menor acúmulo de açúcares solúveis totais na folha, o que possivelmente concorre para um aumento da resistência da planta ao bicho-mineiro.

Termos para indexação: Agroecologia, *Coffea arabica*, *Leucoptera coffeella*, trofobiose, café orgânico.

INFESTATION BY *Leucoptera coffeella* AND LEAF LEVELS OF TOTAL SOLUBLE SUGAR AND PROTEIN IN ORGANIC COFFEES

ABSTRACT: *The experiment was conducted in August 2004 in a coffee plantation, cultivar Catuaí Amarelo, area of 4.0 x 0.7 m and age of 6) in the first year of agroecological transition. Experimental design used was the lattice balanced 4x4 with five replications in factorial scheme 3x2x2 and four more additional treatments. Sixteen treatments were tested according to the standards of organic agriculture: three organic fertilizers (castor bean bran, bovine manure, boiler litter), with or without straw of fermented coffee applied on fertilizers, with or without green manure Cajanus cajan L. between the coffee's line, and foliar fertilization with biofertilizer for all organic treatments. Additional treatments tested the effect of the use of coal and rock flour together with organic fertilizers and only use straw of fermented coffee and green manure as fertilizer. The conventional management (control) used ammonium sulfate, potassium chloride and conventional foliar fertilization. We evaluated the interaction between the behavior of the coffee leaf miner (Leucoptera coffeella) on the content of total soluble sugars and protein in leaf coffee. It was found that the organic fertilization affects the production of soluble sugars in the leaf of coffee, since conventional fertilization needs further studies in tropical soils. The castor bean bran promotes a lower accumulation of soluble sugars in the leaf, which possibly contributes to an increase in plant resistance to coffee leaf miner.*

***Index terms**: Agroecology, Coffea arabica, Leucoptera coffeella, trofobiose, organic coffee.*

1 INTRODUÇÃO

O estado de Minas Gerais, desde 1980, assumiu a liderança nacional da cafeicultura brasileira, no ano de 2012, a produção de café mundial foi de, aproximadamente, 144,5 milhões de sacas de 60 kg, somente o Brasil produziu 50,8 milhões (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB, 2013) e, em especial a região Sul de Minas Gerais se responsabiliza anualmente por volta de 50% da safra do *C. arabica*. O Brasil tem ganhado destaque também como um dos grandes fornecedores mundiais de cafés especiais diferenciados pela sua qualidade, sabor e agregação de valores socioambientais. A cafeicultura orgânica figura dentro desse mercado significativo e em crescimento mundial.

Resultados recentes apontam que o sistema de produção de café orgânico é uma alternativa que busca a competitividade, pois minimiza gastos com insumos e proporciona maiores rendas ao atender a um mercado específico (TURCO et al., 2012). Nesse sentido, aplica-se a teoria da trofobiose (CHABOUSSOU, 1987), que preconiza o equilíbrio nutricional do agroecossistema difundido pelas normas mundiais de agricultura

[1] Universidade do Estado do Mato Grosso (UNEMAT/Nova Xavantina) - Departamento de Agronomia - KM 655 - Antiga FAB BR-158 - Nova Xavantina -MT - 78690-000 MT- unematvanessa@gmail.com
[2,3]Universidade Federal de Lavras/UFLA - Departamento de Agricultura/DAG - Cx. P. 3037 -3 7.200-000 - Lavras - MG rubensjg@dag.ufla.br, nazareno.ufla@hotmail.com

orgânica, mediante a nutrição vegetal promotora de equilíbrio fisiológico dos cafeeiros com a utilização de matéria orgânica e variedades adaptadas, ferti e fitoprotetores, arborização, consorciação, adubação verde, manejo da vegetação espontânea e preservação de cordões vegetais próximos aos cafezais (AMARAL et al., 2010; COELHO et al., 2006; ECOLE, 2003; FERNANDES, 2013; FERREIRA; SILVEIRA; HARO, 2013; KLEIN; STEFFAN-DEWENTER; TSCHARNTKE, 2003; LOPES et al., 2012; MIRANDA, 2007; RICCI et al., 2010; SANTOS et al., 2008; THEODORO, 2006; THEODORO; GUIMARÃES; MENDES, 2009; THEODORO; MENDES; GUIMARÃES, 2009).

A presença de remanescentes de vegetação nativa incrementa não só a produção em 20%, mas também a qualidade dos grãos de café, traduzindo-se em US$ 60 mil por ano em uma propriedade de 1.100ha, na Costa Rica (RICKETTS et al., 2004). Em Minas Gerais, o café plantado perto da mata rendeu 14,6% a mais de frutos, o que equivale ao valor agregado anual de US$ 1.860,00, por hectare (CONSERVATION INTERNATIONAL DO BRASIL, 2012).

A alta incidência de uma praga em determinada cultura é um indicador biológico de erros de manejo e/ou de intervenções não evolutivas no organismo agrícola. A resistência fisiológica vegetal preconizada pela "Trofobiose" exige uma visão sistêmica (PINHEIRO; BARRETO, 1996; POLITO, 2006; THEODORO, 2006), cujo postulado baseia-se na evidência de que todo organismo vegetal fica vulnerável à infestação de pragas e doenças, quando há excessos de aminoácidos livres e açúcares redutores no sistema metabólico, especialmente quando os cafeeiros são intoxicados com agrotóxicos, gerando doenças iatrogênicas (Cercosporiose, *Cercospora coffeicola*; Ferrugem, Hemileia *vastatrix*) e o ressurgimento e surto do bicho-mineiro (*Leucoptera coffeella*) e broca (*Hypothenemus hampei*), apesar de repetidas aplicações baseadas em calendários agrícolas.

O Brasil consome 84% dos agrotóxicos vendidos à América Latina (PELAEZ, 2012), e, de acordo com a Agência Nacional de Vigilância Sanitária, o comércio de agrotóxicos no Brasil cresceu 190% entre 2000 e 2010, mais que o dobro da média mundial.Esse mercado é liderado por dez empresas de capital estrangeiro que são responsáveis por 65% da produção nacional e por 75% das vendas (CARNEIRO et al., 2012), fato esse que Bombardi (2001) denomina como "a nova versão do capitalismo oligopolizado". Um exemplo do uso irracional de agrotóxicos foi relatado por Palma (2011), que evidenciou o efeito cumulativo dos agrotóxicos no organismo humano (Endosulfam, Deltametrina e DDE/DDT), em 100% das amostras de leite materno de 62 mães que amamentavam em 2010, em Lucas do Rio Verde/MT. No estado de Minas Gerais, alguns trabalhos desenvolvidos evidenciam os fatores de risco associados ao uso de agrotóxicos na saúde de trabalhadores rurais (GERMANO et al., 2007; SOARES, 2003).

Em resposta a estes questionamentos éticos, a Agroecologia surgiu na década de 90 (ALTIERI, 2002; GLIESSMAN, 2005; PRIMAVESI, 1986) como um contraponto entre o consenso mundial da importância da consagrada produção agropecuária voltada para o monocultivo e exportações e, a urgente necessidade do estudo de manejos técnicos agronômicos que consigam otimizar a produtividade das culturas, garantindo segurança alimentar e respeitando a homeostase dos agroecossistemas e os direitos das gerações futuras.

Um dos desafios da cafeicultura orgânica é o de manejar adequadamente o surto populacional das pragas que atacam a cultura, principalmente durante a transição agroecológica, período no qual a lavoura pode apresentar desequilíbrios nutricionais. Diante de todo esse contexto, o presente trabalho, com base na teoria da trofobiose, foi instalado em uma lavoura cafeeira localizada em Lavras, MG, a qual foi submetida ao primeiro ano de transição para o sistema orgânico. Foi avaliada a interação entre o comportamento do bicho-mineiro e o teor de açúcares solúveis totais e proteína na folha do cafeeiro, adubado com diferentes fontes de matéria orgânica e adubos minerais.

2 MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo localizada na Fazenda Baunilha em Lavras/MG, constituiu-se de um talhão de café implantado num Latossolo Vermelho, ocupado com cafeeiros *Coffea arabica* L. cv. Catuai Amarelo com idade de 6 anos, espaçamento 4,0 x 0,7 m (4.167 plantas ha^{-1}), em uma área de 2,02 ha. A área das parcelas orgânicas foi de 1,61 ha (80 parcelas) e a testemunha (20 parcelas convencionais em uma área de 0,41 ha) estava localizada dentro do mesmo talhão, isolada por uma barreira vegetal de 20,0 m (constituída por 5 linhas de cafeeiros). Cada parcela continha 84 plantas, sendo 16 plantas úteis e 68 plantas de bordadura.

O experimento foi instalado em agosto de 2004 e neste trabalho foram utilizados os dados do primeiro ano de conversão (de agosto de 2004 a dezembro de 2005). O delineamento usado foi o látice balanceado 4x4, com cinco repetições. Dos dezesseis tratamentos, doze caracterizam um fatorial 3x2x2, que corresponde a três fontes de matéria orgânica (esterco bovino, cama de aviário e farelo de mamona) aplicadas superficialmente na projeção da copa do cafeeiro, com ou sem compostagem laminar feita com a aplicação de palha de café (2,0 L planta^{-1}) sobre as fontes de matéria orgânica e com ou sem adubo verde (*Cajanus cajan* L.) nas entrelinhas (Tabela 1). Os quatro tratamentos adicionais avaliaram o uso do esterco bovino + moinha de carvão + sulfato duplo de potássio e magnésio; a rochagem utilizando a farinha de rocha Itafértil na dose de 2,08 t ha^{-1} (500 g planta^{-1}) + farelo de mamona + palha de café; o uso da palha de café fermentada (20,0 L planta^{-1}) e do adubo verde feijão-guandu (*C. cajan* L.), plantado nas entrelinhas do cafeeiro como únicas fontes de adubação. Todos os tratamentos de manejo orgânico receberam como fonte de adubação foliar, o biofertilizante supermagro e, nas parcelas convencionais, foi aplicada adubação foliar convencional com Niphokam (10% N; 8,0% P_2O_5 solúvel em CNA + água; 8,0% K_2O; 0,5% Mg, 1,0% Ca; 2,0% S, 1,0% Zn; 0,5% B; 0,1% Fe; 0,1% Mo; 0,2% Cu e 0,5% Mn) na dose de 1,0 L 400 L^{-1} calda^{-1} ha^{-1}. A palha de café fermentada foi utilizada na dose de 2,0 L cova^{-1} (GUIMARÃES et al., 1999) nos tratamentos 1, 2, 3, 7, 8, 9 e 14 e em todas as parcelas convencionais), após a aplicação dos adubos orgânicos (esterco bovino, cama de aviário e farelo de mamona).

O cálculo da quantidade de adubos orgânicos foi feito de acordo com Furtini Neto et al. (2001) conhecendo-se a umidade e o teor de nutrientes no fertilizante orgânico sólido, com base na matéria seca (Tabela 2) e, o índice de conversão da forma orgânica para a forma mineral (50%). Foi calculada a quantidade de fertilizante a ser aplicada para atender à demanda de 170 kg ha^{-1} de N (IBD, 2003) e para suprir a necessidade de N e K visando uma produtividade de 30 a 40 sacas ha^{-1} (GUIMARÃES et al., 1999). As quantidades utilizadas dos adubos orgânicos foram: 8,5 kg de esterco bovino planta^{-1}, totalizando 34,9 t ha^{-1} (35% umidade); 2,0 kg de farelo de mamona planta^{-1}, totalizando 8,5 t ha^{-1} (20% umidade) e 4,2 kg planta^{-1} de cama de aviário, totalizando 17,4 t ha^{-1} (30% umidade).

A formulação do biofertilizante utilizada foi a do supermagro adaptado à cafeicultura orgânica, de acordo com Pedini (2000) citado por Theodoro (2006), com uma diluição de 5%. Foram realizadas três pulverizações tratorizadas mensais (de dezembro de 2004 a fevereiro de 2005). O plantio do adubo verde feijão guandu (*C. cajan* L.) foi feito em janeiro de 2005, nas entrelinhas dos cafeeiros, utilizando-se quatro linhas com espaçamento de 50,0 cm e densidade de 10 sementes por m linear, segundo Chaves e Calegari (2001). O guandu permaneceu na área por três meses, sendo roçado mecanicamente, em abril de 2005.

A adubação química foi idealizada de acordo com análise de solo coletada antes da implantação do experimento. A exigência de N e K para lavouras em produção foi calculada segundo Guimarães et al. (1999),visando uma produtividade de 30 a 40 sacas ha^{-1} para as parcelas convencionais, sendo fornecidos 300 kg ha^{-1} de N na forma de sulfato de amônio e 150 kg ha^{-1} K_2O na forma de cloreto de potássio (aplicados em conjunto). A adubação foi realizada em 4 parcelamentos. O manejo de plantas espontâneas nos tratamentos orgânicos constou do uso de roçadora mecânica, periodicamente, de acordo com o grau de infestação. Nas parcelas convencionais foi utilizado um manejo integrado (uso de roçadora mecânica a cada 30 a 45 dias e uma aplicação de controle químico com herbicida sistêmico – Glifosate na dose de 1,5 L 150 L^{-1} de calda).

Para a avaliação da ocorrência do bicho-mineiro, coletaram-se folhas do terceiro ou quarto par de ramos do terço superior e mediano (16 folhas/parcela, totalizando 80 folhas/tratamento). Foi avaliada a porcentagem de folhas minadas pelo bicho-mineiro, coletadas mensalmente, durante o ano de 2005, perfazendo um total de cem amostras/mês.

Para realização das análises fisiológicas da planta foram colhidas oito folhas no terço médio da planta/parcela em três fases fenológicas distintas do cafeeiro: 20/03/2005 (granação e enchimento dos chumbinhos), 30/06/2005 (maturação e colheita) e 27/10/2005 (floração). As referidas coletas de folhas foram realizadas no mesmo dia para o bicho-mineiro. Os dados de precipitação e temperatura, durante todo o ano de 2005 e para os dias de coleta citados, foram obtidos no Departamento de Engenharia da UFLA (Tabela 3). Imediatamente após a coleta, as folhas foram submetidas às análises fisiológicas, sendo envoltas em papel alumínio e armazenadas em nitrogênio líquido. No laboratório, foram armazenadas em refrigerador comercial.

TABELA 1 - Detalhamento dos tratamentos que caracterizam o manejo orgânico e convencional do cafeeiro.

Tratamentos de manejo orgânico	Descrição
1. Esterco bovino (EB) + palha de café (PC)	(EB) 8,5 kg planta^{-1}; (PC) 2,0 L planta^{-1}
2. Cama de aviário (CA) + palha de café (PC)	(CA) 4,2 kg planta^{-1}; (PC) 2,0 L planta^{-1}
3. Farelo de mamona (FM) + palha de café (PC)	(FM) 2,0 kg planta^{-1}; (PC) 2,0 L planta^{-1}
4. Esterco bovino	(EB) 8,5 kg planta^{-1}
5. Cama de aviário	(CA) 4,2 kg planta^{-1}
6. Farelo de mamona	(FM) 2,0 kg planta^{-1}; (PC) 2,0 L planta^{-1}
7. EB + PC + adubação verde (AV)	(EB) 8,5 kg planta^{-1}; (PC) 2,0 L planta^{-1} e (AV) feijão-guandu (*Cajanus cajan* L.)
8. CA + PC + AV	(CA) 4,2 kg planta^{-1}; (PC) 2,0 L planta^{-1} e (AV) feijão-guandu (*Cajanus cajan* L.)
9. FM + PC + AV	(FM) 2,0 kg planta^{-1}; (PC) 2,0 L planta^{-1} e (AV) feijão-guandu (*Cajanus cajan* L.)
10. EB + AV	(EB) 8,5 kg planta^{-1}; (AV) feijão-guandu (*Cajanus cajan* L.)
11. CA + AV	(CA) 4,2 kg planta^{-1}; (AV) feijão-guandu (*Cajanus cajan* L.)
12. FM + AV	(FM) 2,0 kg planta^{-1}; (AV) feijão-guandu (*Cajanus cajan* L.)
13. EB + PC + moinha de carvão (MC) + sulfato duplo de K e Mg (SKMg)	(EB) 8,5 kg planta^{-1}; (PC) 2,0 L planta^{-1}; (MC) 500 g planta^{-1}; (SKMg) 110 g planta^{-1}
14. FM + PC + farinha de rocha (FR)	(FM) 2,0 kg planta^{-1}; (PC) 2,0 L planta^{-1} e (FR) 500 g planta^{-1}
15. PC	(PC) 20 L planta^{-1}
16. AV	(AV) feijão-guandu (*Cajanus cajan* L.)
Adubação foliar	biofertilizante supermagro a 5% (3 aplicações a partir de dezembro de 2004)
Controle de plantas daninhas	roçada mecânica, enxada
Testemunha convencional	**Descrição**
Adubação química em quatro parcelamentos (de novembro de 2004 a fevereiro de 2005)	300 kg N – sulfato de amônio (20% N) e 150 kg K_2O – cloreto de potássio (58% K_2O)
Adubação foliar	Niphokam (3 aplicações a partir de dezembro de 2004)
Controle de plantas daninhas	roçada mecânica, Glyphosate

TABELA 2 - Resultados do valor agronômico dos diferentes insumos utilizados.

	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
Insumos	g/kg					mg/kg					
Esterco bovino	14,6	4,91	17,5	46,8	5,18	2,6	16	30	71	431	162
Cama de aviário	27,6	16,0	22,3	23,8	5,14	3,2	34	269	773	389	445
Farelo de mamona	49,4	13,2	9,7	22,9	0,87	3,3	27	21	2222	293	126
Palha de café	13,8	6,4	18,4	4,3	0,97	0,9	23	15	271	42	17
Moinha de carvão	2,6	0,76	2,9	51,6	1,63	2,3	20	37	51032	449	41
Feijão guandu	18,1	5,9	11,4	10,9	2,2	-	-	14	303	112	20

TABELA 3 - Precipitação e temperatura em Lavras, MG, no período de janeiro de 2005 até dezembro de 2005.

ANO	MESES												
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média/ ano
	Temperatura (°C)												
2005	22,5	22,0	22,5	22,2	19,0	17,4	16,9	19,4	20,3	21,9	20,8	21,2	20,5
	Precipitação (mm)												
2005	310,9	161,7	132,9	60,6	84,6	4,7	40,4	4,1	83,0	102,5	191,2	257,3	119,5

Médias de temperatura e precipitação nos dias específicos de coleta de dados			
	20/03/2005	30/06/2005	27/10/2005
Temperatura	22,0	18,7	23,7
Precipitação	0,0	0,0	7,2

A quantificação dos açúcares solúveis totais foi realizada pelo método da antrona (DISCHE, 1962). As amostras das folhas do cafeeiro para a realização das análises de proteína foram colocadas para secar em estufa de circulação forçada, à temperatura de 70°C, até o peso constante. Posteriormente, as amostras foram trituradas em moinho do tipo Wiley, com peneira de 20 mesh e armazenadas em frascos escuros, para a realização das análises pelo método do Kjeldahl (ASSOCIATION OF OFFICIAL AND AGRICULTURAL CHEMISTY - AOAC, 1970).

O plano experimental foi obtido em Cohran e Cox (1957). Os dados foram submetidos à análise de variância utilizando o programa SAS, a testemunha foi comparada com cada um dos dezesseis tratamentos de manejo orgânico, por meio do teste t com proteção de Bonferroni (JOHNSON; WICHERN, 1998), com a ajuda do programa SISVAR para Windows, versão 4.6.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A infestação do bicho-mineiro variou de janeiro a dezembro de 2005, de 0% a 16% (Tabela 3), nos diversos tratamentos de manejo orgânico e na testemunha, em lavoura cafeeira de 'Catuaí Amarelo', 4,0 x 0,7m e idade de 6 anos, do Sul de Minas Gerais. Os meses de janeiro, fevereiro, novembro e dezembro foram os meses de maior precipitação em Lavras (Tabela 3), apesar das altas temperaturas registradas, o que, possivelmente, contribuiu para a redução da população de lagartas do bicho-mineiro, por afogamento no interior da mina (PEREIRA, 2002) e para a similaridade encontrada para os resultados entre os tratamentos de manejo orgânico e a testemunha (Tabela 4). As maiores infestações ocorreram de maio a setembro de 2005, caracterizado por ser um período frio e seco no Sul de Minas Gerais.

TABELA 4 - Médias das folhas minadas por *Leucoptera coffeella* (%), em função da comparação entre cada tratamento de manejo orgânico com a testemunha, de janeiro a dezembro de 2005.

Trat.	Meses do ano											
	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
	% de folhas minadas											
1	0,81 a	0,31 a	2,97 a	0,6 a	1,4 a	16,0 a	5,70 a	3,70 b	6,65 a	3,20 b	2,81 a	0 a
2	2,03 a	0,13 a	0 a	2,3 a	5,4 a	9,6 b	1,44 b	15,7 a	0,08 a	0,19 b	0 a	0,25 a
3	0,03 a	0,34 a	0,88 a	0 a	1,2 a	7,1 b	2,61 b	2,75 b	2,05 a	0,48 b	0 a	0,03 a
4	2,63 a	0,19 a	1,25 a	1,7 a	1,7 a	8,3 b	4,82 a	11,44 a	3,72 a	0,26 b	0 a	0,14 a
5	0 a	0 a	0 a	0 a	4,8 a	6,2 b	1,78 b	2,97 b	1,13 a	0,56 b	0,59 a	0,49 a
6	0,80 a	0,31 a	0,47 a	0 a	1,4 a	9,8 b	9,45 a	4,95 b	2,90 a	4,45 a	1,56 a	0 a
7	0 a	0,31 a	3,00 a	0 a	1,2 a	11,8 b	0,49 b	4,25 b	4,50 a	0,39 b	0 a	1,36 a
8	2,53 a	0,34 a	0,88 a	0 a	1,2 a	4,6 b	0,11 b	0,25 b	5,80 a	0,48 b	0 a	0,03 a
9	0,30 a	0,12 a	0 a	0 a	3,1 a	9,8 b	2,67 b	2,64 b	3,16 a	0 b	0 a	0 a
10	0,63 a	0,17 a	3,01 a	0 a	1,8 a	12,9 b	8,20 a	2,53 b	0 a	0,32 b	0 a	0,10 a
11	0,86 a	0 a	1,72 a	0 a	0,7 a	8,4 b	3,40 b	1,97 b	1,83 a	0,64 b	0 a	0 a
12	1,47 a	0,16 a	0,12 a	0 a	0 a	2,2 b	0 b	4,75 b	3,31 a	0 b	0 a	0 a
13	1,98 a	0,36 a	0,87 a	0 a	1,6 a	13,6 b	0 b	4,91 b	4,05 a	0,21 b	1,83 a	1,50 a
14	0,36 a	1,25 a	0 a	0 a	0 a	10,5 b	2,64 b	9,51 a	5,74 a	2,70 b	0 a	0,22 a
15	0 a	1,21 a	0 a	0,8 a	0 a	6,6 b	3,25 b	3,13 b	3,74 a	3,41 b	0,86 a	1,49 a
16	0 a	0,67 a	0,19 a	0 a	2,8 a	11,4 b	0 b	10,1 a	0,51 a	1,05 b	2,82 a	0 a
Média	0,9	0,4	0,1	0,3	1,8	9,3	2,9	5,3	3,1	1,1	0,7	0,4
[Test.]	0a	0a	0,63 a	0a	0a	3,4b	0,63b	0,94b	1,88a	0,63b	0,9a	0,63a

Valores seguidos com a mesma letra minúscula da testemunha não diferem desta, significativamente, a 5%, segundo a proteção de Bonferroni. (Trat.) 16 tratamentos de manejo orgânico. (Test.) Testemunha – manejo convencional. Values followed with the same lowercase letter do not differ from the control of this, significantly, to 5%, according to the Bonferroni protection. (Trat.) 16 treatments of organic management. (Test.) Witness - conventional management.

A média geral, no ano de 2005, para infestação de bicho-mineiro (*Leucoptera coffeella),* nos tratamentos de manejo orgânico, foi de 2,2% e, na testemunha, foi de 0,8%. Esses resultados estão bem abaixo dos encontrados por Ecole (2003), em cafezais orgânicos e por Reis e Souza (1998), em cafezais convencionais na região Sul de Minas Gerais. Por outro lado, Fornazier et al. (2000), em um estudo conduzido no Espírito Santo, registraram que a incidência do bicho-mineiro,em lavoura de café , em conversão no primeiro ano variou de 32,3% a 39,0%, sem significância para as diferentes diluições do biofertilizante supermagro e para as duas doses de composto orgânico testadas, resultado esse que demonstra a necessidade de coleta de dados, durante a transição agroecológica, respeitando-se a resiliência do agroecossistema cafeeiro, visando a detecção de respostas a médio e longo prazo do manejo orgânico do solo.

Notou-se que o efeito do adubo verde foi significativo para os tratamentos 7, 8, 9, 10, 11 e 12, em outubro de 2005, concorrendo para uma menor incidência do bicho-mineiro que, em média, atingiu o valor de 0,31%, em comparação com os tratamentos que não utilizaram adubo verde (1, 2, 3, 4, 5 e 6), com uma média de 1,52% (Figura 1). Esse resultado reforça os princípios da teoria da trofobiose, que ressaltam o manejo da biodiversidade vegetal, nas entrelinhas de culturas perenes como o cafeeiro, por meio da introdução do feijão-guandu que apresenta efeito positivo na redução do ataque do bicho-mineiro. Amaral et al. (2010), atestam que a introdução de adubos verdes em cafezais apresenta uma interação positiva entre a predação do bicho-mineiro por vespas e o aumento da diversificação. Fernandes (2013) demonstra que sistemas de manejo orgânico, natural e SAT (sem agrotóxico) de lavouras cafeeiras interferem nas comunidades de insetos e ácaros benéficos, com efeitos pronunciados de parasitismo e o maior índice de diversidade para o sistema natural; enquanto que o consórcio do cafeeiro com crotalária e braquiária promove incrementos da população de ácaros predadores.

Os adubos orgânicos utilizados também registraram diferenças marcantes, em relação à coleta realizada no mês de março de 2005, as adubações orgânicas foram realizadas em dezembro de 2004 e a última adubação química com sulfato de amônio e cloreto de potássio foi realizada em março de 2005, caracterizando o período de mineralização da matéria orgânica (de 3 a 4 meses) e de disponibilização dos nutrientes, via adubação química altamente solúvel. Enfatiza-se que, justamente após esse período foi detectada uma alteração no comportamento do bicho-mineiro em relação aos diferentes adubos testados no cafeeiro. Os tratamentos com farelo de mamona (3, 6, 9, 12 e 14) (0,2%) e com cama de aviário (2, 5, 8 e 11) registraram as menores porcentagens médias de folhas minadas (0,6%), em relação aos tratamentos 1, 4, 7, 10 e 13 com esterco bovino (2,2%) (Figura 2).

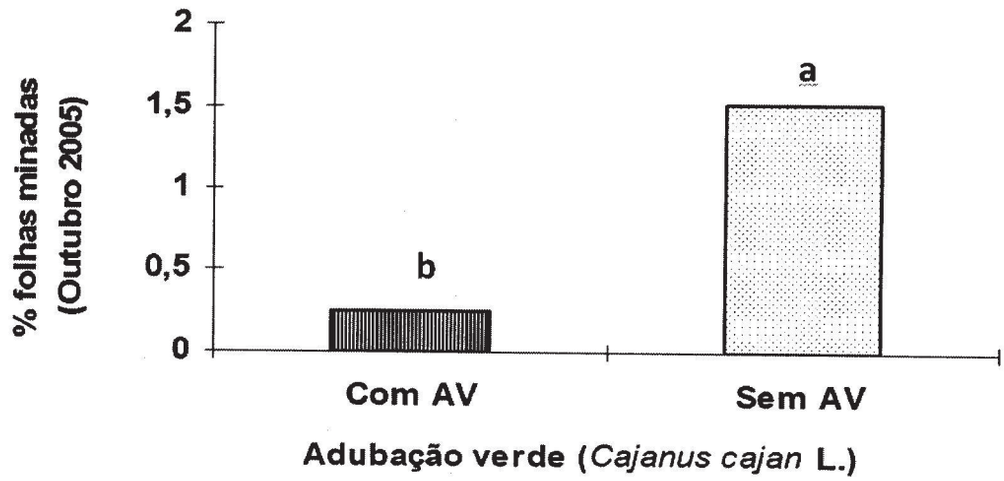

FIGURA 1 - Porcentagem de folhas minadas por *Leucoptera coffeella*, no mês de outubro de 2005, nos tratamentos de manejo orgânico, em função da adubação verde. Valores precedidos da mesma letra minúscula não diferem, significativamente, entre si, a 5%, pelo teste de Tukey.

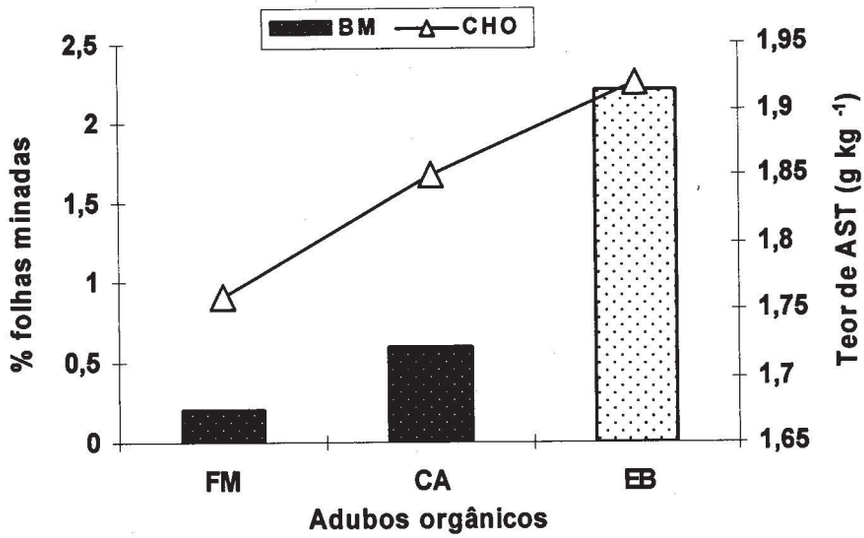

FIGURA 2 - Teor de açúcares solúveis totais (AST) na folha do cafeeiro (*Coffea arabica*) e % de folhas minadas por *Leucoptera coffeella,* no mês de março de 2005, em função dos tratamentos de manejo orgânico. Valores precedidos da mesma letra minúscula não diferem estatisticamente, entre si, a 5%, pelo teste de Tukey.

Foram correlacionados os teores de açúcares solúveis totais (AST) na folha do cafeeiro, e em relação ao efeito do tipo de adubo orgânico utilizado para a época 1 (março de 2005), de acordo com os preceitos da trofobiose. Os tratamentos (3, 6, 9, 12 e 14) de manejo orgânico, que utilizaram o farelo de mamona e apresentaram 0,2%, em média, de folhas minadas (Tabela 3) registraram os teores mais baixos de AST, com uma média de 1,76 g kg^{-1}. O teor médio de AST para tratamentos com esterco bovino foi de 1,92 g kg^{-1} e com cama de aviário foi de 1,85 g kg^{-1}.

Apesar da baixa incidência do bicho-mineiro (*L. coffeella),* em todos os tratamentos e na testemunha, quando se relaciona a porcentagem de folhas minadas, no mês de março de 2005, com o teor de AST na folha do cafeeiro no mesmo mês, constata-se que foram detectadas diferenças significativas nas duas variáveis, cuja interação, possivelmente, indica a influência da nutrição do cafeeiro, com adubos orgânicos na ocorrência do bicho-mineiro. O metabolismo da planta é afetado pela adubação orgânica, pois foi notado que o farelo de mamona promoveu um menor acúmulo que aumento nos teores de AST está relacionado com uma maior intensidade do ataque do bicho-mineiro, em casa de vegetação.

Por outro lado, a adubação orgânica com esterco bovino, que registrou os maiores índices de folhas minadas (2,2%), apresentou também maiores teores de AST, em relação aos tratamentos com farelo de mamona.

Os resultados para o teor de proteína na folha do cafeeiro, para os tratamentos de manejo orgânico, não diferiram significativamente da testemunha convencional, em nenhuma das épocas estudadas (Tabela 5). Segundo a teoria da trofobiose "a planta, ou mais precisamente o órgão vegetal, será atacado somente quando seu estado bioquímico, determinado pela natureza e pelo teor de substâncias nutritivas solúveis, corresponder às exigências tróficas da praga ou do patógeno em questão" (CHABOUSSOU, 1969, 1972, 1980, 1985). Assim, toda planta estará vulnerável ao ataque de insetos, ácaros, fungos e doenças de modo geral, no momento em que em seu sistema metabólico estiverem presentes excessos de aminoácidos livres e açúcares redutores (proteólise). Em condições climáticas ótimas e de suprimento de nutrientes, via manejo orgânico do solo, estabelece-se uma condição de equilíbrio metabólico na planta que acaba induzindo a um equilíbrio biológico no ambiente. A explicação para o aumento de pragas ou para os desequilíbrios biológicos nos agroecossistemas pode estar associada ao estado dominante de proteólise, nos tecidos dos cafeeiros.

Diante dessa constatação, verifica-se a grande importância de realização de estudos mais aprofundados sobre os efeitos da nutrição vegetal na suscetibilidade/resistência dos cafeeiros às pragas e doenças, pois ainda são incipientes as evidências científicas que confirmem a veracidade da teoria da trofobiose, principalmente em manejos tropicais.

TABELA 5 - Média dos teores de açúcares totais (g kg-1) e proteína total (%) na folha do cafeeiro (*Coffea arabica*), em função da comparação entre cada tratamento de manejo orgânico com a testemunha.

	Açúcares solúveis totais						Proteína					
[T]	E1	[T]	E2	[T]	E3	[T]	E1	[T]	E2	[T]	E3
1	2,3a	1	1,5 a	1	1,0 a	1	25,2 a	1	14,3 a	1	20,8 a
2	1,8b	2	1,9 a	2	1,2 a	2	27,8 a	2	14,4 a	2	20,3 a
3	1,6b	3	2,5 a	3	1,1 a	3	25,6 a	3	14,6 a	3	22,0 a
4	1,8b	4	1,4 a	4	1,1 a	4	23,9 b	4	14,9 a	4	22,8 a
5	2,1a	5	1,6 a	5	1,0 a	5	28,6 a	5	14,7 a	5	23,1 a
6	1,6b	6	1,4 a	6	1,1 a	6	26,4 a	6	14,2 a	6	22,5 a
7	1,8b	7	1,2 a	7	1,1 a	7	24,4 a	7	13,4 a	7	22,4 a
8	2,0a	8	1,6 a	8	0,9 a	8	26,8 a	8	14,7 a	8	22,2 a
9	1,9a	9	1,6 a	9	1,0 a	9	25,5 a	9	14,7 a	9	22,7 a
10	1,8b	10	1,5 a	10	1,0 a	10	24,4 a	10	14,7 a	10	19,7 a
11	1,5b	11	2,0 a	11	1,0 a	11	28,0 a	11	14,7 a	11	22,4 a
12	1,9b	12	1,7 a	12	1,0 a	12	25,2 a	12	13,4 a	12	24,2 a
13	1,9b	13	1,0 a	13	1,0 a	13	23,9 b	13	14,9 a	13	22,0 a
14	1,8b	14	1,5 a	14	1,2 a	14	25,2 a	14	14,1 a	14	22,6 a
15	1,8b	15	1,5 a	15	0,9 a	15	24,6 a	15	14,4 a	15	24,2 a
16	2,1a	16	1,4 a	16	1,0 a	16	24,2 b	16	14,3 a	16	20,7 a
CV	1,6b	CV	1,8 a	CV	1,3 a	CV	27,7 b	CV	13,7 a	CV	21,9 a

Valores seguidos com a mesma letra minúscula da testemunha não diferem desta, significativamente, a 5%, segundo a proteção de Bonferroni. [T]: manejo orgânico. [CV] – manejo convencional. Épocas (E1, março/05; E2, junho/05 e E3, outubro/05).
Values followed with the same lowercase letter do not differ from the control of this, significantly, to 5%, according to the Bonferroni protection. [T]: organic management. [CV] - conventional management. Epochs (E1, March/05, E2, and E3 June/05, October/05).

No caso deste trabalho, não foi verificada a suscetibilidade dos cafeeiros fertilizados com adubação química altamente solúvel, concluindo-se que não foi possível detectar alterações no teor de açúcares totais e proteína total na folha do cafeeiro, provenientes da adubação com sulfato de amônio e cloreto de potássio. Essa constatação gera novos questionamentos que devem ser elucidados pela pesquisa, como por exemplo, a necessidade do estudo sobre os efeitos do uso de agrotóxicos x adubação química no metabolismo dos cafeeiros, uma vez que na área experimental não houve aplicação de produtos fitossanitários nos manejos orgânico e convencional testados, somente foi utilizado o fitoprotetor biofertilizante. Tornar-se necessária e funcional a análise do equilíbrio proteolítico por meio da medição dos teores de proteínas, aminoácidos, açúcares totais e redutores, correlacionando-os com a incidência do bicho mineiro, broca, cercosporiose e ferrugem em agroecossistemas cafeeiros.

Um estudo realizado na mesma área experimental da presente pesquisa, demonstra as potencialidades do manejo orgânico do cafeeiro na obtenção de melhor qualidade do grão produzido em sistemas orgânicos, segundo Malta et al. (2008). A classificação do café pela bebida é um importante fator na valoração comercial do mesmo e, pelo que os estudos indicam, o tipo de adubação adotado também influencia na qualidade da bebida (MACIAS; RIANO, 2002; THEODORO et al., 2002). Malta et al. (2008) avaliaram a qualidade sensorial da produção de duas safras na área experimental dessa pesquisa e verificaram que não houve diferenças significativas entre os atributos sensoriais do café orgânico e do convencional no primeiro ano de conversão, porém, no segundo ano, a utilização de esterco bovino isolado ou associado com casca de café e adubação verde proporcionou melhor qualidade sensorial na bebida, quando comparado ao cultivo convencional.

4 CONCLUSÕES

- A adubação orgânica afeta a produção de açúcares solúveis totais na folha do cafeeiro.

- O farelo de mamona promove um menor acúmulo de açúcares solúveis totais na folha o que, possivelmente, concorre para um aumento da resistência da planta ao ataque do bicho-mineiro.

- A adubação química com sulfato de amônio e cloreto de potássio não afeta os teores de açúcares solúveis totais e proteína na folha do cafeeiro.

-A adubação verde com feijão-guandu realizada nas entrelinhas do cafeeiro favorece uma menor incidência do bicho-mineiro.

5 REFERÊNCIAS

ALTIERI, M. **Biotecnologia agrícola:** mitos, riscos ambientais e alternativas. Porto Alegre: EMATER-RS, 2002. 54 p.

AMARAL, D. S. S. L. et al. A diversificação da vegetação reduz o ataque do Bicho-Mineiro-do-Cafeeiro *Leucoptera coffeella* (Guérin-Mèneville) (Lepidoptera: Lyonetiidae). **Neotropical Entomology**, Londrina, v. 39, p. 543-548, 2010.

ASSOCIATION OF OFFICIAL AND AGRICULTURAL CHEMISTY. **Official methods of analysis**.10th ed. Washington, 1970.

BOMBARDI, L. M. **Intoxicação e morte por agrotóxicos no Brasil:** a nova versão do capitalismo oligopolizado. Presidente Dutra: NERA, 2011. Disponível em: <http://www2.fct.unesp.br/nera/artigodomes/9artigodomes_2011.pdf>. Acesso em: 5 maio 2012.

CAIXETA, S. L. et al. Nutrição e vigor de mudas de cafeeiros e infestação por bicho-mineiro. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 5, p. 1429-1435, set./out. 2004.

CARNEIRO, F. F. et al. **Dossiê ABRASCO:** um alerta sobre os impactos dos agrotóxicos na saúde. Rio de Janeiro: ABRASCO, 2012. 98 p.

CHABOUSSOU, F. La trophobiose el la protection de la plante. **Revue des Question Scientifiques**, Namur, v. 143, n. 1, p. 27-47, 1972.

_____. **Les plantes malades des pesticides**. Paris: Débard, 1980. 265 p.

_____. **Plantas doentes pelo uso de agrotóxicos:** a teoria da trofobiose. Porto Alegre: L&PM, 1987. 256 p.

_____. **Recherches sur lês fact de pulutation dês acariens phytophages de la vigne à la suit dês traitments pesticides du fenillage**. 1969. 238 p. Thèse (Doctorat en Entomologie) - Faculte de Sciences, Paris, 1969.

_____. **Santé des cultures, une revolution agronomique**. Paris: Flammarion, 1985. 296 p.

CHAVES, J. C. D.; CALEGARI, A. Adubação verde e rotação de culturas. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 22, n. 212, p. 53-60, set./out. 2001.

COELHO, R. A. et al. Efeito de leguminosa arbórea na nutrição nitrogenada do cafeeiro (*Coffea canephora* Pierre ex Froehn) consorciado com bananeira em sistema orgânico de produção. **Coffee Science**, Lavras, v. 1, n. 1, p. 21-27, abr./jun. 2006.

COHRAN, W. G.; COX, G. M. **Experimental designs**. 2nd ed. New York: J. Wiley, 1957. 617 p.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Levantamento safra café 2012. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/13_01_09_17_43_49_boletim_cafe_janeiro_2013.pdf >. Acesso em: 17 maio 2013.

CONSERVATION INTERNATIONAL DO BRASIL. **Livro sobre a importância da polinização como serviço ambiental**. Disponível em: <http://www.conservation.org.br/noticias/noticia.php?id=151>. Acesso em: 12 dez. 2012.

DISCHE, Z. General color reactions. In: WHISTLER, R. L.; WOLFRAM, M. L. (Ed.). **Carbohydrate chemistry**. New York: Academic, 1962. p. 477-512.

ECOLE, C. C. **Dinâmica populacional de *Leucoptera coffeella* e de seus inimigos naturais em lavouras adensadas de cafeeiro orgânico e convencional**. 2003. 129 p. Tese (Doutorado em Entomologia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2003.

FERNANDES, L. G. **Diversidade de inimigos naturais e pragas do cafeeiro em diferentes sistemas de cultivo**. 2013. 166 p. Tese (Doutorado em Entomologia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2013.

FERREIRA, F. Z.; SILVEIRA, L. C. P.; HARO, M. M. Famílias de Himenópteros parasitoides em cultivo orgânico de café em Santo Antônio do Amparo, MG, Brasil. **Coffee Science**, Lavras, v. 8, n. 1, p. 1-5, 2013.

FORNAZIER, M. J.; ARAÚJO, J. B. S.; ROCHA, A. C. da. Incidência de bicho-mineiro em lavoura de café em conversão do sistema tradicional para o cultivo orgânico. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 1., 2000, Poços de Caldas. **Resumos Expandidos...** Poços de Caldas: EMBRAPA CAFÉ/ Minasplan, 2000. p. 1161-1163.

FURTINI NETO, A. E. et al. **Fertilidade do solo**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2001. 252 p.

GERMANO, A. A. et al. Levantamento do número de envenenamentos por agrotóxicos nas áreas agrícolas de cinco municípios nas regiões de ribeirão preto e sul de Minas. **Revista Ciências do Ambiente**, Campinas, v. 3, n. 2, p. 10-14, ago. 2007.

GLIESSMAN, S. R. **Agroecologia:** processos ecológicos em agricultura sustentável. 3. ed. Porto Alegre: UFRGS, 2005. 653 p.

GUIMARÃES, P. T. G. et al. Cafeeiro. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ, V. V. H. (Ed.). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais:** 5ª aproximação. Viçosa, MG: CFSEMG/UFV, 1999. p. 289-302.

JOHNSON, R. A.; WICHERN, D. W. **Applied multivariate statistical analysis**. 4th ed. New Jersey: Prentice Hall, 1998.

KLEIN, A. M.; STEFFAN-DEWENTER, I.; TSCHARNTKE, T. Fruit set of highland coffee increases with the diversity of pollinating bees. **Proceedings of the Royal Society B**, London, v. 270, p. 955-961, 2003.

LOPES, P. R. et al. Evolução da ferrugem (*Hemileia vastatrix*) e da cercosporiose (*Cercospora coffeicola*) em agroecossistemas cafeeiros convencional, organo-mineral e orgânico. **Revista Brasileira de Agroecologia**, Cruz Alta, v. 7, p. 160-168, 2012.

MACÍAS, M. A.; RIAÑO, L. C. E. Café orgánico: caracterización, torrefacción y enfriamiento. **Cenicafé**, Chinchiná, v. 53, n. 4, p. 281-292, 2002.

MALTA, M. R. et al. Qualidade sensorial do café de lavouras em conversão para o sistema de produção orgânico. **Bragantia**, Campinas, v. 67, p. 775-783, 2008.

MIRANDA, J. C. **Doenças em cultivo orgânico do cafeeiro:** epidemiologia e controle alternativo. 2007. 116 p. Tese (Doutorado em Fitopatologia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2007.

PALMA, D. C. A. **Agrotóxicos em leite humano de mães residentes em Lucas do Rio Verde, MT**. 2011. 103 p. Dissertação (Mestrado em Saúde Coletiva) - Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2011.

PELAEZ, V. **Monitoramento do mercado de agrotóxicos**. Disponível em: <http://portal.anvisa.gov.br/wps/wcm/connect/c4bdf280474591ae99b1dd3fbc4c6735/estudo_monitoramento.pdf?MOD=AJPERES>. Acesso em: 31 jul. 2012.

PEREIRA, E. J. G. **Variação sazonal dos fatores de mortalidade natural de *Leucoptera coffeella* em *Coffea arabica***. 2002. 50 p. Dissertação (Mestrado em Entomologia) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2002.

PINHEIRO, S.; BARRETO, S. B. **"MB-4":** agricultura sustentável, trofobiose e biofertilizantes. Porto Alegre: Fundação Juquira Candiru/MIBASA, 1996. 273 p.

POLITO, W. L. The Trofobiose Theory and organic agriculture: the active mobilization of nutrients and the use of rock powder as a tool for sustainability. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, Rio de Janeiro, v. 78, n. 4, p. 765-779, 2006.

PRIMAVESI, A. **Manejo ecológico do solo:** a agricultura em regiões tropicais. São Paulo: Nobel, 1986. 541 p.

REIS, P. R.; SOUZA, J. C. Manejo integrado das pragas do cafeeiro em Minas Gerais. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 19, n. 193, p. 17-25, 1998.

RICCI, M. S. F. dos et al. Biomass and nutrient accumulation by the spontaneous vegetation in organic coffee crops. **Coffee Science**, Lavras, v. 5, n. 1, p. 17-27, jan./abr. 2010.

RICKETTS, T. H. et al. Economic value of tropical forest to coffee production. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, Washington, v. 101, n. 34, p. 12579-12582, 2004.

SANTOS, F. da S. et al. Progresso da Cercosporiose (*Cercospora coffeicola* Berkeley & Cooke) em cafeeiros sob cultivos orgânico e convencional. **Summa Phytopathologica**, Jaguariúna, v. 34, p. 48-54, 2008.

SOARES, W. L. **Produtividade e saúde do trabalhador rural:** uma análise do custo-benefício do uso de agrotóxicos em Minas Gerais. 2001. 128 p. Dissertação (Mestrado em Economia Agrícola) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2001.

THEODORO, V. C. A. de. **Transição do manejo de lavoura cafeeira do sistema convencional para o orgânico**. 2006. 142 p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2006.

THEODORO, V. C. A. de et al. Alterações da qualidade de grãos de cafés (*C. arabica* L.) colhidos no pano e no chão, provenientes de sistemas de manejo orgânico, em conversão e convencional. **Revista Brasileira de Armazenamento**, Viçosa, v. 4, p. 38-44, 2002.

THEODORO, V. C. A. de; GUIMARÃES, R. J.; MENDES, A. N. G. Desempenho do manejo orgânico na nutrição e produtividade de lavoura cafeeira. **Acta Scientiarum. Agronomia**, Maringá, v. 29, p. 631-638, 2007. Suplemento.

THEODORO, V. C. A. de; MENDES, A. N. G.; GUIMARÃES, R. J. Resposta de lavouras cafeeiras em transição agroecológica a diferentes manejos de solo. **Coffee Science**, Lavras, v. 4, n. 1, p. 56-66, jan./jun. 2009.

TURCO, P. H. N. et al. Eficiência econômica no sistema de café orgânico. **Informações Econômicas**, São Paulo, v. 42, n. 3, p. 32-39, maio/jun. 2012.

CRESCIMENTO DE CAFEEIROS ENXERTADOS CULTIVADOS EM SOLUÇÃO NUTRITIVA

André Dominghetti Ferreira[1], Ramiro Machado Rezende[2], Juliana Costa Rezende[3], Gladyston Rodrigues Carvalho[4], Alex Mendonça de Carvalho[5], Thamiris Bandoni Pereira[6]

(Recebido: 28 de junho de 2013; aceito: 23 de setembro de 2013)

RESUMO: A utilização da enxertia no cafeeiro, além de conferir maior tolerância aos nematoides, tem mostrado influência no crescimento vegetativo. Objetivou-se, no presente trabalho, avaliar o crescimento vegetativo de diferentes cultivares de *Coffea arabica*, enxertadas em Apoatã IAC 2258 (*Coffea canephora*). O experimento foi instalado em casa de vegetação, utilizando-se o método de cultivo em solução nutritiva. Foi utilizado um fatorial 7 x 3, sendo sete cultivares de *C. arabica* L. (Palma II, Catucaí 2SL, Oeiras MG 6851, Obatã IAC 1669-20, Acauã, Topázio MG 1190 e Paraíso MG H 419-1), três tipos de mudas (pé-franco, autoenxertada e enxertada sobre a cultivar Apoatã IAC 2258) e mais dois tratamentos adicionais (Apoatã autoenxertado e Apoatã pé-franco). A técnica da enxertia não afetou o crescimento das mudas de cafeeiros. As cultivares Acauã, Paraíso MG H 419-1 e Catucaí 2SL apresentam melhor desempenho quando enxertadas. O desenvolvimento do sistema radicular das mudas autoenxertadas e de pé-franco superou o das mudas enxertadas. As cultivares Palma II, Obatã IAC 1669-20e Oeiras MG 6851 possuem potencial para promover o desenvolvimento do sistema radicular do porta-enxerto semelhante ao da muda de Apoatã autoenxertada.

Termos para indexação: *Coffea canephora*, *Coffea arabica*, Apoatã IAC 2258, enxertia, compatibilidade, hidroponia.

GRAFTED COFFEE GROWTH IN MINERAL NUTRIENT SOLUTION

ABSTRACT: *The use of grafting in coffee, in addition to greater tolerance for nematodes, have shown influence on the growth of coffee. The purpose of this study was to evaluate the growth of different varieties of Coffea arabica grafted into Apoatã IAC 2258 (Coffea canephora). The experiment was installed in a greenhouse, using the method of cultivation in nutrient solution. It used a factorial 7 x 3, seven cultivars of C. arabica L. (Palma II, Catucaí 2SL, Oeiras MG 6851, Obatã IAC 1669-20, Acauã, Topázio MG 1190 and Paraíso MG H 419-1), three types of seedlings (coffee cultivars grafted on 'Apoatã IAC 2258', self grafted, meaning a cultivar was grafted on a rootstock of the same cultivar and no grafting) and more two additional treatments (Apoatã self grafted and Apoatã no grafting). The technique of grafting did not disadvantage the development of seedling trees. Cultivars Acauã, Paraíso MG H 419-1 and Catucaí 2SL had better perform when grafted. The development of the root system of the plants self-grafted and non-grafted seedlings was better then grafted seedlings. Cultivars Palma II, Obatã IAC 1669-20 and Oeiras MG 6851have potential to promote the root system development similar to Apoatã self-grafted seedlings.*

Index terms: *Coffea canephora, Coffea arabica, Apoatã IAC 2258, grafting, compatibility, hydroponic.*

1 INTRODUÇÃO

No Brasil, atualmente existe uma grande carência de produtos nematicidas que tenham seu uso registrado para cafeicultura. Em 2012, o Aldicarb, pertencente ao grupo químico metil carbamato, um dos poucos princípios ativos ainda utilizados na cultura, foi retirado do mercado pela empresa que o produzia, em respeito a um acordo firmado com a Agência de Proteção Ambiental dos EUA. Ainda restam no país o Terbufos® e o Cadusafos® cuja utilização é onerosa e com elevado risco de intoxicação humana.

Diante da vasta ocorrência de nematoides como o *Meloidogyne exígua,* em lavouras cafeeiras do estado de Minas Gerais (OLIVEIRA et al., 2005; PEREIRA et al., 2012) e dos riscos da sua disseminação, a utilização da enxertia de cafeeiros da espécie *Coffea arabica* L., em porta-enxertos tolerantes aos fitonematoides, tem viabilizado o cultivo dessa espécie em áreas infestadas, sendo uma alternativa ao uso do controle químico. Além de sua utilização em áreas infestadas de nematoides, a técnica de enxertia tem alterado o crescimento vegetativo de algumas cultivares de cafeeiro. Dentre as alterações, pode-se citar o maior crescimento do sistema radicular e da parte aérea e ainda maior eficiência na absorção de nutrientes, em relação às plantas não enxertadas, aumentando assim a produtividade das plantas, mesmo em áreas isentas de fitonematoides (FAHL et al., 1998; FERREIRA et al., 2010).

[1]Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária/EMBRAPA - 79.106-550 - Campo Grande - MS - andre.dominghetti@embrapa.br
[2,5,6]Universidade Federal de Lavras /UFLA - Departamento de Agricultura/DAG - Cx. P. 3037 - 37.200-000 - Lavras - MG ramiromr@globo.com, carvalho.am@hotmail.com, thamirisbandoni@hotmail.com
[3,4]Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais - Café/ EPAMIG - CAFÉ - Cx. P. 176 - 37.200-000 Lavras - MG julianacosta@epamig.ufla.br, carvalho@epamig.ufla.br

Segundo Tomaz et al. (2005), a enxertia pode alterar de maneira positiva ou negativamente o crescimento das plantas, quando se comparam diferentes combinações de enxerto e porta-enxerto com seus respectivos pés-francos. Conhecer os efeitos do processo de enxertia, em que o porta-enxerto possa aumentar a adaptabilidade da planta enxertada, constitui-se de uma ferramenta eficiente para aumentar o rendimento da planta adulta (BENINCASA, 2003).

Dessa forma, diversos estudos têm sido realizados na tentativa de explicar as modificações no crescimento e desenvolvimento de plantas provenientes de diferentes combinações de variedade-copa com espécie porta-enxerto que, na maioria das vezes, são proporcionadas por questões genéticas ou ambientais (ALFONSI et al., 2005; DIAS et al., 2008; PAIVA et al., 2012). Após selecionar as combinações enxerto/porta-enxerto mais representativas com base no crescimento vegetativo das mudas, torna-se possível avaliar a afinidade na enxertia. Objetivou-se, neste trabalho, estudar, em cultivo hidropônico, o crescimento vegetativo e o acúmulo de massa seca de diferentes cultivares de *Coffea arabica* L., enxertadas em Apoatã IAC 2258 (*Coffea canephora* Pierre ex A. Froehner).

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa de vegetação do Departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal de Lavras (UFLA), por um período de 150 dias. As plantas foram cultivadas em processo hidropônico de cultivo em vasos, contendo solução nutritiva completa.

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados, no esquema fatorial 7 x 3, sendo sete cultivares de *C. arabica* (Palma II, Catucaí 2SL, Oeiras MG 6851, Obatã IAC 1669-20, Acauã, Topázio MG 1190 e Paraíso MG H 419-1), três tipos de mudas (pé-franco, autoenxertadas e enxertadas sobre a cultivar Apoatã IAC 2258) e mais dois tratamentos adicionais (Apoatã IAC 2258 autoenxertado e pé-franco). A autoenxertia foi realizada com o objetivo de isolar o efeito do estresse, causado pelo processo de enxertia no porta-enxerto Apoatã IAC 2258. Cada parcela experimental contou com uma planta, em um total de cinco repetições.

Para obtenção das mudas, a semeadura foi feita em caixas com areia lavada.

A enxertia do tipo hipocotiledonar foi realizada quando as mudas atingiram o estádio de "palito de fósforo". Todas as mudas enxertadas foram transplantadas simultaneamente para tubetes, contendo substrato próprio para produção de mudas comerciais, nesse tipo de recipiente (Plantmax®)e mantidas em câmara de nebulização (80% ±5% de umidade e temperatura de 25°C±1°C) cobertas com sombrite 75%, por um período de 30 dias.

Após este período, as mudas foram levadas para o viveiro coberto com sombrite 50%, onde permaneceram até atingirem 5 pares de folhas. Em seguida, lavaram-se as raízes, retirando todo o substrato para que as mudas fossem colocadas em solução nutritiva (HOAGLAND; ARNON, 1950 citados por TAIZ; ZEIGER, 2013), modificada, com 20% da concentração recomendada, por um período de 30 dias para a adaptação, sendo em seguida, transplantadas para vasos com capacidade volumétrica de dois litros, e fixadas em placa de isopor para dar suporte e evitar a evaporação da solução.

À medida que ocorria a diminuição do volume da solução devido à transpiração, foi feita a reposição com água deionizada até completar o volume original. Nos primeiros 30 dias após a fase de adaptação, a concentração da solução nutritiva foi de 30%, do 31º ao 90º dia foi de 60%, e do 91º ao 150º foi de 100% da concentração dos nutrientes. A solução foi trocada a cada quinze dias, visando deixar as concentrações dos nutrientes próximas das ideais.

As mensurações de: altura da planta, diâmetro do caule, área foliar, massa seca da parte aérea, massa seca do sistema radicular, número de nós no ramo ortotrópico e número de ramos plagiotrópicos foram realizadas aos 150 do transplantio para os vasos.

As análises estatísticas foram realizadas utilizando o programa computacional Sisvar (FERREIRA, 2008). Foi verificada a significância ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste F. Detectando diferenças significativas entre os tratamentos e entre as interações, foram feitos os desdobramentos e as médias foram comparadas entre si, pelo teste de Tukey. As comparações entre fatorial e adicional foram analisados pelo teste de Dunnett, ao nível de 5% de probabilidade.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com a análise de variância para as características avaliadas, houve efeito significativo, em nível indicado pelo teste de F para a interação entre cultivares e tipos de mudas, para todas as características avaliadas,

exceto para número de nós no ramo ortotrópico, indicando diferença de comportamento das cultivares, quando submetidas aos diferentes tratamentos para a produção de mudas. As médias das características estudadas estão de acordo com médias obtidas em outros estudos de mudas cafeeiros enxertados (DIAS et al., 2008; TOMAZ et al., 2012) e os coeficientes de variação 6,25 e 15,17, demonstraram boa precisão experimental.

Nota-se pela Tabela 1, que a técnica da enxertia não alterou negativamente o crescimento das mudas de cafeeiros até os 150 dias após o plantio, uma vez que as mudas autoenxertadas apresentaram-se iguais ou superiores às mudas de pé-franco e enxertadas para todas as características avaliadas, corroborando Dias et al. (2009), os quais observaram que o processo da enxertia não proporciona redução no crescimento das plantas.

Contudo, no presente trabalho foi detectado efeito negativo do porta-enxerto Apoatã IAC 2258 (*C. canephora*), sobre as características massa seca do sistema radicular, massa seca da parte aérea e número de ramos plagiotrópicos das mudas de *C. arabica* (Tabela 1), indicando que o comportamento das plantas enxertadas é influenciado diretamente pelas combinações entre enxerto e porta-enxerto, corroborando Livramento et al. (2011), onde verificaram a existência de inter-relação entre o acúmulo de massa seca de parte aérea e raiz.

Da mesma forma, Tomaz et al. (2006), comparando plantas de cafeeiro enxertadas com seus respectivos pés-franco, observaram decréscimos na área foliar, nas combinações Oeiras/Apoatã e H 419/Apoatã, e aumento significativo na combinação H 514/Apoatã.

Essa incompatibilidade pode ser função de diferenças anatômicas entre as duas espécies, dificultando o ajuste entre os tecidos, durante o processo de cicatrização entre o enxerto e o porta-enxerto; nutricional, em função de que uma espécie pode apresentar padrão de absorção de água e nutrientes, em quantidade e composição que não seja adequado à outra espécie; ou bioquímica, devido à presença de substâncias orgânicas em uma das espécies, que interfiram no comportamento da outra (DIAS et al., 2008).

Fahl et al. (1998) afirmaram que a utilização de mudas de cafeeiros enxertadas em *C. canephora,* em áreas isentas de nematoides, é viável devido ao maior crescimento do sistema radicular e da parte aérea das plantas, entretanto, esse fato não foi verificado no presente trabalho, uma vez que o sistema radicular das mudas autoenxertadas e de pé-franco superaram o das mudas enxertadas, ou seja, apesar do *C. canephora* apresentar um sistema radicular mais desenvolvido que o *C. arabica*, essa característica não permanece quando essas plantas são utilizadas como porta-enxerto, corroborando outros autores (DIAS et al., 2009; OLIVEIRA et al., 2004).

Dentre as combinações de enxerto e porta-enxerto estudadas (Tabela 2), nota-se que apenas Catucaí 2SL/Apoatã e Oeiras/Apoatã apresentaram altura superior quando comparadas aos seus respectivos pés-franco, e altura inferior da combinação Topázio/Apoatã IAC 2258, em relação ao Topázio MG 1190 pé-franco. Segundo Tomaz et al. (2006), plantas que apresentem maior crescimento em altura são desejáveis, desde que essa característica seja convertida em aumento de produtividade, sem comprometer o custo de produção.

TABELA 1 - Médias de altura (ALT), diâmetro de caule (Ø), área foliar (AF), massa seca do sistema radicular (MSR), massa seca da parte aérea (MPA), número de nós no ramo ortotrópico (NNO) e número de ramos plagiotrópicos (NRP) de diferentes tipos de mudas de caffeiro, aos 150 dias do transplantio das mudas.

Tipo de Muda	ALT (cm)	Ø (mm)	AF (cm²)	MSR (g)	MPA (g)	NNO	NRP
Pé-franco	13,32 c	2,95 a	1000,84 b	2,15 b	18,78 b	3,23 a	5,57 a
Auto-enxertada	15,25 a	2,93 a	1147,84 a	2,56 a	19,93 a	3,29 a	5,83 a
Enxertada	14,10 b	2,97 a	983,98 b	1,94 c	16,40 c	3,29 a	5,06 b
CV (%)	8,22	9,82	6,82	9,08	6,25	14,83	15,17
Média geral	14,22	2,95	1044,10	2,22	18,38	3,27	5,48

Médias seguidas pela mesma letra na vertical não diferem entre si, estatisticamente ao nível de 5%, pelo teste de Tukey.

TABELA 2 - Médias de altura, diâmetro de caule, número de nós no ramo ortotrópico, número de ramos plagiotrópicos, área foliar, massa seca do sistema radicular, massa seca da parte aérea, número de nós no ramo ortotrópico e número de ramos plagiotrópicos de tipos de muda, dentro de cultivar, aos 150 dias do transplantio para os vasos.

Tratamento	Palma II	Catucaí 2SL	Oeiras	Obatã	Acauã	Topázio	Paraíso
			Altura (cm)				
Pé-franco	13,46 ab	13,00 c	11,80 b	12,26 b	11,64 a	16,12 a	14,94 a
Auto-enx.	14,74 a	19,04 a	14,44 a	15,58 a	10,88 a	16,04 a	16,04 a
Enxertado	12,74 b	16,20 b	14,80 a	13,58 b	11,10 a	14,04 b	16,24 a
			Diâmetro de caule (mm)				
Pé-franco	2,24 b	3,16 a	3,06 a	3,28 a	3,35 a	3,15 a	2,41 b
Auto-enx.	2,41 b	2,71 a	2,67 a	3,41 a	3,57 a	2,77 a	2,98 a
Enxertado	3,17 a	2,86 a	2,81 a	3,42 a	2,84 b	2,78 a	2,90 a
			Área foliar (cm²)				
Pé-franco	911,48 b	908,52 b	785,52a	1353,95a	1104,2b	1251,12a	842,61 b
Auto-enx.	1057,18 a	1171,90a	891,11a	1253,89a	1218,6a	1357,87a	1081,5a
Enxertado	1124,53 a	777,01c	874,72a	1298,50a	737,94c	894,57 b	1069,1a
			Massa seca do sistema radicular (g)				
Pé-franco	2,00 a	1,98 b	1,58 c	2,60 a	2,66 b	2,69 b	1,60 b
Auto-enx.	2,00 a	2,43 a	2,23 a	2,60 a	3,20 a	3,00 a	2,40 a
Enxertado	2,20 a	1,59 c	1,91 b	2,60 a	1,91 c	1,74 c	1,60 b
			Massa seca da parte aérea (g)				
Pé-franco	17,40 b	15,01 b	17,03 ab	24,00 a	20,72 a	21,72 a	15,62 b
Auto-enx.	19,00 a	18,16 a	18,60 a	22,60 a	21,13 a	22,45 a	17,58 a
Enxertado	19,20 a	14,08 b	16,84 b	19,60 b	14,48 b	14,40 b	16,46 ab
			Número de nós no ramo ortotrópico				
Pé-franco	3,20 a	3,20 b	3,00 a	2,80 a	2,80 a	4,40 a	3,20 b
Auto-enx.	3,00 a	4,20 a	3,40 a	3,20 a	2,40 a	3,00 b	3,80 ab
Enxertado	2,80 a	3,60 ab	3,00 a	3,40 a	2,60 a	3,60 b	4,00 a
			Número de ramos plagiotrópicos				
Pé-franco	5,40 a	5,00 a	5,00 a	7,20 a	6,00 ab	6,00 a	4,40 a
Auto-enx.	5,60 a	5,60 a	4,00 a	7,00 a	6,80 a	6,80 a	5,00 a
Enxertado	6,20 a	4,40 a	4,20 a	6,80 a	4,80 b	4,60 b	4,40 a

Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si, estatisticamente, ao nível de 5% pelo teste de Tukey.

Observa-se que, apenas as cultivares Acauã e Paraíso MG H 419-1 apresentaram menores diâmetros de caule quando enxertadas e em pé-franco, respectivamente. As demais cultivares apresentaram comportamentos semelhantes, quando em pé-franco e enxertadas. A cultivar Catucaí 2SL apresentou reduções na área foliar e na massa seca do sistema radicular quando foi enxertada sobre o Apoatã IAC 2258. Segundo Tomaz et al. (2006), o aumento na área foliar resulta em elevação nas taxas de fotossíntese, maior produção e disponibilidade de carboidratos para as planta que, por sua vez, altera o crescimento do sistema radicular, uma vez que esse também desenvolve a função de órgão de reserva.

Notam-se comportamentos distintos dos diferentes tratamentos, para massa seca da parte aérea. As cultivares Palma II e Paraíso MG H 419-1 em pé-franco apresentaram menores valores de massa seca de parte aérea, quando comparadas com os demais tipos de mudas, coincidindo com os resultados encontrados para diâmetro do caule e área foliar. As demais cultivares, à exceção da Catucaí 2SL, foram alteradas, negativamente, pela presença do porta-enxerto Apoatã IAC 2258.

Apesar do Teste de F não ter detectado significância na interação entre cultivares e tipos de mudas, para a característica número de nós no ramo ortotrópico, ao realizar o desdobramento de tipos de mudas, dentro de cultivares pelo Teste de Tukey, foram detectadas diferenças significativas entre alguns tratamentos. Nota-se efeito positivo da presença do porta-enxerto Apoatã IAC 2258 apenas sobre as cultivares Catucaí 2SL e Paraíso MG 1190, e efeito negativo sobre a cultivar Topázio MG 1190. Para a característica número de ramos plagiotrópicos, verifica-se inferioridade das mudas enxertadas de Acauã e Topázio MG 1190, quando comparadas aos seus respectivos pés-franco.

Observa-se, de maneira geral, que o comportamento das combinações entre enxerto e porta-enxerto varia em função das cultivares utilizadas, o que pode ser atribuído às variações morfológicas e fisiológicas de cada cultivar (DIAS et al., 2009; TOMAZ et al., 2008). Vale ressaltar que as características altura da planta, diâmetro do caule, área foliar, massa seca da parte aérea, massa seca do sistema radicular, número de nós no ramo ortotrópico e número de ramos plagiotrópicos têm importância complementar, e permitem a seleção das combinações mais promissoras de variedades-copa com a espécie porta-enxerto 'Apoatã IAC 2258'. Dessa forma, as cultivares Acauã, Paraíso MG H 419-1 e Catucaí 2SL apresentaram melhor desempenho quando enxertadas.

Os efeitos do porta-enxerto não são passíveis de serem detectados sem se considerar o sistema como um todo (copa/porta-enxerto), uma vez que existe ação recíproca entre as partes envolvidas (PAULETTO et al., 2001; TOMAZ et al., 2008). Na comparação entre Apoatã autoenxertado, com os tratamentos em que as mudas foram enxertadas sobre o Apoatã IAC 2258 (Tabela 3), foi possível analisar a influência da copa sobre o desempenho do porta-enxerto. Verifica-se que não houve diferença significativa entre os tratamentos Apoatã autoenxertado e Apoatã pé-franco, demonstrando que esse pode ser utilizado como porta-enxerto, uma vez que a técnica da enxertia não prejudicou seu desenvolvimento. Dias et al. (2009), em estudos sobre a fisiologia e anatomia dos cafeeiros enxertados, observaram que a enxertia de *C. arabica* sobre Apoatã IAC 2258 (*C. canephora*) não apresenta sinais evidentes de incompatibilidade de reconstituição e formação de tecidos.

Observa-se, ainda pela Tabela 2, que as cultivares Palma II, Obatã IAC 1669-20 e Oeiras MG 6851possuíram potencial para promover o desenvolvimento do sistema radicular do porta-enxerto, semelhante ao da muda de Apoatã autoenxertada.

TABELA 3 - Massa seca do sistema radicular (MSR) em mudas de cafeeiros enxertadas, em relação ao Apoatã autoenxertado.

Comparação	MSR (g)
Apoatã autoenxertado	2,60
Vs. Apoatã pé-franco	3,00 ns
Apoatã autoenxertado	2,60
Vs Palma II enxertado	2,20 ns
Vs Catucaí 2SL enxertado	1,40 *
Vs Oeiras MG 6851enxertado	2,00 ns
Vs Obatã IAC 1669-20 enxertado	2,60 ns
Vs Acauã enxertado	1,80 *
Vs Topázio MG 1190 enxertado	1,80 *
Vs Paraíso MG H 419-1enxertado	1,60 *

* e ns; contrastes significativos e não significativos, respectivamente, pelo teste de Dunnett a 5%.

4 CONCLUSÕES

As cultivares Acauã, Paraíso MG H 419-1 e Catucaí 2SL apresentam melhor desempenho quando enxertadas.

O acúmulo de massa seca do sistema radicular das mudas autoenxertadas e de pé-franco supera o das mudas enxertadas.

As cultivares Palma II, Obatã IAC 1669-20 e Oeiras MG 6851 possuem potencial para promover o desenvolvimento do sistema radicular do porta-enxerto semelhante ao da muda de Apoatã autoenxertada.

5 AGRADECIMENTOS

Ao Consórcio Pesquisa Café, a FAPEMIG e ao INCT-Café, pelo apoio financeiro ao projeto. À CAPES (AMC) e ao CNPq-PNPD (JCR), pela concessão das bolsas.

6 REFERÊNCIAS

ALFONSI, E. L. et al. Crescimento, fotossíntese e composição mineral em genótipos de *Coffea* com potencial para utilização como porta-enxerto. **Bragantia**, Campinas, v. 64, n. 1, p. 1-13, 2005.

BENINCASA, M. M. P. **Análise de crescimento de plantas:** noções básicas. 2. ed. Jaboticabal: FUNEP, 2003. 41 p.

DIAS, F. P. et al. Desenvolvimento de cafeeiros enxertados em Apoatã IAC 2258 cultivados em recipiente de 250 litros. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 2, p. 385-390, mar./abr. 2008.

_____. Produção de cafeeiros *Coffea arabica* L. pés francos auto-enxertados e enxertados em Apoatã IAC 2258. Ciência e Agrotecnologia, Lavras, v. 33, n. 2, p. 484-487, mar./abr. 2009.

FAHL, J. I. et al. Enxertia de *Coffea arabica* sobre progênies de *Coffea canephora* e de *C. congensis* no crescimento, nutrição mineral e produção. **Bragantia**, Campinas, v. 57, n. 2, p. 297-312, 1998.

FERREIRA, A. D. et al. Absorção, translocação e eficiência no uso dos macronutrientes em cafeeiros (*Coffea arabica*) enxertados em Apoatã IAC 2258 (*Coffea canephora*). **Interciencia**, Caracas, v. 35, p. 1-5, 2010.

FERREIRA, D. F. SISVAR: um programa para análises e ensino de estatística. **Revista Symposium**, Lavras, v. 6, n. 2, p. 36-41, 2008.

LIVRAMENTO, D. E. et al. Distribuição de assimilados e acúmulo de massa seca em raízes e parte aérea de cultivares de cafeeiros. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 7., 2011, Araxá. **Anais...** Brasília: EMBRAPA Café, 2011. 1 CD-ROM.

OLIVEIRA, A. L. et al. Desenvolvimento de cafeeiros (*Coffea arabica* L) enxertados submetidos a diferentes níveis de reposição de água. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 28, p. 1291-1298, 2004.

OLIVEIRA, D. S. et al. Variability of Meloidogyne exígua on coffee in the Zona da Mata of Minas Gerais State, Brazil. **Journal of Nematology**, College Park, v. 37, p. 323-327, 2005.

PAIVA, R. F. de et al. Comportamento de cultivares de cafeeiros *C. arabica* L. enxertados sobre cultivar 'Apoatã IAC 2258' (*Coffea canephora*). **Ciencia Rural**, Santa Maria, v. 42, n. 7, p. 1155-1160, 2012.

PAULETTO, D. et al. Produção e vigor da videira "Niágara Rosada" relacionada com o porta-enxerto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, n. 1, p. 115-121, jan. 2001.

PEREIRA, T. B. et al. Reação de genótipos de cafeeiro (*Coffea arabica* L.) a *Meloidogyne exígua* população Sul de Minas. **Coffee Science**, Lavras, v. 7, p. 84-90, 2012.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2013.

TOMAZ, M. A. et al. Diferenças genéticas na eficiência de absorção, na translocação e na utilização de K, Ca e Mg em mudas enxertadas de cafeeiro. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n. 6, p. 1540-1546, 2008.

_____. Efeito do porta-enxerto nas trocas gasosas, área foliar e superfície de raiz de mudas de *Coffea arabica* L. **Ceres**, Viçosa, v. 53, p. 93-98, 2006.

_____. Porta-enxertos afetando o desenvolvimento de plantas de *Coffea arabica* L. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 35, p. 570-575, 2005.

ZONEAMENTO AGROCLIMATOLÓGICO DO *COFFEA CANEPHORA* PARA O ESPÍRITO SANTO MEDIANTE INTERPOLAÇÃO ESPACIAL

Fernando Coelho Eugenio[1], Telma Machado de Oliveira Peluzio[2], Ana Aparecida Barbosa Pereira[3], Alexandre Rosa dos Santos[4], João Batista Esteves Peluzio[5], Rosembergue Bragança[6], Nilton César Fiedler[7], Elizabeth Neire da Silva Oliveira de Paula[8]

(Recebido: 1 de julho de 2013; aceito: 10 de novembro de 2013)

RESUMO: Objetivou-se, no presente artigo, propor a determinação do Zoneamento Agroclimatológico do *Coffea canephora,* mediante a utilização de reclassificação espacial em classes de porcentagens, para o estado do Espírito Santo. As etapas metodológicas necessárias para avaliar a relação do zoneamento agroclimatológico para a cultura do *Coffea canephora*, foram: geração do banco de dados e regressão linear múltipla; interpolação espacial por krigagem esférica; reclassificação e zoneamento agroclimatológico; vetorização espacial do zoneamento e quantificação do zoneamento agroclimatológico para os 78 municípios do Estado. Os resultados mostraram que o estado do Espírito Santo possui áreas plenas (100%), boas (75%), regulares (50%), restritas (25%) e totalmente inaptas ao cultivo do café conilon, representando, respectivamente, 6,92%; 24,47%; 37,40% e 0,97% do território. A metodologia adotada, de reclassificação espacial em classes de porcentagens, mostrou-se eficiente.

Termos para indexação: Reclassificação espacial, café, climatologia.

ZONING AGROCLIMATOLOGICAL *Coffea canephora* FOR ESPÍRITO SANTO BY SPATIAL INTERPOLATION

ABSTRACT: *This study aims to propose the determination of the Zoning Agroclimatological Coffea canephora by using spatial reclassification percentages of classes for the state of Espírito Santo. The methodological steps needed to assess the relationship of zoning agroclimatological to the culture of Coffea canephora, were generating the database and multiple linear regression; spatial interpolation by kriging spherical; reclassification and zoning agroclimatological; vectorization spatial zoning and zoning quantification agroclimatological for 78 municipalities in the state. The results showed that the state of Espírito Santo has areas full (100%), good (75%), fair (50%), restricted (25%) and totally inapt to the cultivation of coffee conilon, representing, respectively, 6.92 %, 24.47%, 37.40% and 0.97% of the territory. The methodology of spatial reclassification percentages classes was efficient.*

Index terms: Spatial reclassification, coffee, climatology.

1 INTRODUÇÃO

O café foi introduzido na economia capixaba ainda no início do século XIX. Conforme Almada (1984, p. 60)

> a cultura do café se impôs nesta época no Espírito Santo em substituição à cana-de-açúcar porque se tratava de cultura extensiva e exigente de terras virgens [...] e valeu-se da mão de obra escrava disponível além de atrair imigrantes livres e escravos das regiões vizinhas, que aos poucos foram ocupando as imensas áreas despovoadas da província.

Historicamente, cabe destacar que, por volta da década de 1850, ocorreram mudanças marcantes na estrutura econômica do Espírito Santo e elas exerceram importante contribuição na

[1,2,3]Universidade Federal do Espírito Santo/UFES - Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais - Av. Governador Lindemberg, 316, 29550-000 - Jerônimo Monteiro - ES - coelho.fernando@yahoo.com.br, tmpeluzio@hotmail.com, arqanabarbosa@gmail.com
[4]Universidade Federal do Espírito Santo/UFES - Departamento de Engenharia Rural - Alto Universitário, s/nº, Guararema Cx. postal 16 - Alegre - ES - 29500-000 - mundogeomatica@yahoo.com.br, braganca@cca.ufes.br
[5] Instituto Federal do Espírito Santo, Ciência e Tecnologia - Campus de Alegre - Rodovia BR-482 (Cachoeiro-Alegre), Km 47 Alegre - ES - 29550-000 - jbpeluzio@gmail.com
[6]Universidade Federal do Espírito Santo/UFES - Departamento de Engenharia Rural - Alto Universitário, s/nº, Guararema Cx. postal 16 - Alegre - ES - 29500-000 - braganca@cca.ufes.br
[7,8]Universidade Federal do Espírito Santo/UFES - Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais - Av. Governador Lindemberg, 316, 29550-000 - Jerônimo Monteiro - ES - nilton.fiedler@ufes.br, elizabeth@cca.ufes.br

atual configuração do Estado. O café foi plantado em todas as regiões, mas a partir de 1870, a produção concentrou-se principalmente no sul do Estado, região de Cachoeiro de Itapemirim. Conforme Daré (2010), a região Sul possuía grandes fazendas de café, já a região de Vitória apresentava estrutura fundiária basicamente formada por pequenas propriedades e agricultura de subsistência.

No século XVIII, Labourie (1799) afirma que, para se definir o local adequado ao cultivo de café, devia-se contemplar a escolha de terras próximas aos cumes das montanhas, que, por possuirem difícil acesso devido ao emaranhado de matos que cobrem os declives das montanhas, poderiam ocasionar determinação de outras áreas para o cultivo, em detrimento do preconizado. Para ele, na mesma fazenda, variarão muito as terras, tanto na qualidade intrínseca do terreno, como na localização. As montanhas mais baixas e próximas às campinas são menos adequadas à produção do café, pois são quentes e de solo impróprio, em relação àquelas situadas nas partes altas, que são frias com terreno mais coeso, como os cafeeiros gostam. Tudo isso se reconhece à primeira vista. As várias espécies de cedros, as outras árvores de lenho mole e branco, como também uma palmeira chamada Chapelet, indicam a condição adequada e a frescura do terreno em que crescem os cafezais.

De todo modo, em seus escritos, Labourier (1799) esclarece que, nos lugares baixos e quentes, as exposições solares ao norte e oeste são melhores, porque são mais frias. Já nos montes altos opta-se pela exposição solar a leste e sul, pois o calor é menor. Essa era a leitura dos manuais de agricultura do século XIX.

O crescimento e o desenvolvimento do café dependem da espécie e da variedade, bem como do ambiente onde é cultivado, principalmente da temperatura, chuvas e, em menor escala, dos ventos, da umidade relativa do ar e da luminosidade (MATIELLO et al., 2002).

As deficiências hídricas afetam menos a cafeicultura, quando essas não se estendem até a estação de frutificação e estão sob condições de solos profundos e de boas condições físicas. Para o café conilon, tem-se no período de setembro a fevereiro a maior exigência hídrica (TAQUES; DADALTO, 2007).

Camargo (1985) afirma que o zoneamento agroclimatológico para a cultura do café constitui um importante instrumento no planejamento e consolidação da atividade cafeeira, devendo ser considerado em sua planificação.

Para a cultura do café arábica já foram realizados trabalhos de zoneamento agroclimatológico, para diversos estados brasileiros.

Para o Espírito Santo, Taques e Dadalto (2007) realizaram o zoneamento agroclimatológico, indicando áreas aptas, inaptas ou restritas para o café conilon (PEZZOPANI et al., 2010).

Sob o aspecto térmico, a maior parte do estado do Espírito Santo apresenta condições ótimas para o cultivo da espécie. Sob o aspecto hídrico, principalmente no norte do Estado, o cultivo do café conilon tem sido plantado em regiões onde a deficiência hídrica é o principal fator limitante à produção, uma vez que a ocorrência de secas prolongadas prejudica a produção dos cafeeiros em condições não irrigadas (DAMATTA; RAMALHO, 2006). As áreas com aptidão para o plantio do café conilon e arábica no Estado foram identificadas com base nos índices de deficiência hídrica anual (DHA), deficiência hídrica mensal (DHM) e nas temperaturas médias anuais (Ta) e da temperatura do mês de novembro (Tn).

A Portaria n° 79 D.O.U de 28/02/2011, do Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento – MAPA (BRASIL, 2011), estabelece classes de temperatura média anual (Ta) para a definição das áreas aptas e inaptas do ponto de vista térmico e classe de DHA para a definição das áreas aptas e inaptas do ponto de vista hídrico, para o café conilon sendo: DHA < 200 mm; 22°C < Ta < 26° C e; Tn < 25°C (BRAGANÇA, 2012).

Segundo Pereira, Angelocci e Sentelhas (2002) cada cultura necessita de condições favoráveis durante todo o ciclo vegetativo. Mudanças Climáticas Globais (MCG) poderão alterar a produção e produtividade das culturas agrícolas, de modo que é necessário e urgente entender os possíveis impactos das MCG sobre a agricultura. De acordo com Assad (2010), a questão das mudanças climáticas globais levou a Organização Meteorológica Mundial (OMM) e a United Nations Environment Programme (UNEP) a criarem o Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), em 1988. De acordo com o relatório do Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC (2007), fica evidente que a temperatura do planeta está em ascensão, sendo que as projeções até o final desse século apontam para aumentos de 1,1 a 6,4°C na temperatura média do ar, em vários locais do Planeta, incluindo o Brasil. Com as mudanças climáticas, a agricultura deverá sofrer alterações e adaptações consideráveis nesse século (SANTOS, 2012).

A aptidão climática de áreas para o cultivo de espécies de interesse agrícola é um dos principais focos da agrometeorologia, constituindo o zoneamento agroclimatológico. De acordo com Ometto (1981), esse zoneamento é uma técnica para identificar regiões mais favoráveis ao desenvolvimento de uma determinada cultura em estudo, locais esses que, quando as condições edafoclimáticas e econômicas são adequadas, podem proporcionar desenvolvimento significativo das espécies.

Para uma adequada elaboração do zoneamento agroclimatológico, são utilizadas técnicas de Sistemas de Informações Geográficas (SIGs). Segundo Santos, Louzada e Eugenio (2010), os SIGs são sistemas que automatizam tarefas realizadas manualmente e facilitam a realização de análises complexas, por meio da integração de dados geocodificados.

Conforme Santinato, Fernandes e Fernandes (1996), a aptidão hídrica do cafeeiro conilon, em regiões com déficit hídrico (DH) anual, oscilando entre 150 a 200 mm são consideradas como aptas ao seu cultivo, mas podem exigir irrigações ocasionais. Regiões com DH entre 200 e 400 mm podem ser consideradas aptas, desde que se utilize irrigação suplementar. No Espírito Santo, com destaque para a região norte e noroeste, apresentam déficit hídrico em 80% das áreas cultivadas com a cultura do conilon, apresentando também um quadro pluviométrico crítico com ocorrência de chuvas mal distribuídas, o que justifica a utilização de sistemas de irrigação para evitar os riscos agrícolas (VITÓRIA, 2008).

Objetiva-se, no presente estudo, propor a determinação do Zoneamento Agroclimatológico do Coffea canephora Pierre ex. A. Froehner, mediante a utilização de reclassificação espacial em classes de porcentagens, para o estado do Espírito Santo.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo

A área de estudo é representada pelo estado do Espírito Santo que possui uma área territorial de 46.053,19 km². Está localizado entre os paralelos de 17º53’29’’ a 21º18’03’’ de latitude Sul e os meridianos 39º41’18’’ a 41º52’45’’ longitude Oeste de Greenwich (Figura 1).

Integra, com os estados de Minas Gerais, Rio de Janeiro e São Paulo, a chamada Faixa de Desenvolvimento da Região Sudeste (SANTOS, 2006).

As etapas metodológicas necessárias para avaliar a relação do zoneamento agroclimatológico atual, para a cultura do café conilon foram: Etapa 01 - Geração do banco de dados e regressão linear múltipla; Etapa 02 - Interpolação espacial por krigagem esférica; Etapa 03 - Reclassificação e zoneamento agroclimatológico; Etapa 04 - Vetorização espacial do zoneamento agroclimatológico e; Etapa 05 - Zoneamento agroclimatológico para 78 municípios.

Etapa 01 - Geração do banco de dados e regressão linear múltipla

Todas as operações foram baseadas em uma série de dados meteorológicos de 30 anos, representativa de 109 estações localizadas no estado do Espírito Santo e em áreas limítrofes, visando favorecer as interpolações estatísticas futuras dos dados, ao Norte, no estado da Bahia, a Oeste, em Minas Gerais e ao Sul no estado do Rio de Janeiro.

A base de dados meteorológica foi importada para o aplicativo computacional Microsoft Office Excel®, versão 2010, sendo processado o balanço hídrico agroclimatológico, proposto por Thornthwaite e Matter (1955), adotando a Capacidade de Água Disponível (CAD) de 125 mm (PEREIRA; ANGELOCCI; SENTELHAS, 2002), com o objetivo de gerar uma planilha eletrônica em formato .xls, contendo 17 campos, sendo: 1) identificador da estação; 2) código da estação; 3) órgão de coordenação; 4) nome da estação; 5) município da estação; 6) altitude da estação; 7) ano inicial da coleta de dados; 8) ano final da coleta de dados; 9) série temporal; 10) longitude; 11) latitude; 12) temperatura média anual; 13) precipitação média anual; 14) evapotranspiração potencial; 15) evapotranspiração real; 16) deficiência hídrica anual e; 17) excedente hídrico anual.

Após a geração do balanço hídrico, foi aplicada uma das fases do método estatístico denominado crítica dos dados, que tem como objetivo encontrar e corrigir falhas, erros ou imperfeições que possam comprometer os resultados espaciais temporais e temáticos.

De posse do aplicativo computacional ArcGIS®, versão 10.0, foi realizada a importação das planilhas eletrônicas, em formato .xls, referente aos balanços hídricos, mais especificamente dos campos representativos das coordenadas

geográficas longitude e latitude, culminando na vetorização espacial pontual das referidas estações meteorológicas e suas respectivas tabelas de atributos, contendo todos os campos referentes aos balanços hídricos.

Sabendo que na prática, ocorre uma relação linear entre a temperatura (variável dependente) e a altitude (variável independente) Vianello e Alves (2004), foi aplicada a regressão linear múltipla (RIBEIRO JÚNIOR, 2011), utilizando a altitude e as coordenadas *UTM X* e *Y* como variáveis independentes e a temperatura como variável dependente, todas disponibilizadas nas tabelas de atributos, oriundas dos balanços hídricos recém-importadas para o aplicativo *ArcGIS*® ,conforme demonstrado na equação (1) abaixo:

$$T = \beta_0 + \beta_1 ALT + \beta_2 X + \beta_3 Y \qquad (1)$$

Em que:

T : temperatura (°C);

ALT : altitude (m);

X : coordenada *UTM* X (m);

Y : coordenada *UTM* Y (m);

β_0 : constante de regressão;

β_1, β_2 e β_3 : coeficientes de regressão para as variáveis ALT, X e Y.

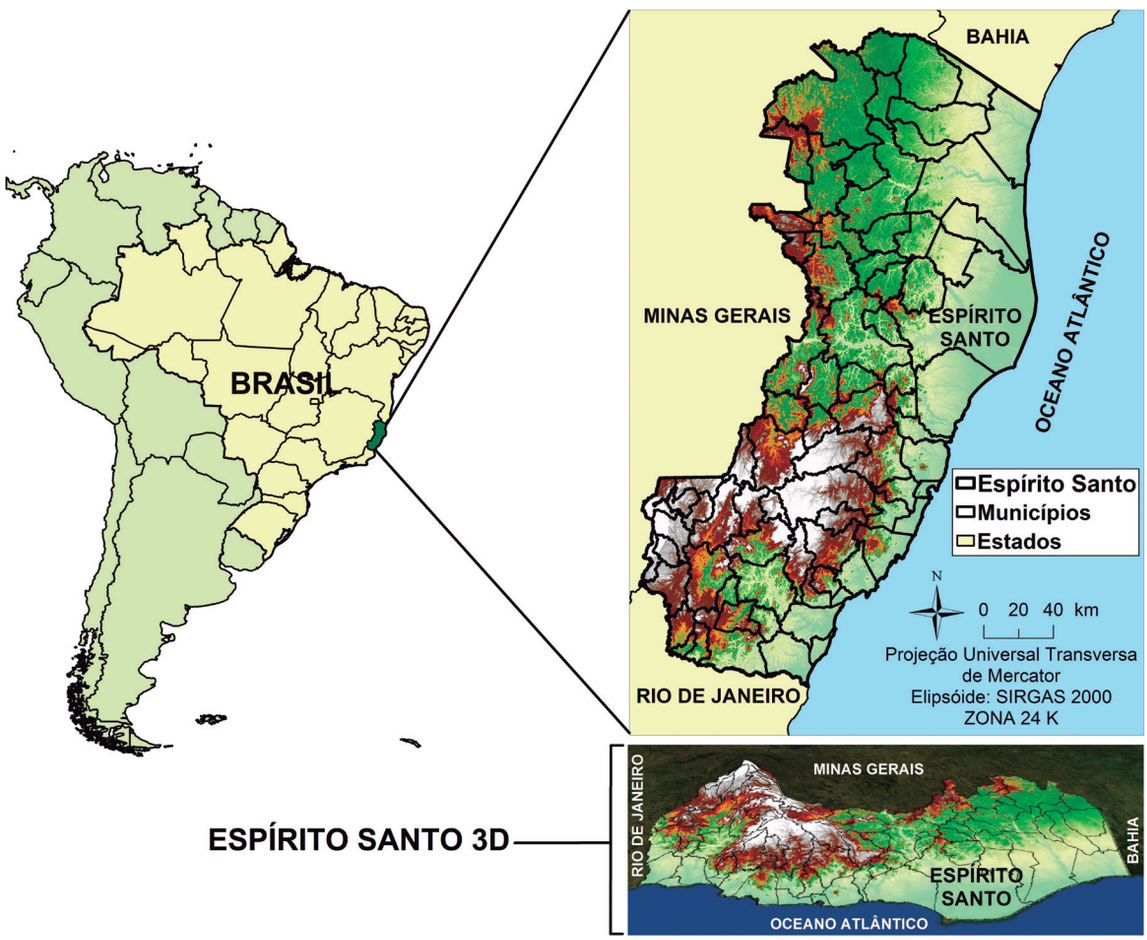

FIGURA 1 - Localização da área de estudo representativa do estado do Espírito, Brasil Fonte: Santos (2012).

Etapa 02 - Interpolação espacial por krigagem esférica

De posse dos campos das coordenadas *UTM X* e *Y* da imagem vetorial pontual representativa das estações meteorológicas, aplicou-se a técnica geoestatística de interpolação espacial por krigagem esférica (MAZZINI; SCHETTINI, 2009), com ajuste do semivariograma (CRESSIE, 1991), gerando as imagens matriciais das coordenadas *UTM X* e *Y*.

Foi importado para o aplicativo computacional *ArcGIS*® ,o Modelo Digital de Elevação (MDE) do projeto *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM), disponibilizado gratuitamente no portal da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), na escala de 1:250.000, na projeção cartográfica WGS *84* (MIRANDA, 2005).

Aplicando-se a álgebra de mapas, tendo como entrada as equações de regressões lineares múltiplas, com suas respectivas variáveis independentes, representadas pelas imagens matriciais MDE/SRTM, coordenadas *UTM X* e *Y,* obteve-se como saída, a imagem matricial de temperatura atual.

Etapa 03 - Reclassificação e zoneamento agroclimatológico do café conilon

Sobre as imagens matriciais de temperatura atual e incrementos, aplicou-se a função de "reclassificação" espacial com o objetivo de representar as classes de aptidão, restrição e inaptidão (Tabela 1) para a cultura do café conilon gerando-se uma imagem matricial reclassificada representativa do zoneamento agroclimatológico atual.

Segundo Matiello (1991), as faixas por aptidão térmica e hídrica para o café conilon, respectivamente, estão representadas nas Tabelas 1 e 2.

TABELA 1- Faixas de aptidão por temperatura para o café conilon.

Aptidão	Faixa de aptidão
Apta	22,5 - 24,0 °C
Restrita	20,0 - 22,5 °C
Inapta	< 20 °C e > 24,0 °C

Etapa 04 - Vetorização espacial do zoneamento agroclimatológico

Nesta etapa, a imagem matricial representativa do zoneamento agroclimatológico foi convertida para o formato vetorial poligonal. Devido ao elevado número de polígonos obtidos após o processo de conversão vetorial, aplicou-se a função "dissolução poligonal", tendo como saída uma nova imagem vetorial com tabela de atributos contendo apenas três classes de aptidão denominadas aptas, inaptas e restritas.

Na tabela de atributo da imagem vetorial poligonal dissolvida, foram criados três novos campos, com tipos de dados reais, intitulados área, perímetro e porcentagem. Em estado de edição, utilizando a função "cálculo geométrico", foram calculadas as áreas (km²) e perímetros (km) para as referidas classes de aptidão. Finalmente, por meio da função "calculadora de campos", calculou-se a porcentagem das classes de aptidão.

Etapa 05 - Zoneamento agroclimatológico para 78 municípios

Nesta etapa, foi aplicada a função "interseção", tendo como entrada a imagem vetorial poligonal dos municípios e a imagem matricial do zoneamento agroclimatológico, com o objetivo de gerar uma planilha contendo o zoneamento discretizado para cada município.

O zoneamento do café conilon foi classificado por porcentagem de aptidão, utilizando pesos, conforme representado na Tabela 3, de acordo com metodologia desenvolvida por Luppi (2011), acrescida das denominações de classes.

O fluxograma metodológico contendo as seis etapas necessárias para o desenvolvimento do trabalho é apresentado na Figura 2.

TABELA 2- Faixa de aptidão por deficiência hídrica para o café conilon.

Aptidão	Faixa de aptidão
Apta	< 200 mm
Restrita	200 - 400 mm
Inapta	> 400 mm

TABELA 3 - Aptidão, em porcentagem, para o zoneamento do café conilon.

Faixas de aptidão por:		Pesos		∑ Pesos	Aptidão (%)	Classes
Temperatura	Deficiência hídrica	Temperatura	Deficiência hídrica			
Apta	Apta	0,50	0,50	1,00	100	Plena
Apta	Restrita	0,50	0,25	0,75	75	Boa
Apta	Inapta	0,50	0,00	0,50	50	Regular
Restrita	Apta	0,25	0,50	0,75	75	Boa
Restrita	Restrita	0,25	0,25	0,50	50	Regular
Restrita	Inapta	0,25	0,00	0,25	25	Restrita
Inapta	Apta	0,00	0,50	0,50	50	Regular
Inapta	Restrita	0,00	0,25	0,25	25	Restrita
Inapta	Inapta	0,00	0,00	0,00	0	Inapta

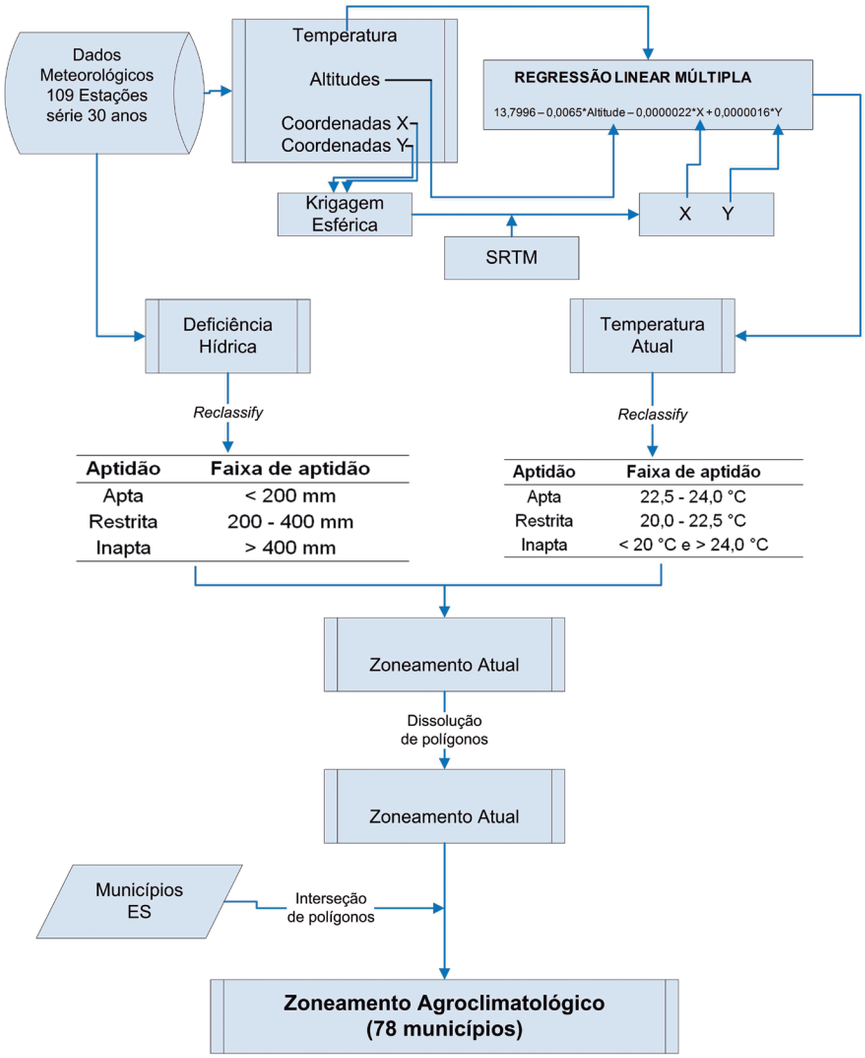

FIGURA 2 - Fluxograma metodológico contendo as etapas necessárias para o desenvolvimento do trabalho.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados comparativos entre a variação da aptidão e a área ocupada e perímetro encontram-se na Tabela 4. Já na Tabela 5, é possível observar a área de aptidão por município para plantio do café conilon.

O estado do Espírito Santo possui 3.179,66 km² de terras plenas (100%), 11.241,40 km² de boas (75%), 17.182,42 km² de regulares (50%), 13.900,38 km² de restritas (25%) e 444,36 km² de terras totalmente inaptas ao cultivo do café conilon, representando, respectivamente, 6,92%; 24,47%; 37,40% e 0,97% do território. Valores próximos também foram encontrados por Bragança (2012).

Pezzopane et al. (2010), utilizando interpolação por Krigagem, identificou 58% da área do Espírito Santo, apresentando alto risco climático nas fases vegetativa do florescimento, granação e crescimento vegetativo.

Pelo dinamismo natural da ciência e do conjunto de dados, tem-se frequente "revisistas" ao zoneamento agroclimatológico buscando refinar, atualizar e, consequentemente, permitir novos olhares (PEZZOPANE et al., 2012; TAQUES; DADALTO, 2007). Neste contexto, a principal contribuição deste trabalho foi propor a utilização da estratégia de reclassificação espacial em classes de porcentagens com o propósito de favorecer o processo de interpretação.

TABELA 4 - Área e perímetro do zoneamento agroclimatológico para o café conilon.

Classes	Área		Perímetro	
	km²	%	km	%
Plena (100%)	3.179,66	6,92	9.922,96	15,05
Boa (75%)	11.241,40	24,47	25.724,60	39,03
Regular (50%)	17.182,42	37,40	16.618,05	25,21
Restrita (25%)	13.900,38	30,25	12.778,21	19,39
Inapta (0%)	444,36	0,97	868,79	1,32
Total	45.948,22	100,00	65.912,61	100,00

TABELA 5 - Área de Aptidão por município para plantio do café conilon.

Municípios	Área por Classes (km²)				
	Plena (100 %)	Boa (75 %)	Regular (50 %)	Restrita (25 %)	Inapta (0 %)
Afonso Claudio	16,43	451,38	476,05	11,06	0
Água Doce do Norte	96,64	315,74	16,36	46,08	0
Águia Branca	71,38	137,74	107,64	135,74	0
Alegre	278,73	370,71	123,96	0	0
Alfredo Chaves	70,03	337,09	209,44	0	0
Alto Rio Novo	7,83	155,63	58,01	5,13	0
Anchieta	23,58	10,97	240,90	127,56	0
Apiacá	14,38	100,61	17,61	60,64	0
Aracruz	16,12	1,38	1411,98	0	0
Atílio Vivacqua	5,76	49,71	25,46	145,94	0
Municípios	Área de Aptidão (km²)				
	Plena (100 %)	Boa (75 %)	Regular (50 %)	Restrita (25 %)	Inapta (0 %)
Baixo Guandu	0	129,62	357,06	139,05	287,57

Continua ...

Tabela 5 - Continuação

Barra de São Francisco	104,63	421,53	119,75	290,11	0
Boa Esperança	0	9,29	0,44	416,98	0
Bom Jesus do Norte	3,29	48,17	3,37	34,38	0
Brejetuba	0	89,78	243,51	8,11	0
Cachoeiro de Itapemirim	122,1	89,53	531,65	134,03	0
Cariacica	39,43	53,66	182,27	0	0
Castelo	129,96	223,31	315,71	0	0
Colatina	0,06	231,07	134,84	1003,75	56,31
Conceição da Barra	0	0	133,99	1037,99	0
Conceição do Castelo	26,57	172,79	165,47	0	0
Divino de São Lourenço	0	75,84	99,96	0	0
Domingos Martins	34,13	431,60	760,54	0	0
Dores do Rio Preto	0	35,18	116,40	0	0
Ecoporanga	821,07	935,67	323,53	193,14	0
Fundão	26,58	19,14	229,85	0	0
Governador Lindemberg	0	108,61	16,84	234,41	0
Guaçuí	0,02	393,23	74,77	0	0
Guarapari	107,35	103,04	303,46	75,68	0
Ibatiba	0	119,25	119,70	0	0
Ibiraçu	54,11	43,90	102,34	0	0
Ibitirama	0	110,54	219,39	0	0
Iconha	58,31	85,44	58,86	0	0
Irupi	0	93,96	90,33	0	0
Itaguaçu	0	180,82	85,12	219,72	45,30

Municípios	Área de Aptidão (km²)				
	Plena (100 %)	Boa (75 %)	Regular (50 %)	Restrita (25 %)	Inapta (0 %)
Itapemirim	1,72	0,61	36,14	501,31	17,18
Itarana	8,81	147,15	103,69	39,54	0
Iúna	0	236,35	222,46	0	0
Jaguaré	0	0	640,21	16,17	0
Jerônimo Monteiro	38,52	30,60	93,18	0	0
João Neiva	78,26	36,87	120,76	37,05	0
Laranja da Terra	0	306,89	105,6	43,85	0
Linhares	3,06	116,90	3042,19	321,53	0
Mantenópolis	25,37	228,05	63,08	0,05	0
Marataízes	0	0	0	93,36	37,95
Marechal Floriano	0	189,69	94,53	0	0
Marilândia	0	77,62	12,56	215,69	0
Mimoso do Sul	119,03	252,72	137,85	357,41	0

Continua ...

Tabela 5 - Continuação

Montanha	0	23,55	0,07	1071,83	0
Mucurici	0	390,05	0	147,27	0
Muniz Freire	54,94	369,66	255,18	0	0
Muqui	155,42	148,67	21,09	2,29	0
Nova Venécia	37,71	167,55	77,76	1164,67	0
Pancas	25,83	296,74	208,37	290,21	0
Pedro Canário	0	0	0	430,45	0
Pinheiros	0	23,37	0	953,49	0
Piúma	0	0,03	29,72	43,72	0
Ponto Belo	58,78	106,68	70,84	120,41	0
Municípios	Área de Aptidão (km²)				
	Plena (100 %)	Boa (75 %)	Regular (50 %)	Restrita (25 %)	Inapta (0 %)
Presidente Kennedy	0,84	0	25,29	559,42	0
Rio Bananal	1,63	68,49	142,89	431,12	0
Rio Novo do Sul	35,34	62,59	98,67	7,19	0
Santa Leopoldina	115,38	335,26	265,04	0	0
Santa Maria de Jetibá	2,04	250,31	483,62	0	0
Santa Teresa	78,34	377,42	186,17	52,05	0
São Domingos do Norte	0	71,53	0,81	227,45	0
São Gabriel da Palha	0	71,86	0,49	362,48	0
São José do Calçado	96,98	155,01	20,19	0,06	0
São Mateus	0	19,24	1251,34	1066,87	0
São Roque do Canaã	0,49	105,56	58,06	178,29	0
Serra	11,65	4,39	530,73	0	0
Sooretama	0,01	0	514,23	78,45	0
Vargem Alta	43,13	177,69	193,99	0	0
Venda Nova do Imigrante	0	53,47	134,92	0	0
Viana	56,79	41,11	214,29	0	0
Vila Pavão	0	121,09	2,26	309,00	0
Vila Valério	0	39,34	1,34	421,96	0
Vila Velha	0,03	0	173,05	35,07	0
Vitória	0,81	0	71,94	0	0

O zoneamento a partir da nova proposta metodológica encontra-se na Figura 3.

4 CONCLUSÕES

O estado do Espírito Santo possui áreas plenas (100%), boas (75%), regulares (50%), restritas (25%) e totalmente inaptas ao cultivo do café conilon, representando, respectivamente, 6,92%; 24,47%; 37,40% e 0,97% do território.

A metodologia adotada de reclassificação espacial em classes de porcentagens mostrou-se eficiente.

5 REFERÊNCIAS

ALMADA, V. P. F. de. **Escravismo e transição:** o Espírito Santo, 1850-1888. Rio de Janeiro: Graal, 1984.

ASSAD, E. D. **Climate change and coffee production:** vulnerabilit end possible adaptation. Disponível em:<http://dev.ico.org/event_pdfs/:wcc2OlO/presentations/wcc2OlO-assad-e.pdf>. Acesso em: 15 set. 2010.

BRAGANÇA, R. **Avaliação de incrementos de temperatura no zoneamento agroclimatológico para a cultura do café no Estado do Espírito Santo**. 2012. 115 p. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) - Universidade Estadual Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, 2012.

BRASIL. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. **Portaria nº 79**, de 28 de fevereiro de 2011. Aprova o Zoneamento Agrícola para a cultura de café no Estado do Espírito Santo. Brasília, 2011. Disponível em: <http://sistemasweb.agricultura.gov.br/sislegis/action/detalhaAto.

INFLUÊNCIA DA PRECIPITAÇÃO PLUVIAL NA ABUNDÂNCIA DE ÁCAROS EM CAFEEIRO

Fernanda Aparecida Abreu[1], Paulo Rebelles Reis[2], Patrícia de Pádua Marafeli[3], Rogério Antônio Silva[4], Leopoldo Ferreira de Oliveira Bernardi[5], César Freire Carvalho[6]

(Recebido: 2 de julho de 2013; aceito: 11 de março de 2014)

RESUMO: O cafeeiro *Coffea* spp. sofre ataque de pragas que, conforme as condições climáticas presentes no sistema de cultivo, podem reduzir a produção de frutos. A precipitação pluvial é um fator importante na regulação das populações de artrópodes. Avaliaram-se os efeitos da precipitação pluvial sobre a ocorrência das principais espécies de ácaros no cafeeiro, durante as épocas do ano. O experimento foi conduzido na Fazenda Experimental da EPAMIG- Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais, em São Sebastião do Paraíso, MG, de janeiro de 2011 a junho de 2012. A área útil do experimento foi de 8.820 m^2 com um total de 3.150 cafeeiros, sendo a parte útil do talhão constituída de 2.100 plantas, onde mensalmente foram coletadas aleatoriamente 25 folhas do terço médio em 84 plantas, totalizando 2.100 folhas. Entre os ácaros-praga *Brevipalpus phoenicis* (Geijskes, 1939) (Tenuipalpidae) foi encontrado em maior número, tanto na seca como no período chuvoso. *Oligonychus ilicis* (McGregor, 1917) (Tetranychidae) foi encontrado em maior número nos meses de menor precipitação pluvial. A precipitação pluvial também influencia na ocorrência de ácaros predadores, pertencentes à família Phytoseiidae, entretanto, a espécie *Euseius citrifolius* Denmark & Muma, 1970 (Phytoseiidae), é encontrada ao longo de todo ano.

Termos para indexação: Acarologia agrícola, chuva, flutuação populacional, *Coffea arabica.*

INFLUENCE OF RAINFALL ON ABUNDANCE OF MITES IN COFFEE PLANTS

ABSTRACT: *The coffee plant Coffea spp. suffers pest attack, which according to climatic conditions present in the culture system can reduce fruit production. Rainfall is considered an important natural factor in the regulation of arthropods populations. The objective of this study was to evaluate the effects of rainfall during the seasons, on the occurrence of the main species of mites in coffee. The experiment was carried out at the EPAMIG farm in São Sebastião do Paraíso, MG, from January 2011 to June 2012. The useful area of the experiment was 8,820 m² with a total of 3,150 trees, and the useful part of the plot consisting of 2,100 plants, where were monthly collected at random 25 leaves from the middle third in 84 plants, totaling 2.100 leaves. Among the pest mites, the phytophagous mite Brevipalpus phoenicis (Geijskes, 1939) (Tenuipalpidae) was found in greater number on both dry and rainy seasons. The mite Oligonychus ilicis (McGregor, 1917) (Tetranychidae) was found at a higher incidence on the months of low rainfall. Rainfall also influences the occurrence of predatory mites belonging to the family Phytoseiidae, however, the species Euseius citrifolius Denmark & Muma, 1970 (Phytoseiidae), is found throughout the year.*

Index terms: *Agricultural acarology, rainfall, population fluctuation, Coffea arabica.*

1 INTRODUÇÃO

Diversas espécies de insetos e ácaros atacam o cafeeiro *Coffea* spp., as quais são consideradas um dos fatores responsáveis pela redução da sua produtividade (HILLOCKS; PHIRI; OVERFIELD, 1999). Dentre as espécies de ácaros-praga, podem ser citadas as espécies *Oligonychus ilicis* (McGregor, 1917) (Acari: Tetranychidae), conhecido como ácaro-vermelho, *Brevipalpus phoenicis* (Geijskes, 1939) (Acari: Tenuipalpidae), conhecido como ácaro da mancha-anular e *Polyphagotarsonemus latus* (Banks, 1904) (Acari: Tarsonemidae) conhecido como ácaro-branco (REIS et al., 2000a). Esses ácaros são capazes de causar dano à produção do cafeeiro, sendo necessária a intervenção direta, com o uso de agroquímicos capazes de controlar ou exterminar suas populações. No entanto, a utilização desses produtos pode levar a uma série de problemas, como o desenvolvimento da resistência de ácaros-praga, e secundariamente podem causar a eliminação dos inimigos naturais presentes na cultura e o favorecimento da ressurgência de pragas (OMOTO; ALVES; RIBEIRO, 2000; VRIE; MCMURTRY; HUFFAKER, 1972). Entretanto, naturalmente essas espécies praga podem ser controladas por agentes biológicos presentes no meio, como ácaros predadores principalmente os pertencentes à família Phytoseiidae, que, quando abundantes na cultura, podem manter a população de ácaros fitófagos em níveis que não causam prejuízos econômicos (SATO, 2005).

[1,3,6]Universidade Federal de Lavras/UFLA - Departamento de Entomologia/DEN - Cx. P. 3037 - 37200-000 fernanda_abreu85@yahoo.com.br - paduamara@yahoo.com.br - cfcarvalho@den.ufla.br
[2,4]Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais - EPAMIG/EcoCentro - Cx. P. 176 37200-000 - Lavras-MG paulo.rebelles@epamig.ufla.br - rogeriosilva@epamig.ufla.br
[5]Universidade Federal de Lavras/UFLA - Departamento de Biologia/DBI - Setor de Ecologia Aplicada - Cx. P. 3037 - 37200-000 leopoldobernardi@yahoo.com.br

Além disso, fatores abióticos como precipitação podem reduzir, por meio de ação mecânica, as populações de pragas importantes em várias culturas (DEMITI; FERES, 2007; FRANCO et al., 2008; SILVA et al., 2006; SOUZA; CARVALHO, 2002). Para que se possa entender melhor, como fatores físicos podem atuar sobre a acarofauna, objetivou-se, neste trabalho, avaliar a influência da precipitação pluvial na abundância de ácaros associados ao cafeeiro.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na Fazenda Experimental da EPAMIG- Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais, em São Sebastião do Paraíso, MG, de janeiro de 2011 a junho de 2012, em cafezal com seis anos de idade, da espécie *Coffea arabica* L., cultivar Paraíso, disposta em espaçamento de 4,00 x 0,70 m. A cultura foi conduzida em sistema convencional, com adubação de correção dos nutrientes, não sendo utilizado nenhum tipo de produto químico para o controle de pragas.

A área total do experimento foi de 8.820 m^2 com um total de 3.150 plantas. Nesse sistema, foram separadas parcelas constituídas por quatro linhas (50 plantas/linha), onde a área útil foi composta por duas linhas centrais com 40 plantas/linha. Em cada uma das linhas centrais foram coletadas mensalmente 25 folhas da região mediana do cafeeiro, totalizando 2.000 folhas. As folhas foram acondicionadas em sacos plásticos, de 5 litros e levadas para o laboratório. Para a extração dos ácaros foi utilizado o método de lavagem (SPONGOSKI; REIS; ZACARIAS, 2005). Cada amostra recebeu 1 litro de água mais gotas de detergente e foram agitadas por, aproximadamente, 15 segundos. O líquido resultante foi passado em peneira granulométrica de 325 *mesh*, retendo assim os ácaros que estavam presentes nas folhas. Um processo de enxague, utilizando somente água, foi reallizado para a remoção completa dos espécimes restantes. Os ácaros retidos na peneira foram transferidos para potes de acrílicos de 30 mL, contendo álcool 70% e gotas de glicerina para conservação dos espécimes até a montagem em lâminas de microscopia, para identificação específica.

Com o auxilio de um estereomicroscópio, os ácaros encontrados foram separados e montados em lâminas de microscopia, em meio de Hoyer (KRANTZ; WALTER, 2009). Durante sete dias, as lâminas permaneceram em estufas a 45°C para clarificação dos espécimes e secagem das preparações. Posteriormente, foi feita a lutagem das lâminas com verniz acrílico, e com o auxílio de microscópio com contraste de fase (Leica DMLS) e de chaves taxonômicas, procedeu-se à identificação dos ácaros. Todos os espécimes imaturos e aqueles que apresentavam estruturas morfológicas muito danificadas foram identificados somente até o nível de família.

Os dados de precipitação pluviométrica foram coletados, de janeiro/2011 a junho/2012, na estação meteorológica da Fazenda Experimental da EPAMIG, em São Sebastião do Paraíso localizada a 100 m da área do experimento.

Para a análise estatística foram correlacionados os dados de precipitação pluviométrica total encontrada, para cada um dos meses do ano no qual foi realizada a coleta, com a abundância total dos ácaros. Além disso, foi feita análise de correlação entre precipitação e abundância de ácaros fitófagos e predadores. A análise estatística utilizada foi a Correlação de Sperman, sendo conduzido no software livre BioEstat 5.3 (AYRES et al., 2007).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Durante a condução do experimento foram registrados dois períodos em que houve escassez de chuvas (período seco) e dois períodos onde a precipitação foi elevada (período chuvoso). Os menores valores de precipitação pluvial foram observados entre maio e setembro de 2011, em que os valores máximos não ultrapassaram 26 mm. Já nos meses de janeiro de 2011 e janeiro de 2012 foram registrados os ápices da estação chuvosa, com 356,9 mm e 338 mm, respectivamente (Figura 1).

Foi registrado um total de 12 espécies de ácaros, distribuídos em 8 famílias durante o período estudado. Dentre os ácaros fitófagos, que apresentam importância agrícola, foram coletados 533 exemplares de ácaros das famílias Tenuipalpidae, Tetranychidae, Tarsonemidae e Eriophyidae. Quanto aos ácaros predadores, foram encontrados representantes das famílias Phytoseiidae, Ascidae, Stigmaeidae e Tydeidae, totalizando 482 ácaros. Além dos grupos de espécies considerados de importância agrícola, também foram observados espécimes de Acaridae, Winterschmiditiidae, Tarsonemidae, Tydeidae, Oribatida que a princípio, não exercem influência direta na produção do cafeeiro (REIS; ZACARIAS, 2007).

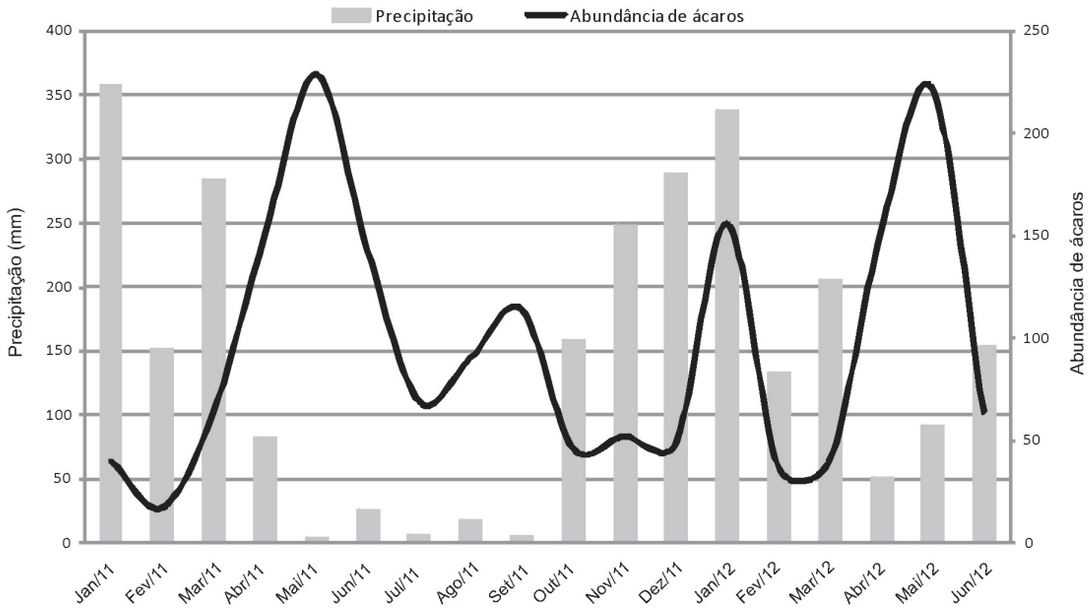

FIGURA 1 - Distribuição da abundância dos ácaros (fitófagos e predadores) em cafeeiro, em função da precipitação pluvial total mensal. São Sebastião do Paraíso, MG, janeiro de 2011 a junho de 2012.

Quando considerado o total de ácaros, observou-se uma relação negativa entre a sua população e os níveis de precipitação pluvial, ou seja, a chuva aumenta e mantém baixa a abundância populacional total de ácaros (Tabela 1).

Quando analisado separadamente, observou-se que ocorreu maior influência da precipitação sobre a população de ácaros da família Tetranychidae (Tabela 2). Algumas espécies de ácaros dessa família tendem a ser mais afetadas pelas chuvas por realizarem todo o seu ciclo de vida, como oviposição e alimentação, preferencialmente na porção adaxial ou superfície superior das folhas. As maiores infestações de ácaro-vermelho ocorrem nas épocas secas e em tempos de grande estiagem, já que a chuva elimina facilmente esses artrópodes por ação mecânica (REIS, 2002). Feres et al. (2003), Franco et al. (2008) e Pallini Filho, Moraes e Bueno (1992), também já relataram que o período de queda da população desse ácaro ocorreu no período de maior precipitação. Além do cafeeiro, em outras culturas agrícolas como o citros (*Citrus reticulata* Blanco), também foram observados resultados semelhantes. Outros ácaros pertencentes também à família Tetranychidae, da espécie *Tetranychus urticae* Koch, 1836, tiveram um aumento no tamanho populacional relacionado com uma menor precipitação (PASCUAL; FERRAGUT, 2003).

A precipitação pluvial pode exercer uma influência negativa nas populações de ácaros predadores. Segundo Pedro Neto et al. (2010), foi observado que a chuva influenciou o número de ácaros predadores fitoseídeos e os fitófagos, independentemente do sistema de produção do cafeeiro. Neste estudo também foi constatada correlação negativa significativa entre a abundância total de ácaros da família Phytoseiidae e a precipitação pluvial.

Além da ação mecânica das chuvas, os baixos números nas populações de Tetranychidae e outras presas potenciais, podem ser os fatores que contribuíram para a oscilação na abundância de ácaros predadores da família Phytoseiidae. Os dados aqui observados se assemelham àqueles encontrados por Reis et al. (2000a) em citros (*Citrus sinensis* Osbeck), no município de Lavras, onde observaram diminuição do número de ácaros predadores pertencentes à família Phytoseiidae, nos períodos chuvosos.

Pallini Filho, Moraes e Bueno (1992), em estudo com o cafeeiro no município de Machado, Sul de Minas, encontraram maior número de Phytoseiidae, em época de pouca chuva, coincidindo com o período de maior ocorrência de *O. ilicis* nessa cultura, resultado semelhante também encontrado neste trabalho.

TABELA 1 - Correlação entre a precipitação pluviométrica e a abundância de ácaros no período de janeiro de 2011 a junho de 2012. São Sebastião do Paraiso, MG.

	Tetranychidae	Phytoseiidae	*P. latus*	Tenuipalpidae	Abundância total
Rs	- 0,721	- 0,508	- 0,308	- 0,034	-0.519
T	- 4,056	- 2,359	- 1,297	- 0,136	-2.429
P	< 0,001*	0,031*	0,212	0,893	0.027*

*valores apresentam significância quando p < 0.05
rs= Coeficiente de Spearman

TABELA 2 - Famílias, espécies e número de ácaros fitófagos coletados em cafeeiro (*Coffea arabica*) em relação à estação chuvosa e seca do ano. São Sebastião do Paraíso, MG, período de janeiro de 2011 a junho de 2012.

Família	Espécie	Período do ano	
		Chuvoso[1]	Seco[2]
Tenuipalpidae	*Brevipalpus phoenicis*	149	127
	Brevipalpus californicus	2	0
	Brevipalpus obovatus	14	7
Tetranychidae	*Tetranychus* sp.	1	0
	Não identificado	7	3
	Imaturo	4	12
	Oligonychus ilicis	17	65
	Eutetranychus sp.	0	1
Tarsonemidae	Não identificado	8	3
	Tarsonemus bilobatus	14	32
	Polyphagotarsonemus latus	13	28
	Tarsonemus confusus	15	3
	Hemitarsonemus sp.	0	1
Eriophyidae	Não identificado	2	5
Total		246	287

[1] Número de ácaros coletados no período de janeiro-abril de 2011 e outubro de 2011- abril de 2012. [2] Número de ácaros coletados no período de maio-setembro de 2011 e maio-junho de 2012.

Os resultados aqui obtidos também se assemelham aos encontrados por Gouvea et al. (2006) que relatam que o período mais favorável ao desenvolvimento de ácaros Phytoseiidae, em plantas de erva-mate (*Ilex paraguariensis* A. St. Hill.) (Aquifoliaceae), está relacionado com a elevada população do ácaro fitófago *Dichopelmus notus* Keifer (Acari: Eriophyidae) e com menor precipitação pluvial.

Outros ácaros predadores, tais como Ascidae, *Pronematalus* sp., *Pronematus* sp., *Parapronematus* sp. (Tydeidae) e Stigmaeidae também tiveram suas abundâncias totais influenciadas pela chuva, apresentando menores abundâncias totais nos meses chuvosos.

Esse resultado se assemelha aos relatados por Spongoski, Reis e Zacarias (2005), em Minas Gerais e Mineiro e Sato (2008), em São Paulo.

Apesar da grande parte dos grupos de ácaros encontrados no presente estudo terem respondido negativamente ao aumento da precipitação pluvial, para algumas espécies de ácaros fitófagos considerados de importância agrícola, como os Tenuipalpidae e a espécie *P. latus* (Tarsonemidae), não foi encontrada essa relação.

Os ácaros pertencentes à família Tenuipalpidae foram encontrandos em abundância nos meses de maior precipitação pluvial, entre janeiro e fevereiro dos dois anos estudados, com uma exceção para o mês de julho de 2011, que foi um mês seco (Tabela 2).

Dentre as espécies da família Tenuipalpidae, uma espécie de grande importância para o cafeeiro é o ácaro fitófago *B. phoenicis* que ocorreu em grande abundância durante as coletas, sendo relatado em todas as épocas do ano. O alto número de ácaros encontrado no período de maior precipitação pluvial pode ter ocorrido devido a esses ácaros viverem preferencialmente na superfície abaxial das folhas, diminuindo com isso o efeito mecânico da chuva sobre eles. Mineiro, Sato e Arthur (2008) e Reis et al. (2000b) encontraram resultados diferentes, relatando menor número de *B. phoenicis* nos períodos com maior precipitação pluvial, entre os meses de outubro a março em cafeeiro e isso pode ter ocorrido devido às condições da lavoura serem diferentes das deste trabalho. Oliveira (1986) e Silva, Sato e Oliveira (2012) relataram que esse ácaro apresenta maiores incidências em períodos mais secos do ano em citros (*Citrus* spp.), indicando maior influência das chuvas sobre a redução populacional de *B. phoenicis* em citros que em cafeeiro.

O ácaro *P. latus,* pertencente à família Tarsonemidae, apresentou uma baixa abundância ao longo do tempo, não havendo uma correlação com a chuva, mostrando que para aquelas condições não foi uma praga com potencial para causar dano à produção (Tabela 1 e 2). Estudos realizados por Vieira et al. (2004), em cultivo de mamoeiro (*Carica papaya* L.) (Caricaceae), mostram uma correlação positiva, onde o aumento da precipitação causou uma redução na população do ácaro-branco.

Em todos os meses do ano em que foram feitas coletas no cafeeiro a família Phytoseiidae foi mais abundante que a Tetranychidae. Já à família Tenuipalpidae foi a mais abundante na maioria dos meses de coleta (treze meses). A maior abundância de Phytoseiidae em relação aos ácaros fitófagos é um fator positivo para o cultivo do cafeeiro, já que esses ácaros predadores podem vir a auxiliar no controle de ácaros-praga em cafeeiro. Segundo Franco et al. (2008) várias espécies de ácaros predadores pertencentes à família Phytoseiidae podem ser encontradas no cafeeiro, mantendo os ácaros fitófagos em baixa população e consequentemente diminuindo os prejuízos à cultura.

Os maiores picos de ocorrência de ácaros foram observados nos meses de menores precipitações pluviais, indicando que a chuva pode ter causado um choque mecânico sobre os ácaros que se encontravam sobre as folhas do cafeeiro (Tabela 3).

TABELA 3 - Famílias, espécies e número de ácaros predadores coletados em cafeeiro em relação ao período chuvoso e seco do ano. São Sebastião do Paraíso, MG, período de janeiro de 2011 a junho de 2012.

Família	Espécie	Período do ano	
		Chuvoso[1]	Seco[2]
Phytoseiidae	*Euseius citrifolius*	101	90
	Imaturo	56	65
	Não identificado	47	34
Ascidae	Não identificado	23	3
Tydeidae	*Pronematulus* sp.	7	9
	Pronematus sp.	6	1
	Parapronematus sp.	4	5
Phytoseiidae	*Iphiseiodes zuluagai*	2	1
	Neoseiulus affs. Mumai	2	0
	Amblyseius herbicolus	2	12
	Euseius concordis	1	7
	Neoseiulus mumai	1	0
	Amblyseiinae	1	0
	Typhlodromips sp.	1	0
Stigmaeidae	Não identificado	1	0
Total		255	227

[1] Número de ácaros coletados no período de janeiro-abril de 2011 e outubro de 2011- abril de 2012. [2] Número de ácaros coletados no período de maio-setembro de 2011 e maio-junho de 2012.

4 CONCLUSÕES

A chuva não influenciou a abundância de ácaros da espécie *B. phoenicis* (Tenuipalpidae) no cafeeiro, pois esses ácaros permanecem na superfície abaxial da folha minimizando, portanto, o efeito mecânico de remoção causado por esse fator ambiental. Já aqueles ácaros com hábito de viverem na superfície adaxial das folhas, principalmente *O. ilicis*, sofrem uma maior ação mecânica da chuva, resultando na remoção desses ácaros e consequente diminuição de suas abundâncias no período chuvoso. Entretanto, independente do período do ano, os Phytoseiidae estão sempre presentes, o que deve estar auxiliando no controle natural de ácaros-praga em cafeeiro.

5 AGRADECIMENTOS

Ao CBP&D-Café, pelo financiamento da pesquisa. Abreu FA contou com bolsa de estudos concedida pela FAPEMIG. Bernardi LFO é bolsista da CAPES e tem auxilio para desenvolvimento de estudos no exterior (PDSE 1202-12-0). Marafeli PP é bolsista CAPES. Reis PR é pesquisador bolsista do CNPq. Silva RA é pesquisador bolsista da Fapemig.

6 REFERÊNCIAS

AYRES, M. et al. BIOESTAT: aplicações estatísticas nas áreas das ciências bio-médicas. Belém: Ong Mamiraua, 2007.

DEMITE, P. R.; FERES, R. J. F. Ocorrência e flutuação populacional de ácaros associados a seringais vizinhos de fragmentos de cerrado. Neotropical Entomology, Londrina, v. 36, n. 1, p. 117-127, 2007.

FERES, R. J. F.; BELLINI, M. R.; ROSSA-FERES, D. C. Ocorrência e diversidade de ácaros (Acari, Arachnida) associados a *Tabebuia roseo-alba* (Ridl.) Sand (Bignoniaceae), no município de São José do Rio Preto, São Paulo, Brasil. Revista Brasileira de Zoologia, Viçosa, v. 20, n. 3, p. 373-378, 2003.

FRANCO, R. A. et al. Dinâmica populacional de *Oligonychus ilicis* (McGregor, 1917) (Acari: Tetranychidae) em cafeeiro e de fitoseídeos associados a ele. Coffee Science, Lavras, v. 3, n. 1, p. 38-46, 2008.

GOUVEA, A. de et al. Dinâmica populacional de ácaros (Acari) em erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.: Aquifoliaceae). Neotropical Entomology, Londrina, v. 35, n. 1, p. 101-111, 2006.

HILLOCKS, R. J.; PHIRI, N. A.; OVERFIELD, D. Coffee pest and disease management options for smallholders in Malawi. Crop Protection, Guildford, v. 18, p. 199-206, 1999.

KRANTZ, G. W.; WALTER, D. E. A manual of acarology. 3rd ed. Lubbock: Texas Tech University, 2009. 807 p.

MINEIRO, J. L. C.; SATO, M. E. Ácaros plantícolas e edáficos em agroecossistema cafeeiro. Biológico, São Paulo, v. 70, n. 1, p. 25-28, jan./jun. 2008.

MINEIRO, J. L. C.; SATO, E. S.; ARTHUR, V. Population dynamics of phytophagous and predaceous mites on coffee in Brazil, with emphasis on *Brevipalpus phoenicis* (Acari: Tenuipalpidae). Experimental and Applied Acarology, Amsterdam, v. 44, p. 277-291, 2008.

OLIVEIRA, C. A. L. Flutuação populacional e medidas de controle do ácaro *Brevipalpus phoenicis* em citros. Laranja, Cordeirópolis, v. 6, p. 1-32, 1986.

OMOTO, C.; ALVES, E. B.; RIBEIRO, P. C. Detecção e monitoramento da resistência de *Brevipalpus phoenicis* (Geijskes) (Acari: Tenuipalpidae) ao dicofol. Anais da Sociedade Entomológica do Brasil, Londrina, v. 29, n. 4, p. 757-764, 2000.

PALLINI FILHO, A.; MORAES, G. J.; BUENO, V. H. P. Ácaros associados a cafeeiro (*Coffea arabica* L.) no sul de Minas Gerais. Ciência e Prática, Lavras, v. 16, n. 3, p. 303-307, 1992.

PASCUAL, A.; FERRAGUT, F. Influence of climatic conditions on population dynamics of Tetranychus urticae and *Euseius stipulatus* (Acari: Tetranychidae, Phytoseiidae) on clementines (*Citrus reticulata*). Bulletin OILB/SROP, Valencia, v. 26, n. 6, p. 211, 2003.

PEDRO NETO, M. et al. Influência do regime pluviométrico na distribuição de ácaros em cafeeiro conduzidos em sistemas orgânico e convencional. Coffee Science, Lavras, v. 5, n. 1, p. 67-74, 2010.

REIS, P. R. *Brevipalpus phoenicis*, ácaro vetor da mancha-anular em cafeeiro: bioecologia, dano e controle. In: Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil, 2002, Brasília. Anais... Brasília: Embrapa Café, 2002. p. 257-280.

REIS, P. R. et al. Ácaros da família Phytoseiidae associados aos citros no município de Lavras, Sul de Minas Gerais. Anais da Sociedade Entomológica do Brasil, Londrina, v. 29, n. 1, p. 95-105, 2000a.

_____. Distribuição espacial do ácaro *Brevipalpus phoenicis* (Geijskes) (Acari: Tenuipalpidae) em cafeeiro (Coffea arabica L.). Anais da Sociedade Entomológica do Brasil, Londrina, v. 29, p. 77-183, 2000b.

REIS, P. R.; ZACARIAS, M. S. Ácaros em cafeeiro. Belo Horizonte: EPAMIG, 2007. 76 p. (Boletim Técnico, 81).

SATO, M. E. Perspectivas do uso de ácaros predadores no controle biológico de ácaros-praga na citricultura. Laranja, Cordeirópolis, v. 26, n. 2, p. 291-305, 2005.

SILVA, M. Z.; SATO, M. E.; OLIVEIRA, C. A. L. Diversidade e dinâmica populacional de ácaros em pomar cítrico. Bragantia, Campinas, v. 71, n. 2, p. 1-9, 2012.

SILVA, R. A. et al. Flutuação populacional de adultos de *Chrysoperla externa* (Hagen, 1861) (Neuroptera: Chrysopidae) em cafeeiros conduzidos em sistema orgânico e convencional. Manejo Integrado de Plagas y Agroecología, San José, n. 77, p. 44-49, 2006.

SOUZA, B.; CARVALHO, C. F. Population dynamics and seasonal occurrence of adults of *Chrysoperla externa* (Hagen, 1861) (Neuroptera: Chrysopidae) in a citrus orchard in southern Brazil. Acta Zoologica Academia e Scientiarum Hungaricae, Budapest, v. 2, n. 2, p. 301-310, 2002.

SPONGOSKI, S.; REIS, P. R.; ZACARIAS, M. S. Acarofauna da cafeicultura de cerrado em Patrocínio, Minas Gerais. Ciência e Agrotecnologia, Lavras, v. 29, n. 1, p. 9-17, 2005.

VIEIRA, M. R. et al. Efeito do cultivo do mamoeiro (*Carica papaya* L.) em ambiente protegido sobre a ocorrência de ácaros fitófagos e moscas-branca. Revista Brasileira Fruticultura, Jaboticabal, v. 26, n. 3, p. 441-445, dez. 2004.

VRIE, M. van de; McMURTRY, J. A.; HUFFAKER, C. B. Ecology of tetranychid mites and their natural enemies: a review III., biology, ecology, and pest status, and host-plant relations of tetranychids. Hilgardia, Berkeley, v. 41, p. 387-403, 1972.

ADUBAÇÃO NITROGENADA EM CAFEEIROS COM BIOMASSA DE FEIJÃO-DE-PORCO

João Batista Silva Araujo[1], Luisa Bastos Rodrigues[2], Mateus Cupertino Rodrigues[3], Hermínia Emilia Prieto Martinez[4], Ricardo Henrique Silva Santos[5]

(Recebido: 2 de julho de 2013; aceito: 26 de setembro de 2013)

RESUMO: Objetivou-se, neste trabalho, avaliar o crescimento, a produção do cafeeiro e a transferência de N da leguminosa para a cultura, sem a interferência do consórcio. Cultivaram-se cafeeiros em vasos, adubados com parte aérea de feijão-de-porco, enriquecido com ^{15}N em casa de vegetação, nas doses de 146 e 584 g planta^{-1}, complementados com 30% de adubação mineral. O feijão-de-porco promoveu aumentos da produtividade do cafeeiro, dos teores de Ca^{2+}, soma de bases, CTC efetiva e matéria orgânica do solo. Os teores foliares de N derivado do feijão-de-porco, cinco meses após a adubação, foram de 4,68% e 18,65% nas doses respectivas de 146 e 584 g planta^{-1}. O percentual foliar, de N derivado do feijão-de-porco, nos cafeeiros é proporcional à dose fornecida.

Termos para indexação: *Canavalia ensiformis* (L.) DC., adubação verde, ^{15}N, altura e diâmetro de copa.

NITROGEN FERTILIZATION OF COFFEE TREE WITH JACK-BEAN BIOMASS

ABSTRACT: *The aim of this study was to evaluate the growth and production of coffee tree and transfer of N from biomass legumes to coffee tree cropping without the interference of field consortium. Coffee trees were cultivated in pots, and after shoots of jack bean, enriched with ^{15}N into the pots in greenhouse, at doses of 146 and 584 g plant^{-1}, supplemented with 30% of mineral fertilizer. Jack-bean promotes increases coffee yield, the best index of soil quality (concentration of Ca^{2+}, sum of bases, effective CEC, soil organic matter). Foliar N content derived from jack-bean, five months after fertilization, were 4.68% and 18.65% at the respective doses of 146 and 584 g plant^{-1}. The percentage of N derived from jack bean in coffee leaves is proportional to the applied dose.*

Index terms: *Canavalia ensiformis (L.) DC., green manure, ^{15}N, plant height and canopy diameter.*

1 INTRODUÇÃO

As leguminosas propiciam a incorporação de nitrogênio, fixado biologicamente, nos agroecossistemas e, também, a reciclagem de nutrientes do solo. Normalmente, o cultivo é feito em consórcio com cafeeiros. Entretanto, os efeitos das leguminosas consorciadas sobre a produtividade de cafeeiros são discutíveis e, às vezes contraditórios, e dependentes da biodiversidade consorciada (cultivares de cafeeiros e espécies leguminosas). Bergo et al. (2006) observaram aumentos de produtividade do cafeeiro consorciado com *Flemingia congesta* e *Mucuna aterrima* e diminuição com guandu (*Cajanus cajan*) e feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis*); Paulo et al. (2006) observaram redução na produtividade com guandu, e produtividade igual à testemunha com *Crotalaria juncea, Crotalaria spectabilis*, mucuna-anã (*Mucuna deeringiana*) ou soja.

As leguminosas alteram os atributos do solo, promovendo aumentos dos teores de matéria orgânica, K, e CTC em solos de cafezais consorciados com guandu (PAULO et al., 2006). Promovem também o aumento dos teores foliares de N, em cafeeiros consorciados, com crotalária (RICCI et al., 2005) e quando se associa a adubação verde com adubação mineral nitrogenada (BERGO et al., 2006).

Alguns autores produziram a biomassa de leguminosas fora do consórcio visando a sua aplicação imediata em cafezais. A palhada do amendoim forrageiro (*Arachis pintoi*) promoveu aumentos em altura, diâmetro da copa, volume da copa e número de ramos plagiotrópicos do cafeeiro, em relação à adubação nitrogenada (FIDALSKI; CHAVES, 2010), enquanto a parte aérea de mucuna-preta contribuiu para o cafeeiro com aumentos da circunferência do caule, número de nós, diâmetro da copa e número de folhas (VILELA et al., 2011).

O principal aporte nutricional quantitativo das leguminosas é o N, o qual pode ser estudado através de técnicas isotópicas. Snoeck, Zapata e

[1]INCAPER - Rod. BR 262 - Km 95 - Venda Nova do Imigrante - ES - 29375-000 - jaraujo_vni@yahoo.com.br
[2,3] Universidade Federal de Viçosa - Av. P.H. Rolfs, s/nº - 36570-000 - Viçosa - MG - luisa.rodrigues@ufv.br, mateus.rodrigues@ufv.br
[4]Universidade Federal de Viçosa - Departamento de Fitotecnia - Av. P.H. Rolfs s/nº - 36570-000 - Viçosa-MG - herminia@ufv.br
[5] Universidade Federal de Viçosa - Departamento de Fitotecnia - Av. P.H. Rolf s/nº - 36570-000 – Viçosa-MG - rsantos@ufv.br

Domenach (2000) relatam, para a leucena, um teor de 52% N derivado da FBN e estimaram que 42,3% do N, nos tecidos de cafeeiros, foram derivados dessa leguminosa. Na cultura do milho, 23,4% a 16,5% de N foi derivado da parte aérea de crotalária suplementada com diferentes doses de uréia (SILVA et al., 2009a) e em folhas de videira, 14% e 20% de N foi derivado, respectivamente, de leguminosas precoces ou tardias (OVALLE et al., 2010).

As técnicas de diluição isotópica permitem aumentar a concentração de ^{15}N acima da abundância natural do ar. O isótopo ^{14}N possui uma abundância natural relativa de 99,634% de átomos, sendo o restante ^{15}N com uma abundância natural relativa de 0,3663%. Desse modo, é possível utilizar o ^{15}N como traçador isotópico, usando como estratégia de marcação o cultivo de adubos verdes, em ambiente controlado, visando à inibição da fixação biológica e absorção do ^{15}N-fertilizante para alcançar a marcação desejada (AMBROSANO et al., 2003). Para avaliação de cafeeiros adubados com fertilizantes marcados, do ponto de vista prático, o melhor é amostrar folhas da porção vegetativa do ramo em produção, tanto em relação à concentração de N, quanto ao enriquecimento com ^{15}N (FENILLI et al., 2007).

Considerando-se que o efeito das leguminosas cultivadas em consórcio pode acarretar problemas de competição com o cafeeiro e que as diversas variáveis do sistema devem ser estudadas para a compreensão do sistema produtivo é que se propôs o presente trabalho. Sendo assim, objetivou-se avaliar o teor de N derivado da leguminosa, o crescimento e a produção de cafeeiros adubados com biomassa da parte aérea de feijão-de-porco, e o efeito do fornecimento da leguminosa sobre características do solo.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Localização e descrição do experimento

O experimento foi conduzido na Universidade Federal de Viçosa, em Viçosa-MG, localizada a 20°45'14''S e 42°52'53'' W, a 650 m de altitude. O clima, segundo classificação de Koppen, é Cwa, mesotérmico úmido, com verões quentes e invernos secos. A temperatura máxima média e a temperatura mínima média são 26,1 e 14,0 ºC, respectivamente, e precipitação de 1.221 mm ano^{-1}.

Foram cultivadas 24 mudas *Coffea arabica* L. cv. Oeiras, em vasos de 60 L, plantadas em Mar/2009 e conduzidas até Jul/2011, com uma muda por vaso.

Oito vasos receberam adubação mineral (AM) exclusiva com doses de 100% (100-AM) e 30% (30-AM). Dezesseis vasos receberam a dose 30-AM mais biomassa da parte aérea de feijão-de-porco (FP) em cobertura, sendo oito com 146 g/vaso (FP-1) e oito com 584 g/vaso (FP-2), à base de matéria seca. A metade dos vasos recebeu FP enriquecido com ^{15}N em dez-2009 (^{15}N-FP1; Ano 1) e a outra metade em dez-2010 (15N-FP2; Ano 2). O delineamento experimental foi em blocos ao acaso, com quatro repetições. Os tratamentos e o N aportados constam na Figura 1 e Tabela 1. Os vasos foram preenchidos com substrato de subsolo (2/3) e areia (1/3), acrescidos de 63 g de P_2O_5 (75% de superfosfato simples e 25% de termofosfato magnesiano).

Adubações

A adubação do substrato foi realizada de acordo com Guimarães et al. (1999), baseadas em análise de rotina (Tabela 2). Coletou-se, anualmente, quatro amostras simples por vaso até 20 cm de profundidade, antes das adubações.

O tratamento 100-AM foi utilizado para os cálculos de adubação e calagem, (Tabela 2) e a adubação de produção foi calculada para uma produção de 180 g planta $^{-1}$ de café beneficiado, para uma população teórica de 6.667 pl ha^{-1}. O cálculo da necessidade de calagem foi realizado pelo método de neutralização do Al^{3+} e da elevação dos teores de Ca^{2+} e Mg^{2+}. Aplicou-se em ago/2009 21 g/vaso de calcário dolomítico mais 20 g/vaso de gesso, e em 2010, 54 g/vaso de calcário dolomítico, parcelado em set/10 e jan/11.

As adubações de pós-plantio, de 1º ano e de produção no tratamento 100-AM corresponderam a 15, 30 e 21 g/vaso de N via uréia, e 15, 30 e 31 g/vaso de K_2O via sulfato de potássio (Tabela 1), de outubro a fevereiro, divididas em oito parcelas para evitar risco de efeito salino. Aplicou-se 30 g planta^{-1} por ano de FTE BR 12® (Zn: 9%; B: 1,8%; Cu: 0,8%; Mn: 2%), no tratamento 100-AM e 30% deste no restante.

Produção de feijão-de-porco marcado (15N-FP) e comum (FP)

O ^{15}N-FP foi cultivado em casa de vegetação, em caixas de fibra de vidro de 500 L, preenchidas com 260 L de substrato e com área superior ao nível do substrato de 0,74 m^2. O substrato foi preparado com areia lavada e vermiculita na proporção 1:1, em volume/volume, adubado com 300 mg dm^{-3} de fósforo, na forma de super fosfato simples, 29

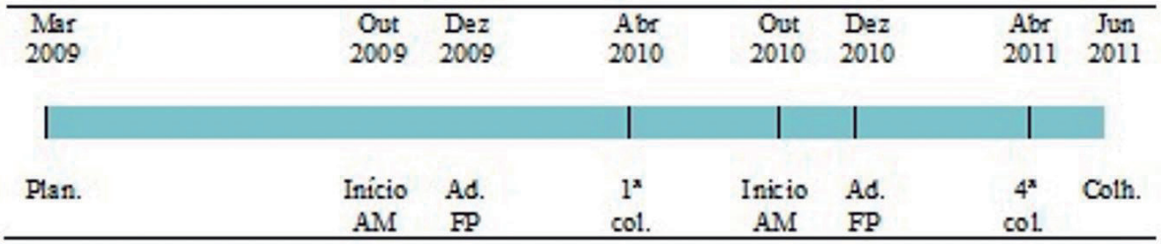

FIGURA 1 - Linha do tempo do plantio (Plan) até a 1ª colheita (Colh.), da 1ª a 4ª coleta foliar (col.), em cafeeiros com adubação mineral (AM) e feijão-de-porco (FP).

TABELA 1 - Adubação mineral (AM), doses de feijão-de-porco (FP) e nitrogênio aplicado por tratamento em dois anos consecutivos de cultivo de cafeeiros em vasos.

Tratamento	AM	FP	Ano 1	N	Ano 2	N
	(%)	(g)		(g planta^{-1})		(g planta^{-1})
1	100	----	100-AM	30,0	100-AM	21,0
2	30	----	30-AM	9,0	30-AM	6,3
3	30	146	30-AM + ^{15}N-FP1	11,8	30-AM + FP	10,7
4	30	584	30-AM + ^{15}N-FP1	24,8	30-AM + FP	24,0
5	30	146	30-AM + FP	11,8	30-AM + ^{15}N-FP2	10,7
6	30	584	30-AM + FP	24,8	30-AM + ^{15}N-FP2	24,0

[1]100% e 30% de adubação mineral (100%-AM e 30-AM); 146g de feijão-de-porco + 30-AM (FP-1); 584g de FP + 30-AM (FP-2).

TABELA 2 - Resultados da análise química do substrato, antes e depois do cultivo com cafeeiros, fertilizados com adubação mineral e feijão-de-porco.

Data	Trat[1]	pH	P	K	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Al^{3+}	H +Al	SB	(t)	(T)	V	MO
			-- mg dm^{3+} --		---------- cmol$_c$ dm^{3+} ----------							%	dag kg^{-1}
12/2008	Substrato[2]	5,80	2,8	18,0	0,30	0,80	0,00	1,49	1,15	1,15	2,64	44,0	-----
07/2009	100-AM	4,68	18,9	332,0	0,89	0,16	0,10	2,40	1,95	2,05	4,35	44,8	0,52
08/2010	100-AM	4,30	77,9	35,0	0,70	0,10	1,00	4,13	0,89	1,89	5,02	18,0	1,10
08/2010	30-AM	4,50	116,1	42,0	0,80	0,10	0,70	4,62	1,01	1,71	5,63	18,0	1,20
08/2010	FP-1	4,10	106,4	50,0	1,00	0,10	1,20	5,78	1,23	2,43	7,81	18,0	1,20
08/2010	FP-2	4,10	123,0	108,0	1,20	0,10	1,20	6,27	1,58	2,78	7,85	20,0	1,70

[1]100% e 30% de adubação mineral (100%-AM e 30-AM); 146g de feijão-de-porco + 30-AM (FP-1); 584g de FP + 30-AM (FP-2). [2]Análise do substrato sem adição dos adubos e corretivos.
pH em água, 1:2,5; P – K: extrator Mehlich 1; H+Al: Extrator acetato de Cálcio 0,5 mol/L – pH 7,0; matéria orgânica (MO) = C. Org. x 1,724 (Walkley-Black).

mg dm^{-3} de K, na forma de sulfato de potássio e 130 mg dm^{-3} de N, na forma de sulfato de amônio enriquecido com 2% de ^{15}N a.e. Os teores de Ca e Mg foram corrigidos para uma relação 3:1. A adubação com N e K foi parcelada aos 5, 12, 19, 25, 33, 37, 41 e 57 dias após a semeadura. Os micronutrientes foram aplicados via solução de Hoagland e Arnon (1950 apud MARTINEZ; CLEMENTE, 2011), na seguinte formulação: B = 46 µmol L^{-1}; Cu = 0,3 µmol L^{-1}; Fe + EDTA = 45 µmol L^{-1}; Mn = 12,6 µmol L^{-1}; Mo = 0,1 µmol L^{-1} e Zn = 1,3 µmol L^{-1} completando o volume para 1000 mL com água destilada, aplicando-se desta solução 0,5 mL dm^{-3} de substrato. As sementes foram imersas em hipoclorito a 1% por cinco minutos, depois em álcool 70% por um minuto, lavadas com água destilada e semeadas. A irrigação foi feita duas vezes por dia e controlada pelo volume de água drenado na base das caixas, com aumento da irrigação na ausência de água drenada e diminuição no caso contrário, retornando às caixas o volume drenado. O FP foi semeado no campo, em 01/09/2009 e 27/09/2010, sem aplicação de corretivos e adubos, após a inoculação com estirpe de *Bradyrhizobium* apropriada, no espaçamento de 0,5 x 0,2 m, com uma semente por cova. O FP e o ^{15}N-FP foram aplicados nos vasos em 01/12/2009 e 22/12/2010. Na colheita, o FP encontrava-se no início do florescimento.

Na colheita, quatro amostras de FP e ^{15}N-FP foram pesadas, secas em estufa a 65 ºC até biomassa constante, para a determinação de umidade.

As amostras foram trituradas em moinho Tipo Wiley e foi determinado o teor de N (método Kjeldahl). O FP apresentou 81,0% e 81,4% de umidade e 26,0 g kg^{-1} e 30,3 g kg^{-1} de N em dez/2009 e dez/2010, respectivamente. Quatro amostras de ^{15}N-FP foram pulverizadas em moinho de rolagem durante 24 horas e o enriquecimento de ^{15}N foi determinado em espectrômetro de massa Finnigan Mat, modelo Delta plus, do Laboratório de Nitrogênio da Embrapa Agrobiologia. O enriquecimento de ^{15}N do FP foi de 1,51% em 01/12/2009 e de 0,482% em 22/12/2010. Os teores de N no ^{15}N-FP foram de 17,2 g kg^{-1} e 23,4 g kg^{-1} nos dois anos seguidos e as doses foram ajustadas para fornecerem a mesma quantidade de N do FP.

Crescimento e colheita

Foi avaliada a altura total (ALT), o diâmetro de copa (DC), e o crescimento da parte superior dos cafeeiros, demarcando-se o segundo entrenó a partir do ápice da planta, medindo-se as variáveis de crescimento acima do entrenó demarcado. Mediu-se acima do entrenó demarcado: altura (ALTm); número de ramos plagiotrópicos (NRPm) e de nós do ramo ortotrópico (NNOm). No ramo plagiotrópico do entrenó demarcado avaliou-se: comprimento do ramo (CRPm), número de nós (NNPm), número de nós reprodutivos (NNrPm) e número de folhas (NFPm). Ao final do experimento foi feita a contagem de Ponteiros Mortos (PM) na planta inteira e na parte superior da copa (PMPm). A avaliação, a partir do entrenó demarcado, representou o crescimento líquido dos cafeeiros nos períodos de abr-nov/2010 e de nov/2010 a mai/2011.

A colheita do café foi realizada semanalmente nos meses de abril a junho de 2011, colhendo-se apenas os frutos maduros. Os frutos foram secos na condição ambiente até 12% de umidade, beneficiados e pesados.

Características do solo

Foram determinados o pH em água (relação 1:2,5); P e K (extrator Mehlich 1); Ca, Mg e Al (extrator KCl, 1 mol L^{-1}); H + Al (Extrator acetato de Cálcio 0,5 mol L^{-1} – pH 7,0); e matéria orgânica (MO = C. Org. x 1,724. Walkley-Black) de acordo com Silva et al. (2009b).

Teor foliar de N-total e NdFP

Foram coletadas amostras do 3° ou 4° par de folhas, a partir do ápice de ramos plagiotrópicos do terço médio dos cafeeiros, em abril, junho e nov/2010 e em abr/2011. As folhas foram lavadas em água deionizada, secas em estufa de circulação forçada de ar a 65 °C até atingir biomassa constante. As determinações dos teores de N-total e do enriquecimento de ^{15}N seguiram os mesmos procedimentos adotados para o feijão-de-porco. A estimativa da fração do N proveniente da parte aérea do feijão-de-porco (NdFP) foi obtida pela equação (WARENBOURG, 1992):

NdFP = (%^{15}N a.e. no cafeeiro / % ^{15}N a.e. feijão-de-porco) x 100 em que o %^{15}N a.e. no cafeeiro é o percentual de átomos em excesso de ^{15}N nas folhas do cafeeiro; e %^{15}N a.e. feijão-de-porco é o percentual de átomos em excesso de ^{15}N no feijão-de-porco.

Análises estatísticas

A avaliação do crescimento e produção do cafeeiro, das características físico-químicas do solo e dos teores de N foi feita nos tratamentos 1; 2; 3 e 4. Os dados foram submetidos à análise de variância e a comparação das médias foi feita pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. A avaliação dos percentuais de NdFP foi feita nos tratamentos 3; 4; 5 e 6, utilizando o esquema de parcelas subdivididas no tempo. Adotou-se o nível de 5% de probabilidade, em todas as análises.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Crescimento e produção

Aos 26 meses, houve efeito significativo dos tratamentos ($p<0,05$), sobre as variáveis ALT e NNOm. Os tratamentos FP-2 e 100-AM resultaram em maior altura que 30-AM (Tabela 3). O maior número de nós ortotrópicos, acima do ponto marcado, foi obtido com 100-AM, em relação a 30-AM e os tratamentos com FP resultaram em valores intermediários entre as doses de AM. Não houve diferenças entre os tratamentos sobre as variáveis de crescimento, nos ramos demarcados (Tabela 4).

Houve diferenças de produção de frutos cereja e grãos beneficiados ($p<0,05$). A menor produção de frutos cereja e de café beneficiado foi obtida com 100% de AM e a maior produção com 584 g/vaso de FP (Tabela 5). O tratamento 30-AM resultou em uma produção intermediária de 375,8 g planta^{-1} de café cereja e 20,12 g planta^{-1} de café beneficiado.

Observaram-se diferenças significativas entre os tratamentos, quanto aos teores de Ca^{2+}, SB, t e MO do solo ($p<0,05$). O tratamento FP-2 proporcionou maiores teores e 100-AM e FP-1 os menores, e o 30-AM resultou em condição intermediária, exceto quanto aos teores de MO, para a qual FP-2 foi superior a todos os tratamentos (Tabela 6). Nas variáveis Ca, SB e t o tratamento 30-AM resultou em valores intermediários.

Teores foliares de N-total

Os teores foliares de N foram influenciados pelos tratamentos ($p<0,05$), nos meses de abril e jun/2010 e abr/2011. Em abr/2010, o teor foliar de N foi maior com o tratamento 100-AM (Tabela 7). Em jun/2010, a adubação mineral resultou em maiores teores que com feijão-de-porco. Em abr/2011, o teor foliar de N foi maior no tratamento 100-AM, em relação a FP-1, e os tratamentos 30-AM e FP-2 resultaram em valores intermediários.

N derivado da parte aérea do FP (NdFP), aplicado no primeiro ano (dezembro/2009) Final do primeiro período de crescimento (abril e junho de 2010)

Nas análises de abril e jun/2010, houve efeito da dose de FP ($p<0,05$), sobre o NdFP (Tabela 8). O NdFP foi cerca de quatro vezes maior com o tratamento FP-2, em relação a FP-1 (Tabela 8), proporcional à dose aplicada. Os percentuais foliares médios de NdFP, de abril e junho foram de 18,78% e 5,08%, sob as doses respectivas de 584 e 146 g/vaso de FP.

TABELA 3 - Variáveis de crescimento de cafeeiros adubados com adubação mineral e parte aérea de feijão-de-porco, avaliados em 05/2011, aos 26 meses após o plantio.

Tratamentos	ALT*	ALTm^{ns}	NNOm*	NRPm^{ns}	DC^{ns}	PM^{ns}	NPMm^{ns}
	(cm)	(cm)					
100-AM	81,44 a	45,40	17,56 a	31,19	81,58	11,47	5,69
30-AM	67,70 b	36,90	13,75 b	24,00	61,13	10,25	7,00
FP-1	75,53 ab	42,73	15,00 ab	25,75	90,13	7,00	4,25
FP-2	83,53 a	42,85	16,25 ab	27,50	100,00	17,50	4,50
Média	77,05	41,97	15,64	27,11	38,69	11,56	5,36

Médias seguidas de pelo menos uma mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.
*significativo e ^{ns} não significativo pelo teste F a 5% de probabilidade.
100% de Adubação mineral (100-AM); 30% de AM (30-AM); 146g planta^{-1} de feijão-de-porco + 30-AM (FP-1); 584g planta^{-1} de FP + 30-AM (FP-2). Altura total (ALT); diâmetro da copa (DC); Número de Ponteiros Mortos (PM). Medias acima do nó demarcado: Altura (ALTm); número de nós do ramo ortotrópico (NROm); número de ramos plagiotrópicos (NRPm); número de Ponteiros Mortos (NPMm).

TABELA 4 - Crescimento de ramos de abr/2010 a nov/2010 e mai/2011, em cafeeiros fertilizados com adubação mineral e parte aérea de feijão-de-porco.

Tratamentos[1]	Nov/2010				Mai/2011			
	CRPm^{ns}	NNPm^{ns}	NFPm^{ns}	NNrPm^{ns}	CRPm^{ns}	NNPm^{ns}	NFPm^{ns}	PMPm^{ns}
	(cm)				(cm)			
100-AM	23,33	9,64	12,47	5,60	37,34	15,44	0,90	1,79
30-AM	22,38	9,25	9,00	6,38	36,49	15,10	2,23	1,46
FP-1	25,59	9,00	12,13	6,13	41,09	14,75	2,50	1,00
FP-2	23,49	9,00	11,63	6,63	39,85	15,13	2,63	1,25
Média	23,70	9,22	11,31	6,18	38,69	15,10	2,06	1,38
CV (%)	10,31	11,82	16,31	12,8	20,48	18,99	131,25	47,39

ns: Sem diferença significativa pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.
[1]100% e 30% de adubação mineral (100%-AM e 30-AM); 146g de feijão-de-porco + 30-AM (FP-1); 584g de FP + 30-AM (FP-2).
Comprimento (CRPm); e Número de Nós (NNPm), Folhas (NFPm) e ponteiros mortos (PMPm) no ramo plagiotrópico demarcado.

TABELA 5 - Médias das variáveis de café cereja, em coco e beneficiado (Benef.), de cafeeiros adubados com adubação mineral e parte aérea de feijão-de-porco.

Tratamentos[1]	Cereja	Coco^{ns}	Benef.
	(g planta^{-1})	(g planta^{-1})	(g planta^{-1})
100AM	173,4 b	63,9	16,37 b
30AM	375,8 ab	94,9	20,12 ab
FP1	508,4 a	131,9	38,53 ab
FP2	593,7 a	159,9	54,61 a
CV (%)	34,27	55,68	50,67

Médias seguidas de pelo menos uma mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.
[1]100-AM: 100% de Adubação mineral; 30-AM: 30% de Adubação mineral; FP1: 146g de FP + 30%-AM; FP2: 584g de FP + 30%-AM.

TABELA 6 - Médias de pH, P, K, Ca^{2+}, Mg^{2+}, H+Al, soma de bases (SB), CTC efetiva (t), CTC total (T), saturação por bases (V) e matéria orgânica (MO) em solos fertilizados com adubação mineral e feijão-de-porco, 34 meses após o plantio de cafeeiros. Viçosa, 2012.

Tratamento[1]	pH^{ns}	P^{ns}	K^{ns}	Ca^{2+*}	Mg^{2+ns}	H+Al^{ns}
		(mg dm^{-3})	(mg dm^{-3})	(cmol$_c$ dm^{-3})	(cmol$_c$ dm^{-3})	(cmol$_c$ dm^{-3})
100-AM	5,30	28,43	31,0	0,90 b	0,43	2,53
30-AM	5,32	30,22	30,5	1,00 ab	0,47	2,85
FP-1	5,30	30,17	32,7	0,92 b	0,40	2,72
FP-2	5,47	34,52	48,7	1,37 a	0,55	2,77
CV(%)	6,23	10,47	34,64	16,50	21,99	18,79

Tratamento[1]	SB*	(t)*	(T) ^{ns}	V^{ns}	MO*
	(cmol$_c$ dm^{-3})	(cmol$_c$ dm^{-3})	(cmol$_c$ dm^{-3})	(%)	(g kg^{-1})
100-AM	1,413 b	1,413 b	3,947	36,00	1,667 b
30-AM	1,555 ab	1,580 ab	4,403	36,00	1,650 b
FP-1	1,408 b	1,408 b	4,130	34,00	1,800 b
FP-2	2,050 a	2,050 a	4,818	42,75	2,550 a
CV(%)	15,73	15,24	11,65	16,84	6,23

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.
ns: Sem diferença significativa pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.
[1] 100% e 30% de adubação mineral (100%-AM e 30-AM); 146g de feijão-de-porco + 30-AM (FP-1); 584g de FP + 30-AM (FP-2).

TABELA 7 - Teores foliares de N-total (%) em cafeeiros adubados com feijão-de-porco e adubação mineral, amostrados em Abr, Jun e Nov/2010 e Abr/2011.

Tratamento	Abr/2010	Jun/2010	Nov/2010[ns]	Abr/2011
100-AM	4,01 a	4,51 a	3,82	2,14 a
30-AM	3,30 b	4,09 a	2,99	2,08 ab
FP-1	2,79 b	3,25 b	2,51	1,60 b
FP-2	3,04 b	3,17 b	2,39	2,03 ab
DMS	0,65	0,50	1,58	0,52

Médias seguidas por letras diferentes na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey ($p<0,05$).
[1]100% e 30% de adubação mineral (100%-AM e 30-AM); 146g de feijão-de-porco + 30-AM (FP-1); 584g de FP + 30-AM (FP-2).

TABELA 8 - N derivado da parte aérea de feijão-de-porco (NdFP) aplicado em dez/2009, em folhas de cafeeiros avaliadas em abr-jun/2010 e em Nov/2010 e abr/2011.

FP	Abr/2010	Jun/2010	Média
(g planta^{-1})		NdFP (%)	
584	19,28	18,27	18,78 a
146	5,27	4,88	5,08 b
CV (%)		6,65	
FP	**Nov/2010**	**Abr/2011**	**Média**
(g planta^{-1})		NdFP (%)	
584	17,20 aA	10,74 aB	14,77
146	3,88 bA	3,50 bA	3,69
CV parcela (%):		13,29	
CV sub parcela (%):		17,35	

Médias seguidas de pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste F, a 5% de probabilidade.

Segundo período de crescimento (nov/2010 e abr/2011)

Na amostragem foliar de nov/2010 e abr/2011 houve interação entre as doses de FP e os meses ($p<0,05$), e o NdFP foi maior com 584 g/vaso de FP (Tabela 9). O NdFP diminuiu de nov/2010 para abr/2011, na dose de 584 g/vaso, e foi igual nas duas datas, com 146 g/vaso por g planta^{-1} (Tabela 8).

Efeito da aplicação de FP no segundo ano

Nos tratamentos com feijão-de-porco marcado, aplicado em dez/2010, com amostragem foliar em abr/2011, houve efeito significativo da leguminosa sobre o NdFP, sendo os percentuais de 35,4% e 9,6%, nas doses respectivas de 584 e 146 g/vaso de ^{15}N-FP.

Crescimento

A dose de 30% de adubo mineral foi suficiente para nutrir o cafeeiro até o início do período reprodutivo. Porém, ao final desse período, houve maior altura e número de nós na parte superior do ramo ortotrópico, com 100% da adubação mineral e 584 g planta^{-1} de feijão-de-porco mais 30% de adubação mineral. Bergo et al. (2006) observaram efeitos positivos de *Flemingia congesta* e negativos de feijão-de-porco em consórcio sobre a altura e o diâmetro da copa de cafeeiros. Esse efeito negativo contrasta com o presente trabalho, permitindo sugerir que a competição no consórcio pode interferir nos benefícios do aporte de nutrientes pelas leguminosas.

Em condições de campo, Fidalsky e Chaves (2010) verificaram o potencial de 20 t/ha de matéria seca de leguminosas, em substituição a 95 kg N ha^{-1}, relatando maior altura, volume da copa e produtividade com leucena e mucuna-cinza porém, com fornecimentos de 522 a 626 kg N ha^{-1}, bem acima de 25,3 a 118,0 kg N ha^{-1} do presente trabalho.

Possivelmente, o efeito complementar da aplicação da biomassa associada com adubação mineral, tenha permitido resultado promissor com o feijão-de-porco, visto que Fidalsky e Chaves (2010) identificaram a necessidade de complementação dos adubos verdes.

Produtividade

A maior produtividade do cafeeiro no tratamento com 30% de adubação mineral mais 584 g planta^{-1} de feijão-de-porco em relação à adubação com 100% de adubação mineral, indicam que a associação entre a fonte mineral e a orgânica foi mais eficiente. O aporte total de N na implantação e nos anos agrícolas de 2009/10 e 2010/11 foi respectivamente de 15, 30 e 21 g planta^{-1} com 100 % de adubação mineral, e 9, 33, e 24 g planta^{-1} com 584 g planta^{-1} de feijão-de-porco mais 30% da adubação mineral, com as doses totais aproximadas. O aumento da produtividade do cafeeiro com feijão-de-porco permite supor que, na ausência do consórcio, houve complementação da adubação mineral sem um provável efeito alelopático indicado por Bergo et al. (2006).

Características físicas e químicas do solo

Registrou-se o aumento da matéria orgânica nos tratamentos com adubação mineral, comparativamente à análise inicial do substrato (jul/2009), foi de 221% e 217%, respectivamente para 100% e 30% da adubação mineral. Esse aumento se deve, provavelmente, ao crescimento das raízes, ao acúmulo de matéria orgânica proveniente da queda de folhas do cafeeiro e a da biomassa das plantas daninhas. Com 584 g/vaso de feijão-de-porco, o aumento de matéria orgânica foi de 390% e esse maior acúmulo contribuiu para os maiores valores de Ca^{2+}, SB e CTC efetiva em relação a 100% de adubação mineral e 164 g/vaso de feijão-de-porco, podendo explicar a maior produtividade de grãos beneficiados com feijão-de-porco, na maior dose.

Outros autores verificaram a contribuição dos adubos verdes para a melhoria dos índices de qualidade do solo, encontrando-se: aumentos dos teores de K, P, Ca^{2+}, Mg^{2+}, SB e com as leguminosas mucuna-cinza e amendoim forrageiro (VILELA et al., 2011); aumentos de 35% no carbono orgânico, sob a copa de cafeeiros adubados com leucena, após dez anos de cultivo intercalar (BALOTA; CHAVES, 2011); elevação dos teores de K com mucuna-cinza, leucena, guandu e amendoim forrageiro (FIDALKY; CHAVES, 2010).

Os valores baixos de pH e saturação por bases foram recorrentes na análise de solos, indicando que a correção do substrato pelo método da "neutralização do Al^{3+} e elevação dos teores de Ca^{2+} + Mg^{2+}" não foi adequado nas condições do experimento. A aplicação de 1/3 da calagem e gesso em ago/09 foi insuficiente para a correção do substrato, observando-se pH entre 4,1 e 4,5 e saturação por bases entre 18% e 29%. Por essa razão foi aplicada a calagem total no ano seguinte, em duas parcelas (set/10 e jan/11) com elevação do pH para 5,3 a 5,5, neutralização do Al^{3+} e elevação da saturação por bases de 36% a 43%, porém sem atingir o valor recomendado de 60% (GUIMARÃES et al., 1999).

Além disso, a acidificação do solo não rizosférico é devida, também, à adição de fertilizantes e a grande quantidade de nutrientes absorvidos pelo cafeeiro, conforme observado por Balota e Chaves (2011), em cafeeiros que apresentaram pH não rizosférico de 4,4 e 6,0 e saturação por bases de 34% e 62% sob a copa de cafeeiros e nas entrelinhas, respectivamente.

Teores de N-total

O maior teor foliar de N, nos cafeeiros com 100% de adubação mineral, em relação a 146 g de feijão-de-porco mais 30% de adubação mineral em abr/2011, pode ser decorrente da menor produtividade de 16,37 g planta^{-1} do primeiro em relação ao segundo, com 38,53 g planta^{-1}. A maior produtividade pode ter levado à maior exportação de N para os frutos e menores teores foliares, pelo processo de drenagem preferencial. Durante o crescimento dos frutos, ocorre decréscimo nos teores de macronutrientes nas folhas de cafeeiros (VALARINI; BATAGLIA; FAZUOLI, 2005), com grande acúmulo de matéria seca e nutrientes nos frutos (FENILLI et al., 2007; LAVIOLA et al., 2008).

Mesmo com menores aportes de N com 30% de adubação mineral, os teores foliares de N foram maiores que nos tratamentos complementados com feijão-de-porco, sugerindo uma menor disponibilidade de N com a leguminosa. O parcelamento da adubação mineral é benéfico para o cafeeiro (SOBREIRA et al., 2011), porém esse fator não foi predominante sobre os teores foliares porque o acréscimo de FP aos 30% de AM induziu a uma redução dos teores, podendo-se inferir que a dinâmica de decomposição do FP também levou à redução dos teores foliares de N.

Os menores teores foliares com o feijão-de-porco podem decorrer da liberação parcial do N, durante a sua decomposição e da imobilização na biomassa microbiana. As leguminosas apresentam relação C:N baixa e aumentam os teores de N disponível no solo (AMBROSANO et al., 2003), contudo há decomposição e mineralização rápida no início, seguida de uma mineralização lenta do N (ESPINDOLA et al., 2006). Matos et al. (2011) relataram mineralização em litter-bags de 32% do N em 15 dias, $T_{1/2}$ acima de 72 dias e cerca de 80% até 360 dias, em quatro leguminosas diferentes. Portanto, pode-se supor que apenas parte do N do FP foi disponibilizado e, como a biomassa microbiana aumenta com a aplicação de leguminosas (BALOTA; AULER, 2011; BALOTA; CHAVES, 2011), parte do N mineralizado tende a ficar retido na biomassa microbiana e ser re-mineralizado posteriormente (BALOTA; AULER, 2011; MATOS et al., 2011).

Apesar da baixa produtividade por planta com 100% de adubação mineral, o teor foliar de 3,83 dag $kg^{-1,}$ avaliado no estádio de chumbinho estava acima do limite de 2,50 dag kg^{-1} indicado como baixo (GUIMARÃES et al., 1999). O mesmo teor encontrava-se acima da faixa crítica entre 2,24-3,38 dag kg^{-1} (MARTINEZ, 2003) e acima de 2,25 e 2,79 dag kg^{-1} (FARNEZI; SILVA; GUIMARAES, 2009), indicando que a adubação adotada não foi subdimensionada.

Percentuais foliares de NdFP
Abril e junho de 2010 (Primeiro período de crescimento após a aplicação do FP marcado)

Ambrosano et al. (2009) relatam percentuais de 40% a 42,4% de N derivado da parte aérea de crotalária ou mucuna-preta, como única fonte de N, na parte aérea de milho aos 20, 40, 60, 80 e 100 dias após a emergência. Essa variação nas datas de amostragem também ocorreu nas folhas dos cafeeiros entre os meses de abr-jul/2010, indicando que as leguminosas proporcionaram um fornecimento constante de N evidenciados pelos teores foliares semelhantes nas duas datas.

Resultados da proporção de NdFP em culturas, relatados por diversos autores, são variados. Ovalle et al. (2010) observaram em folhas de videira médias 15% e 28% de NdFP precoces e tardias, respectivamente, com doses de N variando de 68 a 194 kg ha^{-1}, complementando 40 kg N ha^{-1} de adubação mineral. Ambrosano et al. (2011) obtiveram 10,9% N derivado de crotalária em folhas de cana-de-açúcar adubadas com 196 kg ha^{-1} de N com a leguminosa, e Araujo et al. (2005) obtiveram 12,8% de NdFP na parte aérea de trigo, aplicando 100 kg ha^{-1} de N com crotalária. O percentual de 18,78% com a dose equivalente a 101 kg ha^{-1} de N (população de cafeeiros estimada em 6.667 pl ha^{-1}), encontra-se próximo dos valores de Ovalle et al. (2010) em consórcio e mais altos que os observados por Ambrosano et al. (2011) e Araujo et al. (2005) com aplicação da parte aérea de crotalária em trigo e milho, indicando boa resposta do cafeeiro ao FP. O teor médio de NdFP, aos 5 e 7 meses após a aplicação da menor dose de FP (3,8 g de N por planta) em dez/2009, foi de 5,08% e bem abaixo dos teores observados pelos autores supracitados em videira, trigo e milho. Como a dose de 146 g/vaso foi estimada para uma produção de feijão-de-porco aos 40 dias, a realização do corte, ao final desse período de crescimento resultaria em uma contribuição pequena para o cafeeiro.

Nov/2010 e abr/2011 (segundo período de crescimento após a aplicação do FP marcado)

Nesse período, teve início um novo ciclo de adubação com os adubos minerais a partir de outubro e com o feijão-de-porco não marcado em dez/2010. O NdFP determinado no 17º mês após a aplicação indica que houve um efeito residual maior da dose de 584 g/vaso de feijão-de-porco, com 10,74% de NdFP, em relação a 3,5% na dose de 146 g/vaso. Tal resultado permite supor que parte do N foi mineralizado do FP e absorvido pelo cafeeiro, durante o primeiro ano após a adubação e o restante do N que permaneceu foi gradativamente mineralizado da matéria orgânica remanescente. Esse N pode permanecer na parte mais recalcitrante da matéria orgânica ou através do aumento da biomassa dos microorganismos do solo impulsionado pela adição da leguminosa (BALOTA; CHAVES, 2010).

Em experimento com cana-de-açúcar, Ambrosano et al. (2011) aplicaram 70 kg ha^{-1} de N através de sulfato de amônio (SA) e 196 kg ha^{-1} com *Crotalaria juncea* e relataram frações de NdFP em folhas de 11,1% e 5,5%, e de N-SA de 6,9% e 1,7%, no primeiro e segundo anos após a aplicação, respectivamente. No presente trabalho, a aplicação de 584 g/vaso de feijão-de-porco (15,2 g/vaso de N-FP, no Ano 1, promoveu teores de NdFP de 18,78% no ano de aplicação e 10,74% no ano seguinte. Como nos trabalhos de Ambrosano et al. (2011), as doses de N do feijão-de-porco foram maiores que as de N mineral, tendo fornecido aos cafeeiros 15,8 g $planta^{-1}$ de N proveniente de 584 g/vaso de feijão-de-porco e 9 g $planta^{-1}$ de N pelo adubo mineral.

Por essa razão, se pode afirmar que houve resposta do cafeeiro à aplicação do FP.

Silva et al. (2009a) relatam teores de N derivado de crotalária (1,0 g N vaso^{-1}) na parte aérea de milho diminuindo de 44,6% a 14,0%, nas doses de ureia de 0,0 a 2,25 g/vaso. De forma semelhante, o teor foliar variou com a dose de FP e por isso, o efeito complementar da leguminosa depende da dose aplicada. No presente experimento, as doses de N foram de 3,8 e 15,8 g/vaso em FP-1 e FP-2, respectivamente, para uma dose 9 g/vaso de N mineral.

Teores de NdFP em cafeeiros adubados com FP em dez/2010

Em abr/2011, após a aplicação do feijão-de-porco em dez/2010, o NdFP foi de 35,4% e 9,6%, com a proporção de 3,7:1, similar à proporção aplicada de feijão-de-porco de 4:1 (584g/146g).

Os maiores percentuais de NdFP do feijão-de-porco aplicado no segundo ano podem ser devidos à maior proporção de N fornecido pelo FP, em relação à adubação mineral. O N mineral fornecido foi de 30 g planta^{-1} no primeiro ano e de 21 g planta^{-1} no segundo, correspondendo a uma redução de 30%. As proporções entre o N do FP e o N da adubação mineral aplicados nos dois anos seguidos, respectivamente, foram de 0,31 e 0,70 na dose de 146 g planta^{-1} de FP e de 1,76 e 2,81 na dose de 584 g planta^{-1}. Na menor dose de FP, o aumento do N aplicado nos vasos foi proporcional a 124% e na maior dose foi de 60%.

Outros autores observaram variações do percentual de N, com variação nas doses de N-mineral ou de N do adubo verde, que corroboram com os resultados de elevação do N derivado do FP com o aumento das doses de FP ou da proporção entre o N da leguminosa em relação ao N mineral. Ovalle et al. (2010) verificaram, em folhas de videira, consorciadas com leguminosas tardias e precoces, percentuais de 20% N derivado de tardias e de 14% das precoces. Nos dois anos de cultivo, as leguminosas tardias forneceram mais N que as precoces, sendo as quantidades de N no 1º ano de 128 e 68 kg ha^{-1} e no 2º ano de 194 e 157 kg ha^{-1}, respectivamente. O aumento do percentual de N derivado de leguminosa com a diminuição proporcional do N-mineral, foi observado por Silva et al. (2009b), que obtiveram redução de 44,6% a 14,0% na parte aérea de milho, com o fornecimento constante de crotalária e variação nas doses de uréia. Nos dois casos, tanto a variação na dose de leguminosa, quanto na proporção promovem a variação nos percentuais foliares de N derivados dos adubos.

4 CONCLUSÕES

Até o início da fase reprodutiva, os cafeeiros adubados com feijão-de-porco complementado com adubação mineral crescem de forma similar àqueles adubados com adubação mineral completa.

A adubação com o feijão-de-porco promove aumentos da produtividade do cafeeiro, do teor de Ca^{2+}, soma de bases, CTC efetiva e matéria orgânica do solo.

O percentual de N, derivado do feijão-de-porco nos cafeeiros é proporcional à dose fornecida.

A adubação com feijão-de-porco apresenta efeito residual em anos consecutivos, contribuindo para a nutrição nitrogenada dos cafeeiros.

5 REFERÊNCIAS

AMBROSANO, E. J. et al. ^{15}N-labeled nitrogen from green manure and ammonium sulfate utilization by the sugarcane ratoon. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 68, n. 3, p. 361-368, June 2011.

_____. Nitrogen-15 labeling of *Crotalaria juncea* green manure. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 60, n. 1, p. 181-184, Jan./Mar. 2003.

_____. Nitrogen supply to corn from sunn hemp and velvet bean green manures. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 66, n. 3, p. 386-394, May/June 2009.

ARAÚJO, A. S.F. et al. Utilização de nitrogênio pelo trigo cultivado em solo fertilizado com adubo verde. (C*rotalaria juncea*) e/ou uréia. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 35, n. 2, p. 284-289, mar./abr. 2005.

BALOTA, E. L.; AULER, P. A. M. Soil carbon and nitrogen mineralization uder different tillage systems and permanent groundcover cultivation between orange trees. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 33, p. 637-648, 2011.

BALOTA, E. L.; CHAVES, J. C. D. Enzymatic activity and mineralization of carbon and nitrogen in soil cultivated with coffee and green manures. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, n. 5, p. 1573-1583, out. 2010.

_____. Microbial activity in soil cultivated with different summer legumes in coffee crop. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, Curitiba, v. 54, n. 1, p. 35-44, Jan./Feb. 2011.

BERGO, L. C. et al. Avaliação de espécies leguminosas na formação de cafezais no segmento da agricultura familiar no Acre. **Acta Amazônica**, Manaus, v. 36, n. 1, p. 19-24, mar. 2006.

ESPINDOLA, J. A. A. et al. Decomposição e mineralização de nutrientes acumulados em leguminosas herbáceas perenes consorciadas com bananeira. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, n. 2, p. 321-328, mar./abr. 2006.

FARNEZI, M. M. M.; SILVA, E. B.; GUIMARÃES, P. T. G. Diagnose nutricional de cafeeiros da região do Alto Jequitinhonha (MG): normas dris e faixas críticas de nutrientes. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, n. 4, p. 969-978, ago. 2009.

FENILLI, T. A. B. et al. The ^{15}N isotope to evaluate fertilizer nitrogen absorption efficiency by the coffee plant. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, Rio de Janeiro, v. 79, n. 4, p. 767-776, dez. 2007.

FIDALSKI, J.; CHAVES, J. C. D. Respostas do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) IAPAR-59 à aplicação superficial de resíduos orgânicos em um latossolo vermelho distrófico típico. **Coffee Science, Lavras, v. 5, n. 1, p. 75-86, jan./abr. 2010**.

GUIMARÃES, P. T. G. et al. Cafeeiro. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ, V. H. (Ed.). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais:** 5ª aproximação. Viçosa, MG: CSFSEMG/UFV, 1999. p. 289-302.

LAVIOLA, B. G. et al. 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, jan./mar. 2008.

MARTINEZ, H. E. P. Faixas críticas de concentrações de nutrientes e avaliação do estado nutricional de cafeeiros em quatro regiões de Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, n. 6, p. 703-713, jun. 2003.

MARTINEZ, H. E. P.; CLEMENTE, J. M. **O uso do cultivo hidropônico de plantas em pesquisa**. Viçosa, MG: UFV, 2011. 76 p.

MATOS, E. S. et al. Decomposition and nutrient release of leguminous plants in coffee agroforestry systems. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, n. 1, p. 141-149, fev. 2011.

OVALLE, C. et al. Estimating the contribution of nitrogen from legume cover crops to the nitrogen nutrition of grapevines using a ^{15}N dilution technique. **Plant and Soil**, The Hague, v. 334, n. 1, p. 247-259, Sept. 2010.

PAULO, E. M. et al. Produtividade do cafeeiro Mundo Novo enxertado e submetido à adubação verde antes e após recepa da lavoura. **Bragantia**, Campinas, v. 65, n. 1, p. 115-120, 2006.

RICCI, M. S. F. et al. Growth rate and nutritional status of an organic coffee cropping system. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 62, n. 2, p. 138-144, Apr. 2005.

SILVA, E. C. et al. Aproveitamento de nitrogênio pelo milho, em razão da adubação verde, nitrogenada e fosfatada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 44, n. 2, p. 118-127, fev. 2009a.

_____. Métodos de análises químicas para avaliação de fertilidade de solo. In: SILVA, F. C. (Ed.). **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2. ed. Brasília: EMBRAPA, 2009b. p. 107-189.

SNOECK, D.; ZAPATA, F.; DOMENACH, A. M. Isotopic evidence of the transfer of nitrogen fixed by legumes to coffee trees. **Biotechnology Agronomy Society and Environment**, Colchester, v. 4, n. 2, p. 95-100, 2000.

SOBREIRA, F. M. et al. Adubação nitrogenada e potássica de cafeeiro fertirrigado na fase de formação, em plantio adensado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 46, n. 1, p. 9-16, jan. 2011.

VALARINI, V.; BATAGLIA, O. C.; FAZUOLI, L. C. Macronutrientes em folhas e frutos de cultivares de café arábica de porte baixo. **Bragantia**, Campinas, v. 64, p. 661-672, 2005.

VILELA, E. F. et al. Crescimento inicial de cafeeiros e fertilidade do solo adubado com mucuna, amendoim forrageiro ou sulfato de amônio. **Coffee Science, Lavras, v. 6, n. 1, p. 27-35, jan./abr. 2011.**

WARENBOURG, F. R. Nitrogen fixation in soil and plant systems. In: KNOWLES, R.; BLACKBURN, T. H. (Ed.). Nitrogen isotope techniques. New York: Academic, 1992. p. 127-156.

GENETIC PROGRESS IN COFFEE PROGENIES BY DIFFERENT SELECTION CRITERIA

Juliana Costa de Rezende[1], Cesar Elias Botelho[2], Antônio Carlos Baião de Oliveira[3], Felipe Lopes da Silva[4], Gladyston Rodrigues Carvalho[5], Antônio Alves Pereira[6]

(Recebido: 8 de julho de 2013; aceito: 21 de novembro de 2013)

ABSTRACT: In order to investigate the aspects related to the use of selection indexes in *Coffea arabica* breeding, analytical procedures were used: index based on the sum of ranks of Mulamba and Mock (ISR), index of desired gains of Pesek and Baker (DGI), classic index of Smith and Hazel (CI), base index of Williams (BI), and direct and indirect selection (DIS). Thirty-nine progenies were evaluated in the 4th generation by selfing after the 2nd backcross between "Catuai" and "Mundo Novo". The evaluations were realized in coffee plants from 30 months old on, having the following characteristics: yield of eight harvests, classification for blend 16 and over, percentage of floating fruits, vegetative vigor and percentage of flat beans. The analytical procedures of selection indexes showed possibilities of applications in advanced generations of breeding being superior when compared with DIS. The DGI was not appropriate in the situation analyzed in this work. The selection based on CI and BI was the criteria that showed the best results in terms of gains in yield and grain size, and in the distribution of gains in the other characteristics.

Index terms: *Coffea arabica*, genetic breeding, selection indexes.

PROGRESSOS GENÉTICOS EM PROGÊNIES DE CAFÉ POR DIFERENTES CRITÉRIOS DE SELEÇÃO

RESUMO: *Objetivando-se investigar os aspectos relacionados à utilização de índices de seleção no melhoramento de café arábica, foram utilizados os procedimentos analíticos: índice com base em soma de postos de Mulamba and Mock (ISP), índice de ganhos desejados de Pesek and Baker (IGD), índice clássico de Smith e Hazel (IC), índice-base de Williams (IB) e a seleção direta e indireta (SDI). Foram avaliadas 39 progênies na 4ª geração por autofecundação, após o 2º retrocruzamento entre 'Catuaí' e 'Mundo Novo'. As avaliações foram realizadas em cafeeiros a partir dos 30 meses de idade, compreendendo as seguintes características: produtividade de oito colheitas, classificação quanto à peneira 16 e acima, porcentagem de frutos granados, vigor vegetativo e porcentagem de grãos chatos. Os procedimentos analíticos dos índices de seleção apresentam possibilidades de aplicações em gerações avançadas de melhoramento sendo superiores em relação à SDI. O IGD não foi adequado na situação analisada no presente trabalho. A seleção com base nos IC e IB foi o critério que apresentou os melhores resultados em termos de ganhos em produtividade e tamanho de grãos e na distribuição de ganhos nas demais características.*

Termos para indexação: *Coffea arabica, melhoramento genético, índices de seleção.*

1 INTRODUCTION

In order to obtain higher cultivars in breeding program, it is necessary that all or most of their agronomic characteristics are favorable ones. Therefore, selection indexes have been proposed as criterion of simultaneous selection of many desirable traits, therefore increasing the probability of success of the program.

Selection indexes are multivariate techniques by which numerical values are created, working as an additional, theoretical trait, resulting from the combination of multiple information within the experimental unit. They make it possible the selection based in a complex of variables that are able to gather several economic traits.

Selection shall be coherent with the desirable objectives and the selection process used so it will result in better simultaneous gains (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2004).

Different indexes represent various alternatives of selection in breeding programs, and percentage gains, consequently. According to Cruz, Regazzi and Carneiro (2004), the classic index, proposed by Hazel (1943) and Smith (1936), consists in a linear combination of several economic traits whose weight coefficients are estimated in order to maximize correlation between the index and the phenotypic aggregated. Pesek and Baker (1969) proposed an index in which the economic weights could be replaced by the gains desired by the breeder for each trait, subjected to

[1,2,5]Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais Epamig - Unidade Regional do Sul de Minas
Cx. P. 176 - 37.200-000 - Lavras - MG - julianacr@epamig.ufla.br, cesarbotelho@epamig.br, carvalho@epamig.ufla.br
[3] Embrapa Café - Campus da UFV S/N - Cx. P. 216 - 36570-000 - Viçosa- MG - antonio.baiao@embrapa.br
[4,6] Epamig - Unidade Regional da Zona da Mata - Campus da UFV S/N - Cx. P. 216 - 36570-000 - Viçosa - MG
felipe@epamig.ufv.br, pereira@epamig.ufv.br

the restrictions imposed by the phenotypic and genotypic constitution of the population. Williams (1962) proposed the so-called base-index, which does not require estimates of the genotypic and phenotypic parameters and uses relative economic values as coefficients. Mulamba and Mock (1978) classified the genotypes in relation to each one of the traits, in an order favorable to the breeding, eliminating the need of establishing economic weights and estimates of genotypic and phenotypic covariance.

Those indexes were checked by other authors in soybean (COSTA et al., 2004), popcorn (RANGEL et al., 2011), passion fruit (GRANATE; CRUZ; PACHECO, 2007) and eucalyptus (MARTINS; MARTINS; PINHO, 2006). However, the reports on the use of those indexes in the selection of segregating populations of *Coffea arabica* are rare.

The objective of this work was to estimate genetic gains predicted by different selection indexes for five agronomic characteristics, evaluated in 42 progenies of *Coffea arabica* L. and compares them with each other.

2 MATERIAL AND METHODS

The experiment was settled on Fazenda Experimental da Epamig, in Três Pontas, Southern Minas Gerais state in January 1996, at altitude of 900 m, latitude of 21° 22'01" S and longitude 45° 30'45" W. Average annual rainfall is 1.670 mm and annual average temperature is 20.1°C. The soil in the experiment area is classified as argisol, with average texture.

It was evaluated 42 genotypes within F_4 generation, with 39 genotypes resulting from the 4th generation by selfing after the second "Mundo Novo" and "Catuaí" backcross and three cultivars used as control (Catuaí Vermelho IAC 99, Rubi MG 1192 and Acaiá Cerrado MG 1474).

It was used a random block design, with three replicates and six plants per plot. An spacing of 2.50 m between rows x 0.70 m between plants, corresponding to 5.714 plants per hectare was used. Settlement and conduction of the experiment were in agreement with the technical recommendations for coffee crops. Phytosanitary management was preventively and curatively performed, by using chemical products, followed by seasonality of occurrence of pests and diseases.

Evaluations started when plants were at 30 months of age, comprising the following traits: productivity (Prod), in 60 kg sacks of processed coffee per hectare (sack/ha) from 8 harvests (1998 to 2005); classification of grains in 16 or above sieve (Sieve); percentage of formed grains (Form); plant vigor (PV) and percentage of flat beans (Flat) immediately after 2005 harvest.

Production was measured immediately after harvest, performed from May to July every year. Afterwards, conversion for 60 kg processed coffee sacks ha^{-1} was carried on. This conversion was made by approximation of values, taking into account an average yield of 480 L of "farm coffee" for each 60 kg sack of processed coffee.

Samples of 200 g of processed coffee of each plot were classified in intercalated sieves, with mass of the grains retained in each one, transformed into percentage and sum of 16, 17 and 18 sieve regarded as the trait 16 and above sieve. Percentage of formed beans was made by using the modified methodology proposed by Antunes Filho and Carvalho (1955) by which 100 cherry fruits are placed in water, being considered floating grains those which remained in the surface. The difference of this value for 100 is the percentage of formed beans.

Plant vigor of the coffee trees was evaluated by distributing marks according to a 10 point arbitrary scale as suggested by Carvalho, Mônaco and Fazuoli (1979). Classification by grain type was carried out by summing the number of defects found in 200 g samples of processed coffee, by putting apart flat-type beans.

Gains by direct and direct selection were estimated (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2004) for the five evaluated traits, considering the selection of the twelve best progenies, approximately 28.5%. Selection was for increase for all the traits. In addition to this strategy, selection process was also carried out based in the classical index (HAZEL, 1943; SMITH, 1936), desired gain index (PESEK; BAKER, 1969), base index (WILLIAMS, 1962) and index based on sum of ranks (MULAMBA; MOCK, 1978).

The classic index (CI) was based in solving the following matrix system: $b = P^{-1}Ga$, where b is the 5 ×1 dimension vector of index balance coefficients to be estimated: P-1 is the inverse of 5 × 5 dimension matrix of phenotypic variances and covariances among traits; G is the 5 × 5 dimension matrix of genetic variances and covariances among characteristics; and a is a 5 × 1 vector of economic weights.

Construction of index of desired gains (IDG), as suggested by its own name, is based in the desired gains and it involves the knowledge of expression of expected gains of several traits, which is defined by: $b = G^{-1}\Delta g_d$, in which Δg_d is the vector of desired gains; G^{-1} is the inverse of genetic variance and covariance matrix.

Base index (BI) proposes the establishment of indexes by a linear combination of average phenotypic values of the traits, which are directly balanced by their respective economic weights, in which I = a1x1 + a2x2 +... + anxn = a'X, in which X and a are n × 1 vectors, whose elements are the means and economic weights of the studied traits, respectively.

In the index based on sum of ranks (IBSR), orders of each genetic material are summed up in relation to each of the traits in an order favorable to breeding, resulting in the selection index, as it is described in the following: I = r1 + r2 + ...+ rn , in which I is the index value for a given individual or family; rj is the rank of an individual in relation to the jth trait; n is the number of traits by considering the index. Moreover, the variables are specified for different weights, so I = p1r1+p2r2+... + pnrn, in which pj is the economic weight given to the jth trait (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2004; SANTOS et al., 2007).

Gain prediction was done to achieve an ideotype which was searched for obtaining progenies with better productivity, with no reduction in the means of the other traits. For each one of the selection indexes, it was used weights randomly obtained until it was found one which could predict the greatest genotypic gain.

The economic weights used in the experiment were the statistics coefficient of genetic variation (CVg), genetic standard deviation (SDg), heritability (h^2), and the relationship between coefficient of genetic variation and coefficient of environment variation (CVg/CVe) and the values given for the relative importance (RI) of each trait, which were 100, 50, 40, 70 and 10 for Prod, Sieve, Formed, PV and Flat, respectively. Genes program (CRUZ, 2006) was used in genetic-statistics analyses and the chosen estimator was based in the selection differential.

3 RESULTS AND DISCUSSION

Significant differences (P<0.01) were found for all evaluated traits, showing the presence of genetic variability among progenies and the possibility of obtaining genetic gains with the selection. By observing the means of the evaluated traits, it is concluded that they meet results from studies of progenies with *C. arabica* (CARVALHO et al., 2006, 2008; CORREA; MENDES; BARTHOLO, 2006). Coefficients of experimental variation varied from 1.93 to 16.32%, showing a good precision in the evaluation of the traits.

The use of selection indexes presents some difficulties as for example the determination of economic weights, which shall be established by respecting the proportionality of the factors involved (BAKER, 1986). A good option which has been used to establish the economic weights is the use of statistics of the data itself, as for example genetic standard deviation, heritability, coefficient of genetic variation and the relationship between coefficient of genetic variation and the coefficient of residual variation (Table 1) (MARTINS et al., 2003; MARTINS; MARTINS; PINHO, 2006; SANTOS et al., 2007). Those estimates of components express the genotypic variability, therefore, they are very important in a breeding program. The greater their magnitudes, the more heterogeneous the genotypes evaluated and the greater the possibility of selecting higher genetic material, aiming at using them as parents (FERRÃO et al., 2008).

The presence of a considerable amount of genetic variability, associated to the low coefficient of environmental heterogeneity, resulted in moderately high values of heritability for most traits, when compared to the other studies evaluating progenies of *Coffea arabica* (PETEK; SERA; FONSECA, 2008; REZENDE et al., 2001). Those results evidence the population potential in a study for breeding by selection. Although it had presented a low value of heritability, Flat is an important variable and any gain in this trait should be regarded. Thus, the estimates for this characteristic may indicate genetic variability and maximize genetic gain.

Coefficient of genetic variation expresses the magnitude of genetic variation in relation the trait mean. Estimates of coefficient of genetic variation reveal that the traits analyzed, presented low variation, overall (Table 1). This could have occurred because the studied population was in a quite high level of inbreeding (F_4 generation).

The rate CVg/CVe, also known as relative coefficient of variation, estimated for the studied traits, resulted in values equal to one for Sieve and Formed and near to Prod, reflecting in a situation favorable for those traits. On the other hand, values of CVg/CVe for PV and Flat were 0.66 and 0.44, showing the difficulty in selecting higher progenies from those traits.

TABLE 1 - Phenotypic variances (σ_p^2), genotypic variance (σ_p^2), heritability (h^2), genetic standard deviation (DP_g), coefficient of genetic coefficient of genetic variation (CV_g) and relationship between coefficient of genetic and residual variation (CV_g/CV_e) in coffee tree F4 progenies obtained by the crossing between Catuaí and Mundo Novo cultivars.

Parameter	Prod[1]	Sieve	Formed	PV	Flat
	37.72	35.49	4.49	0.62	5.45
	24.87	26.65	3.38	0.35	1.96
	65.94	75.09	75.30	56.67	35.94
	4.98	5.16	1.83	0.59	1.40
	13.11	11.07	1.95	8.22	1.84
	0.80	1.00	1.00	0.66	0.43

[1]Productivity of processed coffee in sacks/ha/year of 8 harvests; Sieve: classification according to sieve 16 and above; Formed: percentage of formed beans; PV: plant vigor and Floating: percentage of floating beans.

Firstly, in the direct and indirect selection, it is expected to obtain gains in only one trait on which selection is done, and it may occurs many favorable or unfavorable responses on the traits with secondary importance (COSTA et al., 2004). The best result was achieved when selection was done on Flat, a situation which provided considerable gains for Sieve and Prod (Table 2).

In coffee breeding programs, it is searched an ideotype whose performance includes, besides other characteristics, a high productive capacity and an increase in the size of the grains (FERREIRA et al., 2005). When selection is done on the Prod trait, small gains for traits Formed, PV and Chat were found, and a negative result was found for Sieve. A lower performance was found when selection was done on PV trait, which resulted in a loss for all the other traits (Table 2).

Overall, satisfying gains were not achieved by strategy of direct and indirect selection for the five studied traits (Table 2). In this case, it is recommended using the theory of selection indexes, aiming at achieving more balanced responses in the gains, for the evaluated traits (FERREIRA et al., 2005; MARTINS; MARTINS; PINHO, 2006).

When the classical index of Hazel (1943) and Smith (1936) was used, it was possible to achieve positive gains for the main evaluated traits (Prod and Sieve), regarding all the given economic weights (Table 3). Those results show that it is possible to promote effective increase of concentration of favorable alleles of those traits in the population. By these index, it was not predicted desirable gains for traits Formed, Flat and PV, and this last one even presented negative signals, showing a low perspective of selecting vigorous genotypes.

According to Petek, Sera and Fonseca (2008), planting and cultivation system can soften and even solve problems from vigor loss, due to excessive loads as it was found in this work. By regarding CVg, DPg, CVg/CVe, h^2 and PT as economic weights, joint percentage gain predicted by IC was 16.5%, 16.05%, 14.68%, 14.68% and 16.05%, respectively, showing an efficiency of those criterions in the selection of adequate genotypes by using this index in the selection (Table 3).

Index of Pesek and Baker (1969) presented identical gains in the traits by using different economic weights. The gains predicted jointly with this index, in function of the two main traits, were lower than the ones predicted by other selection indexes used in this work, with a gain estimate of 0.08% in all evaluated weights. The joint gain for all given economic weights was 8.01% (Table 3).

The base-index proposed by Williams (1962) provided compensating gains for Prod and Sieve, which expressed joint percentage gains of 16.16%, 15.95%, 15.55%, 15.55%, and 14.92% when CVg, DPg, CVg/CV and, h^2 were used as economic weights and the economic weight given as attempt (WA), respectively. Thus, based on the economic weights used for achieving selective gains for the main traits, it is found that base index provided better results for selection of progenies of coffee tree from 'Catuaí' x 'Mundo Novo' crossing.

TABLE 2 - Estimate of percentage gains by direct and indirect selection for five traits evaluated in F_4 coffee tree progenies obtained by the crossing between Catuaí and Mundo Novo cultivars.

Selection	Response in[1]				
	Prod[2]	Sieve	Formed	PV	Flat
Prod	12.38	-1.29	0.36	1.06	0.39
Pen	-1.94	11.59	-0.51	-2.66	0.69
Gran	-0.30	-1.03	1.53	-1.56	0.17
Vigor	-0.48	-2.68	-0.49	6.31	-0.2
Chat	3.76	8.35	0.4	-1.78	1.23

[1]Gains by direct selection = principal diagonal, in boldface; gains by indirect selection = out of the principal diagonal. [2]Prod: Productivity of processed coffee in sacks/ha/year of 8 harvests; Sieve: classification according to sieve 16 and above; Formed: percentage of formed beans; PV: plant vigor and Floating: percentage of floating beans.

TABLE 3 - Estimates of percentage gains by simultaneous selection, by using classic index of Smith and Hazel (CI), desired gain index (DGI), base-index of Williams (BI) and index based on sum of ranks (ISR) based on five criteria of economic weight for five traits evaluated in F_4 coffee tree progenies obtained from the crossing between Catuaí and Mundo Novo cultivars.

Characteristics [1]	CI				
	CVg[2]	DPg	CVg/CVe	h^2	WA
Prod	7.9	7.9	6.65	6.65	4.01
Sieve	8.05	8.05	8.51	8.51	3.58
Formed	0.27	0.27	0.6	0.6	0.51
PV	-1.12	-1.12	-2.0	-2.0	0.84
Flat	0.95	0.95	0.92	0.92	0.56
Simultaneous gain	16.5	16.05	14.68	14.68	16.05
	DGI				
Prod	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
Sieve	2.68	2.68	2.68	2.68	2.68
Formed	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89
PV	3.36	3.36	3.36	3.36	3.36
Flat	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67
Simultaneous gain	8.01	8.01	8.01	8.01	8.01
	BI				
Prod	7.4	7.9	7.58	7.58	10.54
Sieve	8.76	8.05	7.97	7.97	4.38
Formed	0.02	0.27	0.56	0.56	0.13
PV	-0.69	-1.12	-0.96	-0.91	0.62
Flat	0.77	0.95	0.86	0.86	0.68
Simultaneous gain	16.26	16.05	16.06	16.06	16.35

Cont. ...

TABLE 3 Cont.

			ISR		
Prod	10.09	8.87	6.54	6.54	10.07
Sieve	3.32	6.76	3.49	3.49	-0.39
Formed	0.2	0.36	1.2	1.2	0.89
PV	2.16	-1.12	2.59	2.59	3.03
Flat	0.31	0.87	0.73	0.73	0.53
Simultaneous gain	15.98	15.74	14.55	14.55	14.13

[1]Prod: Productivity of processed coffee in sacks/ha/year of 8 harvests; Sieve: classification according to sieve 16 and above; Formed: percentage of formed beans; PV: plant vigor and Floating: percentage of floating beans.[2]CVg = coefficient of genetic variation; DPg = genetic standard deviation; CVg/CVe = index of variation; h^2 = heritability; WA = weight given by attempts (100, 50, 40, 70, 10).

The joint percentage gain predicted by IB was similar for all economic weight used (Table 3). The highest genetic gains for grain productivity were predicted by the index based on sum of ranks of Mulamba and Mock (1978), when CVg, DPg and PT, were used as economic weights with estimates of 10.09%, 8.87% and 10.07%, for those weights, respectively. However, the desired trait 16 and above sieve presented a modest gain estimate for the weights CVg, CVg/CV, h^2 and WA, and the last one presented expression of negative gains. The predicted joint percentage gain, when CVg, DPg ,CVg/CV, h^2 and WA were used as economic weights was 15,98%, 15,74%, 14.55%, 14.55% and 14.03%, respectively.

Several authors have evaluated the use of selection indexes in breeding programs, and the index with the best results of predicted gains varies in each case. With the objective of evaluating the best methods of selection in the identification of clones of potato (*Solanum tuberosum* L.), Barbosa and Pinto (1997) concluded that the indexes studied in the present work were efficient in the simultaneous selection of many traits.

In the selection of higher progenies of popcorn UNB-2U, index of Mulamba and Mock (1978) resulted in more adequate proportional gains in the use of arbitrary economic weights for capacity of expansion and grain productivity, with respective values of 7.16% and 10.00% in the third cycle of recurring selection (SANTOS et al., 2007), 10.55% and 8.50% in the fourth cycle (AMARAL JUNIOR et al., 2010) and 6.01% and 8.53% in the fifth cycle of recurring selection (RANGEL et al., 2011).

When selecting higher progenies of popcorn CMS-43, Granate, Cruz and Pacheco (2002) achieved gain prediction in a greater number of traits by index of Smith (1936) and Hazel (1943), with joint percentage gains for capacity of expansion and grain productivity of 9.14%. This same index was more efficient in the work of Ferreira et al. (2005) when comparing expected gains achieved by selection in progenies of corn full siblings.

4 CONCLUSIONS

Analytical procedures of selection indexes present possibilities of application in advanced generations of Arabica coffee breeding, with higher results in relation to direct and indirect selection.

Index of Pesek and Baker (1969) is adequate for the situation analyzed in the present work.

Selection index proposed by Hazel (1943) and Williams (1962) is the selection criterion which presents the best results in function of gains of productivity and sieve and in the distribution of gains in the other traits, so, it can be indicated as the most appropriate criterion for breeding in the studied population of *C. arabica*.

5 ACKNOWLEDGMENTS

We thank INCT-Café, Consórcio de Pesquisa Café and FAPEMIG, for financially supporting the Project. We also thank CNPq (JCR) for a PNPD fellowship.

6 REFERENCES

AMARAL JUNIOR, A. T. do et al. Improvement of a popcorn population using selection indexes from a fourth cycle of recurrent selection program carried out in two different environments. Genetics and Molecular Research, Ribeirão Preto, v. 9, p. 340-347, 2010.

ANTUNES FILHO, H.; CARVALHO, A. Melhoramento do cafeeiro, ocorrência de lojas vazias em frutos de café Mundo Novo. **Bragantia**, Campinas, v. 13, p. 165-179, 1954.

BAKER, R. J. **Selection indices in plant breeding**. Boca Raton: CRC, 1986. 218 p.

BARBOSA, M. H. P.; PINTO, C. A. B. P. Eficiência de índices de seleção na identificação de clones superiores de batata. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 32, p. 887-884, 1997.

CARVALHO, A.; MÔNACO, L. C.; FAZUOLI, L. C. Melhoramento do cafeeiro: XL estudos de híbridos de café Catuai. **Bragantia**, Campinas, v. 38, p. 202-216, 1979.

CARVALHO, A. M. et al. Avaliação de progênies de cafeeiros obtidas do cruzamento entre Catuaí e Híbrido de Timor. **Scientia Agraria**, Curitiba, v. 9, p. 249-253, 2008.

CARVALHO, G. R. et al. Seleção de progênies oriundas do cruzamento entre 'Catuaí' e 'Mundo Novo' em diferentes regiões do Estado de Minas Gerais. **Bragantia**, Campinas, v. 65, p. 583-590, 2006.

CORREA, L. V. T.; MENDES, A. N. G.; BARTHOLO, G. F. Comportamento de progênies de cafeeiros Icatu. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 30, p. 618-622, 2006.

COSTA, M. M. et al. Ganho genético por diferentes critérios de seleção em populações segregantes de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, p. 1095-1102, 2004.

CRUZ, C. D. **Programa Genes:** biometria. Viçosa, MG: UFV, 2006. 382 p.

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 3. ed. Viçosa, MG: UFV, 2004. v. 1, 480 p.

FERRÃO, R. G. et al. Parâmetros genéticos em café Conilon. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, **v.** 43, p. 61-69, 2008.

FERREIRA, A. et al. Seleção simultânea de *Coffea canephora* por meio da combinação de análise de fatores e índices de seleção. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 40, p. 1189-1195, 2005.

GRANATE, M. J.; CRUZ, C. D.; PACHECO, C. A. P. Predição de ganho genético com diferentes índices de seleção no milho-pipoca CMS-43. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, p. 1001-1008, 2002.

HAZEL, L. N. The genetic basis for constructing selection indexes. **Genetic**s, Austin, v. 28, p. 476-490, 1943.

MARTINS, I. S. et al. Eficiência da seleção univariada direta e indireta e de índices de seleção em *Eucalyptus grandis*. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 27, p. 327-333, 2003.

MARTINS, I. S.; MARTINS, R. C. C.; PINHO, D. S. Alternativas de índices de seleção em uma população de *Eucalyptus grandis* Hill ex maiden. **Cerne**, Lavras, v. 12, p. 287-291, 2006.

MULAMBA, N. N.; MOCK, J. J. Improvement of yield potential of the Eto Blanco maize (*Zea mays* L.) population by breeding for plant traits. **Egypt Journal of Genetics and Cytology**, Cairo, v. 7, p. 40-51, 1978.

PESEK, J.; BAKER, R. J. Desired improvement in relation to selection indices. **Canadian Journal of Plant Sciences**, Ottawa, v. 1, p. 215-274, 1969.

PETEK, M. R.; SERA, T.; FONSECA, I. C. B. Predição de valores genéticos aditivos na seleção visando obter cultivares de café mais resistentes à ferrugem. **Bragantia**, Campinas, v. 67, p. 133-140, 2008.

RANGEL, R. M. et al. Análise biométrica de ganhos por seleção em população de milho pipoca de quinto ciclo de seleção recorrente. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 42, p. 473-481, 2011.

RESENDE, M. D. V. et al. Estimativas de parâmetros genéticos e predição de valores genotípicos no melhoramento do cafeeiro pelo procedimento REML/BLUP. **Bragantia**, Campinas, v. 3, p. 185-193, 2001.

SANTOS, F. S. et al. Predição de ganhos genéticos por índice de seleção na população de milho-pipoca UNB-2U sob seleção recorrente. **Bragantia**, Campinas, v. 66, p. 389-396, 2007.

SMITH, H. F. A discriminant function for plant selection. **Annals of Eugenics**, Norwich, v. 7, p. 240-250, 1936.

WILLIAMS, J. S. The evaluation of a selection index. **Biometrics**, Arlington, v. 18, p. 375-393, 1962.

PRODUTIVIDADE DE CAFEEIRO ORGÂNICO NO CERRADO APÓS A PODA SOB DIFERENTES REGIMES HÍDRICOS

Luís Marques do Nascimento[1], Carlos Roberto Spehar[2], Délvio Sandri[3]

(Recebido: 10 de julho de 2013; aceito: 22 de setembro de 2013)

RESUMO: A poda é uma forma de renovação do cafeeiro com menor custo do que a implantação de uma lavoura. Objetivou-se, neste trabalho, avaliar diferentes regimes hídricos sobre a produtividade do cafeeiro orgânico em plantio adensado (7.142 plantas ha^{-1}), cv. IAPAR 59, após a poda de recepa. Os regimes hídricos foram: sem irrigação; irrigação contínua; paralisação 30 dias antes da colheita; paralisação na época da colheita; e paralisação na colheita associada à condução do caule. O delineamento experimental utilizado foi em blocos inteiramente casualizados, e os tratamentos consistiram de regimes hídricos, com seis repetições. A produção e a produtividade totais de café foram avaliadas em 2011 e em 2012, subdividindo-se em frutos cereja, cereja mais verde, seco mais chocho, além da bienal e acumulada. No primeiro ano após a poda, não houve produção, contudo, depois de três anos, em 2012, a capacidade produtiva da planta de café foi restabelecida. Os tratamentos com paralisações programadas das irrigações apresentaram produção e produtividade superiores aos tratamentos sem irrigação. A irrigação durante todo o ano reduziu a proporção de frutos secos e chochos, porém, aumentou a de frutos verdes. Irrigação até a colheita e condução da poda de recepa aumentou a produção de frutos cereja e reduziu a de frutos secos e chochos, em relação à massa total de frutos colhidos. Houve efeito positivo da irrigação até a colheita e da condução da poda sobre a produção e a produtividade bienal e acumulada.

Termos para indexação: Irrigação, produção bienal, estresse hídrico, recepa.

PRODUCTIVITY OF ORGANIC COFFEE ORCHARD IN THE BRAZILIAN SAVANNAH AFTER PRUNNING AND GROWN UNDER DIFFERENT WATER REGIMES

ABSTRACT: *Pruning has been a form of coffee orchard renewal with lesser cost than its eradication followed by a new planting. This experiment aimed at evaluating the effect of water regimes and predetermined stress on productivity of high density organic coffee orchard (7,142 plants ha^{-1}), cv. IAPAR 59, after pruning. The water regimes were: rain fed no irrigation (control), continuous irrigation, water suppression 30 days before harvest, suppression at harvest and suppression at harvest associated with stem conduction. The experimental design was a complete randomized block, where water regimes were the treatments, with six repetitions. Yield per plot and per plant were evaluated in 2011; in 2012, the fruits were subdivided in cherry, cherry and green, dry and floating, in addition to biennial and accumulated yield evaluations. In the first year after pruning there was no coffee production. Three years after, however, in 2012, yield was restored. The treatments with programmed irrigation stops had increased yields, overcoming the non-irrigated treatment. Continuous irrigation reduced the proportion of dry and floating fruits, although increased the proportion of green fruits. Stem conduction after pruning increased the proportion of cherry, with less dry and floating fruits. Suppression at harvest associated with stem conduction was effective on plant, biennial, and accumulated yields.*

Index terms: *Irrigation, biennial production, water stress, receipt.*

1 INTRODUÇÃO

O cafeeiro pertence à família Rubiaceae, gênero *Coffea* e abrange mais de 10 mil espécies, agrupadas em 630 gêneros. Contudo, *Coffea arabica* e *Coffea canephora* são as espécies mais pesquisadas (MELO; SOUSA, 2011).

O comércio internacional de café envolve cerca de 500 milhões de pessoas em sua gestão. Contudo, 70% da safra mundial são cultivados em pequenas propriedades com menos de 10 ha (DAMATTA et al., 2007). Segundo a Organização Internacional do Café - OIC (2013), a produção mundial em 2012/2013 deve alcançar 144,7 milhões de sacas de 60 kg, com aumento de 6,9% em relação à safra a anterior.

Para o Brasil, a Companhia Nacional de Abastecimento - CONAB (2013) estimou a produção nacional para 2013/2014 em 48,59 sacas de 60 kg ha^{-1} de café beneficiado, correspondente a 33,58% da produção mundial, com área total cultivada de 2,34 milhões de ha. Esses dados revelam a importância econômica da cafeicultura nacional e internacional.

No Brasil, um dos sistemas de produção, ainda que em menor representatividade, é o café orgânico. Além da busca por qualidade, esse sistema objetiva reduzir o impacto ambiental e o aumento de produção mediante práticas de reciclagem dos nutrientes, e manutenção da matéria orgânica sobre a superfície do solo.

[1,2,3]Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária/FAV - Universidade de Brasília/UnB - Cx. P. 04508 - 70.910-900 Brasília - DF - lmarques@tst.jus.br, spehar@brturbo.com.br, sandri@unb.br

Nessas condições, a umidade do solo torna-se mais estável ao longo do tempo, melhorando sua estrutura física e composição microbiológica (RICCI et al., 2006).

A produtividade dos cafezais diminui com o uso de agroquímicos de acordo com sua idade, enquanto que a dos cafezais orgânicos aumenta progressivamente. Deve-se, possivelmente, ao fato do sistema orgânico ser desenvolvido com base em equilíbrio nutricional, a partir de fontes orgânicas de nutrientes minerais. Esse sistema de produção agrega maior valor ao longo do tempo, proporcionando vantagens econômico-financeiras e ambientais ao produtor (GABRIEL et al., 2011). Além disso, a demanda por produtos obtidos a partir do atendimento a normas e aos princípios da agricultura orgânica cresce a cada ano, representando excelente opção de investimento e renda. Seguindo essa tendência, a Associação de Café Orgânico do Brasil - ACOB (2013) tem como meta ampliar a participação para 5% da produção nacional em dez anos e 10% em 20 anos. Atualmente, estima-se que seja de 0,25% do total de café produzido.

Aliado ao cultivo orgânico do café e ao estudo do manejo da irrigação pode-se optar pelo plantio adensado, como no Sul de Minas Gerais, visando aumento de produtividade. Ao longo do tempo, esse exige algum tipo de poda, em função da queda de produção quando ocorre o "fechamento" da lavoura. O rendimento médio e a produtividade, avaliados no Sul de Minas Gerais, foram maiores nos tratamentos irrigados, porém a irrigação retardou a maturação dos frutos (REZENDE et al., 2006). Evidenciou-se que a informação sobre café adensado, irrigado, submetido a algum tipo de poda é escassa e o que o efeito da irrigação na recuperação e produtividade da lavoura, deve ser avaliado.

O Cerrado Brasileiro apresenta período de seca que pode chegar a seis meses, tornando necessário o uso da irrigação, em que o manejo ainda necessita ser melhor definido, objetivando elevar-se a rentabilidade e qualidade final do produto e a conservação do meio ambiente (CARR, 2001). Ao mesmo tempo, para Guimarães et al. (2008), há carência de informações a respeito de características agronômicas de lavouras cafeeiras, submetidas ao manejo orgânico.

Outro ponto é que, apesar de haver um relativo crescimento na cafeicultura brasileira irrigada, verifica-se a falta de um manejo eficiente da irrigação, objetivando aumento do rendimento (MARTINS et al., 2007; SILVA et al., 2011). Ressalta-se que um dos aspectos que viabilizou o avanço da cultura cafeeira foi o desenvolvimento de sistemas de irrigação modernos e eficientes na aplicação da água, como o gotejamento, que na região de Cerrado é essencial no período de inverno.

A paralisação da irrigação por período definido sincroniza o desenvolvimento dos botões florais. Esse estresse hídrico moderado permite a sincronização do desenvolvimento das gemas reprodutivas, uniformidade de florada e maturação dos frutos (GUERRA et al., 2007). O estresse está associado ainda ao ajuste da oferta de nutrientes, em quantidades adequadas para contribuir para o enchimento dos grãos, crescimento de novos ramos e nós para a safra seguinte.

Para o produtor, a qualidade e a produtividade são requisitos importantes, pois estão diretamente relacionadas à lucratividade. Assim, técnicas que propiciem melhorar os índices de produção devem, sempre que possível, ser implementadas, com apoio de pesquisas, cujos resultados possam ser adotados pelo cafeicultor (REZENDE et al., 2010).

Este trabalho foi conduzido objetivando-se avaliar o efeito de diferentes regimes hídricos na produção e produtividade do cafeeiro orgânico adensado, recuperado após a poda de recepa.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na Fazenda Água Limpa, pertencente à Universidade de Brasília, Distrito Federal. Possui coordenadas geográficas de 15º 56' de latitude Sul e 47º 56' de longitude Oeste, estando situada a 1080 m de altitude (SANTANA et al., 2004). O solo do local do experimento é Latossolo Vermelho-amarelo (LVA), textura argilosa, fase Cerrado, apresentando boa drenagem. De acordo com Koppen e Geiger (1936), o clima é do tipo Aw tropical chuvoso e de inverno seco.

Avaliou-se a cv. IAPAR 59, progênie PR 75163-22 (*Coffea arabica* L.), em sistema adensado. As mudas de café foram transplantadas em abril de 2002, para cultivo no sistema convencional. Porém, a área de aproximadamente 1,0 ha foi convertida para o cultivo orgânico a partir de 2006. O espaçamento entre plantas foi de 2,0 m x 0,5 m, em linhas duplas espaçadas de 3,6 m, parcelas de 12,5 m de comprimento, sendo a área útil formada por três plantas centrais de cada linha, totalizando 7.142 plantas ha^{-1}. No manejo do cultivo seguiram-se as recomendações técnicas sugeridas por Ricci, Fernandes e Castro (2002).

O delineamento experimental foi em blocos inteiramente casualizados, nos quais as parcelas corresponderam a regime hídrico, com cinco tratamentos e seis repetições, totalizando 30 parcelas experimentais. O controle de plantas invasoras na linha de plantio foi realizado por capina manual até um raio de 0,30 m a partir da planta, e uso de roçadeira motorizada nas entrelinhas.

Os regimes hídricos foram estabelecidos como segue: Sem irrigação (RH1); Irrigação durante todo o ano (RH2); Paralisação da irrigação 30 dias antes da colheita (RH3); Paralisação da irrigação na colheita (RH4); Condução da poda de recepa associada à paralisação da irrigação na colheita (RH5). A irrigação foi realizada quando a tensão de água no solo atingia 40 kPa. A paralisação da irrigação com 30 dias antes da colheita ocorreu em 24/05/2011 e 24/05/2012 e as colheitas ocorreram em 24/06/2011 e 24/06/2012. A tensão de água no solo de 40 kPa foi definida objetivando reduzir a variação da tensão hídrica no solo, e proporcionar uma maior superfície de contato das raízes do cafeeiro recepado com a solução do solo, e consequentemente uma maior absorção de água e nutrientes. Assim, Santana et al. (2004) relatam que o crescimento da cultivar IAPAR 59, na região do Distrito Federal, é estimulado por fatores meteorológicos, especialmente a temperatura, associada ao teor de água no solo. Além disso, segundo Arantes, Faria e Rezende (2009), o crescimento do cafeeiro recepado é acelerado pelo aumento da disponibilidade de água no solo, a lâmina de 80% da ECA foi considerada a mais adequada para ser utilizada na recuperação do cafeeiro, após a recepa.

A poda de recepa foi realizada em outubro de 2009, consistindo no corte da planta a uma altura de 0,40 m em relação ao nível do solo, conduzindo-se a haste principal e removendo-se os demais ramos ortotrópicos, com auxílio de alicate de poda, entre 2009 e 2010. Utilizou-se irrigação por gotejamento superficial, com tubo gotejador em polietileno de baixa densidade de 16 mm de diâmetro, com emissores espaçados de 0,30 m, vazão nominal de 1,2 L h^{-1} e pressão de serviço de 100 kPa, com uma linha lateral por fileira de plantas, formando uma faixa molhada contínua com largura média de 0,60 m.

As lâminas de irrigação foram estimadas por meio da relação entre o volume de água em litros, aplicada por planta e área (em m^2) de abrangência do bulbo molhado, formado pelo gotejador (SILVA, 2005).

Assim, com a eficiência de aplicação (EA) de 90%, vazão do gotejador e área média de abrangência no solo umedecido, obteve-se a intensidade de aplicação (Ia) em mm h^{-1}. No manejo da irrigação foi considerado turno de rega variável, com reposição da lâmina de 13,33 mm sempre que a maioria dos sensores "Irrigas" indicava a tensão de 40 kPa (NASCIMENTO; OLIVEIRA; SILVA, 2010).

Foram instaladas seis baterias de sensores "Irrigas" nos tratamentos irrigados, com um sensor, a 0,20 m de profundidade e a 0,20 m de distância do caule do cafeeiro e uma bateria, com um sensor a 0,50 m de profundidade e a 0,20 m distante do caule. Para os tratamentos não irrigados, em que a tensão de água no solo pode atingir 1500 kPa, no período de inverno e o uso de tensiômetro não é recomendado, a umidade do solo foi monitorada pelo método gravimétrico, padrão de estufa, em amostras removidas na profundidade de 0,20 m. Os dados de temperaturas máxima, média e mínima, precipitação total e evaporação do tanque "Classe A" foram obtidos na estação meteorológica, localizada a 1000 m da área experimental.

Para análise de fertilidade foram coletadas 20 amostras de solo na área experimental, em abril de 2010, nas profundidades de 0,00 a 0,10 m, 0,10 a 0,20 m e 0,20 a 0,30 m. Nesse sistema de cultivo, seguiram-se recomendações técnicas de manejo do cafeeiro orgânico (RICCI; FERNANDES; CASTRO, 2002). Posteriormente, foram realizadas adubações de cobertura, na proporção de 400 kg ha^{-1} de N (torta de mamona, contendo 5% de N, 2% de P_2O_5, 1% de K_2O); 250 kg ha^{-1} de fósforo (termofosfato magnesiano yoorin master 1, 16% de P_20_5, 0,1% de B, 0,05% de Cu, 0,55% de Zn, 0,15% de Mn); 355 kg ha^{-1} de potássio (sulfato de potássio, 48% de K_20, 18% de S); 5 kg ha^{-1} de boro (ácido bórico, 17% de B) e 49 kg ha^{-1} de zinco (sulfato de zinco, 20% de Zn). Em março de 2010, primeiro ano após a poda de recepa, realizou-se adubação de cobertura, correspondente a 25% das doses mencionadas. Para o segundo ano, a adubação de cobertura foi dividida em quatro aplicações, com intervalos de 45 dias, de outubro de 2011 a abril de 2012, correspondente a 100% das doses mencionadas (BRASIL, 2008).

Durante o experimento, realizou-se o controle de *Cercospora coffeicola* com calda bordalesa, na proporção de 450 L ha^{-1} pulverizando-se em 18/08/2010 e 21/12/2010. Em 13/11/2012, foi utilizada a calda de viçosa na mesma proporção.

No controle de ácaro (*Oligonychus ilicis*), cochonilha (*Maconellicoccus hirsutus*), broca-do-café (*Hypothenemus hampei*) e bicho mineiro (*Leucoptera coffeella*) foram realizadas duas pulverizações com óleo de neem (*Azidarachta indica*), na proporção de 125 mL, para 100 L de água nas datas de 14/05/2012 e 11/09/2012 (RICCI; FERNANDES; CASTRO, 2002).

A colheita foi realizada em seis plantas da parcela, quando o percentual de frutos cerejas foi superior a 80%, o que ocorreu no período de 22 a 24/06/2011, por derriça manual em pano. Devido à baixa produção das parcelas sem irrigação, optou-se por não fazer a separação por estágios de maturação, para a safra de 2011. Os frutos de café foram secos em terreiro até atingir o teor de água aproximado de 12%, sendo cobertos durante a noite com uma lona plástica, para evitar a reabsorção de água. Após este período, pesaram-se as amostras em balança com precisão de 0,01g.

Para a safra de 2012, a colheita do café ocorreu no período de 11 a 12/06/2012 nas mesmas plantas, por derriça manual em pano. Imediatamente após colheita, o total de frutos colhidos foi colocado em recipientes de "PVC", com capacidade para 20 L, onde se realizou a separação manual dos frutos em cereja, verde, chocho e seco da seguinte maneira: a quantidade de frutos de café colhida em seis plantas por parcela foi colocada nos recipientes de "PVC" contendo água; primeiramente, os frutos boias, representado pelos verdes mal granados, seco e chocho foram retirados do recipiente e separados manualmente. Em seguida, os frutos cereja, verde e de "meia maturação", que estavam submersos, foram retirados do recipiente e separados manualmente. Os frutos cereja e de "meia maturação" foram avaliados juntos. Os frutos de café foram secos separadamente em terreiro de cimento, até atingirem a umidade de 12%, pesando-se as amostras em balança, com precisão de 0,01g. Após este período, coletaram-se três amostras de café com peso médio de 137,31 g cada, para avaliação do teor de água em estufa (105 ºC ± 3 ºC por 24 h), conforme orientação do Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento (BRASIL, 2009).

A produção foi calculada em g. planta^{-1} e a produtividade em sacas ha^{-1}. O valor obtido dos frutos cereja, cereja mais verde, seco mais chocho foi multiplicado por 0,5 (rendimento de 50%), obtendo-se a produção de grãos beneficiados por parcela, e a consequente produtividade (AUGUSTO et al., 2006).

O reinício da irrigação para cada ano foi condicionado a um período de suspensão da irrigação, variando de 57 a 100 dias e ao comportamento da temperatura média entre 18 ºC e 23 ºC. Assim, o retorno da irrigação, para o ano de 2011, ocorreu no dia 02/09/2011, para os tratamentos RH3, RH4 e RH5, com paralisações das irrigações por 100, 70 e 70 dias, respectivamente. Para o ano de 2012, o retorno da irrigação ocorreu no dia 20/08/2012 para os tratamentos RH3, RH4 e RH5, com suspensões das irrigações por 88, 57 e 57 dias, respectivamente.

Os dados foram submetidos à análise de variância, enquanto as médias entre os tratamentos foram comparadas pelo teste de Tukey ($P < 0.05$), utilizando o Statistical Analysis System Institute - SAS Institute (2004).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Verificou-se que, no período de abril a setembro de 2011, a precipitação pluviométrica foi nula, havendo efeito da irrigação (Figura 1). A precipitação acumulada durante o ano foi de 1.646,7 mm. Para o ano de 2012, não houve precipitação pluviométrica no período de junho até o início de setembro. A evaporação mensal do "Tanque Classe A", no período mencionado, superou as respectivas chuvas, permitindo avaliar o efeito dos regimes hídricos.

A precipitação anual, acumulada em 2012 foi de 1335,8 mm e a evaporação anual acumulada foi de 1754 mm, portanto, próximo da faixa de precipitação anual ótima de 1200 a 1800 mm (RENA; MAESTRI, 1987). As melhores condições para o cultivo do café, segundo Alves (2008), são: temperatura média anual de 19 ºC a 21 ºC, precipitação de 1400 a 1500 mm anuais, bem distribuídas na primavera, verão e outono.

Contudo, o período chuvoso na região onde o experimento foi conduzido concentrou-se de outubro até início de maio, implicando às parcelas não irrigadas elevado estresse hídrico, no período de inverno. Esse período coincide com a fase de maturação e abotoamento das plantas de café, em que o déficit hídrico não compromete a safra do corrente ano, porém, compromete o desenvolvimento dos botões florais e pode causar queda na produção do ano seguinte, comportamento observado no presente experimento.

As maiores amplitudes térmicas para 2011 foram observadas nos meses de junho, julho, setembro e outubro, com temperaturas máximas e mínimas mensais de 28,6 ºC, 29,3 ºC, 33,9 ºC e 32,3 ºC; e de 6,6 ºC, 5,0 ºC, 5,5 ºC e 11,2 ºC, respectivamente (Figura 2).

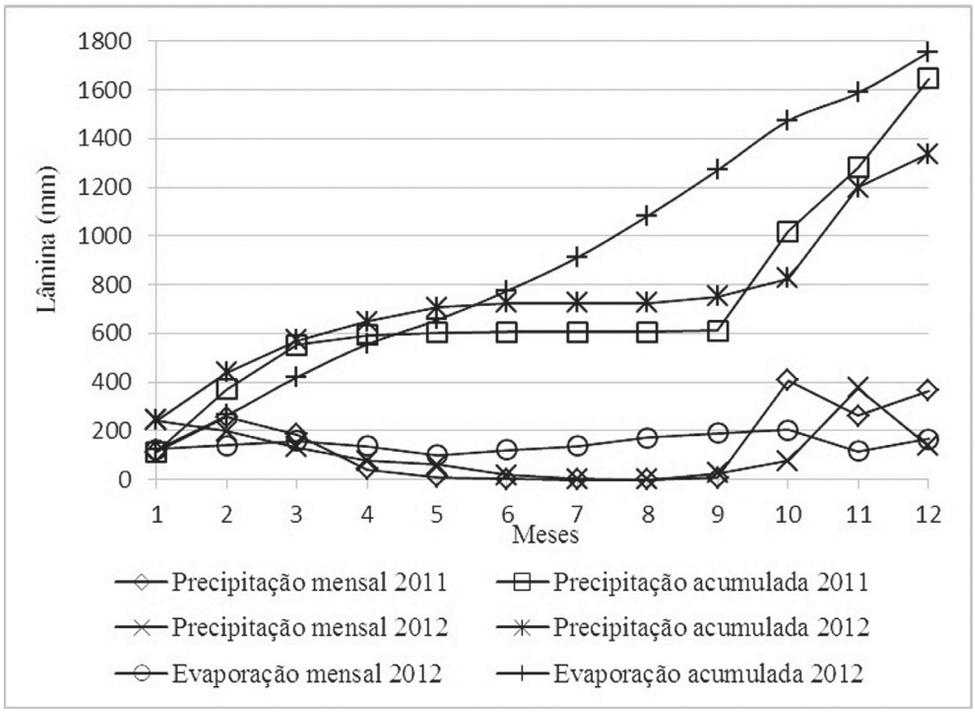

FIGURA 1 - Valores médios mensais e acumulados de precipitação e evaporação ao longo dos meses, para os anos de 2011 e 2012, obtidas na Estação Agrometeorológica Automática da Fazenda Água Limpa.

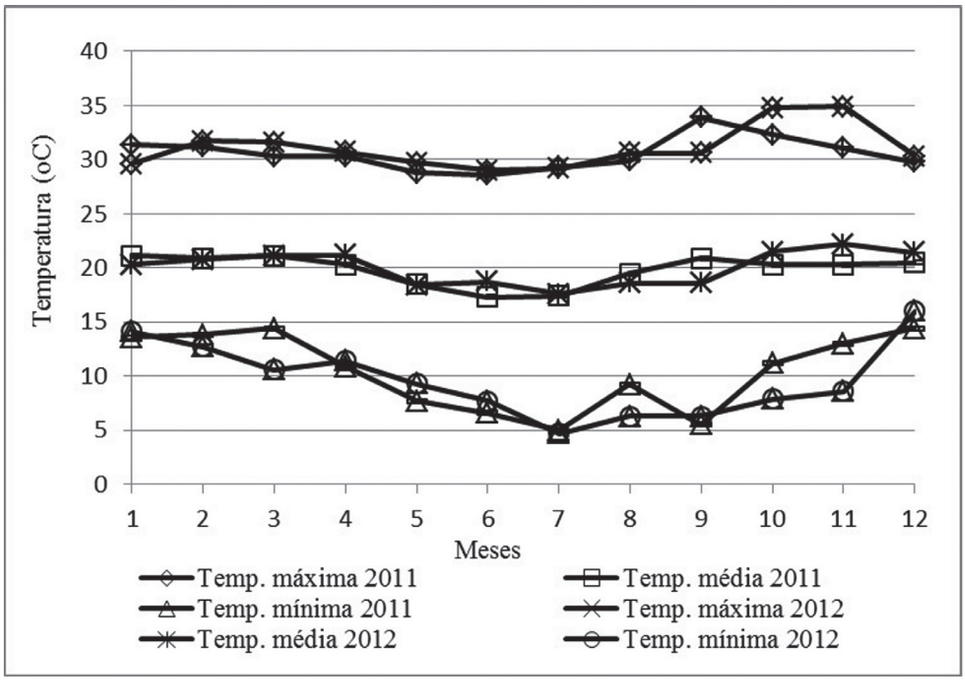

FIGURA 2 - Temperatura, mínima, média e máxima do ar para 2011 e 2012, observadas na Estação Agrometeorológica Automática da Fazenda Água Limpa.

Para o ano de 2012, as maiores amplitudes térmicas foram observadas nos meses de julho, agosto, setembro e outubro, com temperaturas máximas e mínimas mensais de 29,2 ºC, 30,6 ºC, 34,8 ºC e 34,9 ºC; e de 4,7 ºC, 6,3 ºC, 7,9 ºC e 8,6 ºC, respectivamente. Esse comportamento da temperatura, sobretudo nos meses de setembro e outubro pode ter contribuído para a redução da produção nos tratamentos sem irrigação, pois esse período coincidiu com a época em que o fruto, na fase de chumbinho, apresenta maior demanda por nutrientes, quando a água e a temperatura têm papel preponderante. Seguindo essa tendência, Rena e Maestri (1987) demonstram que o cafeeiro não tolera variações muito amplas de temperatura, sendo que as médias, abaixo de 16 ºC e acima de 24 ºC podem produzir efeito negativo, e o ótimo está compreendido entre 18 ºC e 21 ºC.

No tratamento sem irrigação para o ano de 2011, o teor médio de água no solo a 0,20 m foi de cerca de 15%, com base em peso, entre julho até o início de outubro, portanto, abaixo do ponto de murcha, indicando que a cultivar IAPAR 59 é tolerante à seca (Figura 3). Nesse sentido, Freire et al. (2013) relatam que o potencial hídrico foliar de antemanhã para a cultivar IAPAR 59, medidos em 2008 e 2009 na estação seca, foram de -0,80 MPa e -0,59 MPa, respectivamente. Já para a cultivar Rubi, o potencial hídrico foliar nas mesmas condições, foram de -1,88 MPa e -1,20 MPa, respectivamente, revelando que a cultivar IAPAR 59 é mais tolerante à seca do que a cultivar Rubi.

Dados referentes às características físico-hídricas foram utilizados por Santana (2003), para a elaboração da curva de retenção de água no solo. Eles revelam que a umidade na capacidade de campo nas camadas de 0-15, 15-30, 30-45, 45-60 foi de 40%, 36%, 35% e 36%, respectivamente. Para o ponto de murcha nas camadas de 0-15, 15-30, 30-45, 45-60, a umidade do solo foi de 23%, 23%, 21% e 22%, respectivamente (Tabela 1).

No período frio e seco do ano, o teor de água no solo para o tratamento sem irrigação atingiu 22,4%, correspondente a 1500 kPa, conforme a equação da curva de retenção de água no solo, que expressa o conteúdo de água em função do potencial matricial da água no solo, $Y = 43{,}6263 - 2{,}9076\ln(x)$ $Y = 43{,}6263 - 2{,}9076\ln(x)$, (r2 = 0,91), em que: Y = teor de água no solo (%) e x = tensão de água (kPa) (SANTANA et al., 2004).

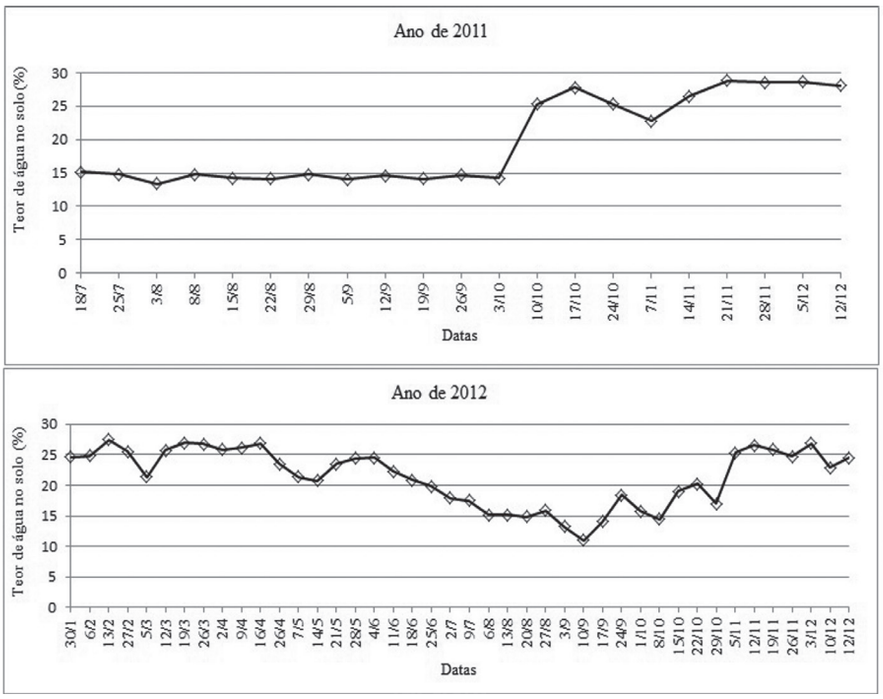

FIGURA 3 - Teor de água no solo, para os anos de 2011 e 2012, obtido pelo método gravimétrico, padrão de estufa, na profundidade de 0,20 m para as parcelas sem irrigação.

TABELA 1 - Propriedades físico-hídricas do solo em amostras coletadas antes do estabelecimento do experimento com o cafeeiro, Fazenda Água Limpa/UnB, 2001 (SANTANA, 2003).

Característica	Unidade	Profundidade			
		0-15	15-30	30-45	45-60
Densidade do solo	g/cm^3	0,88	0,85	0,78	0,79
Tensão 0 KPa	% Volume	59,2	60,9	62,4	62,4
Tensão 6 KPa	% Volume	39,8	36,1	35	36,2
Tensão 10 KPa	% Volume	36,8	32,7	31,6	32,5
Tensão 33 KPa	% Volume	32,7	29,6	27,7	28
Tensão 60 KPa	% Volume	31,2	28,2	26,6	26,7
Tensão 100 KPa	% Volume	29,4	27,3	25,6	25,7
Tensão 500 KPa	% Volume	25,9	25,3	23,2	23,8
Tensão 1500 KPa	% Volume	23,0	23,0	21,4	21,7
Saturação	% Volume	59	61	62	62
Capac.de Campo	% Volume	40	36	35	36
Microporos	% Volume	40	36	35	36
Ponto de Murcha	% Volume	23	23	21	22
Porosidade	% Volume	59	61	62	62
Macroporos	% Volume	19	25	27	26

Fonte: Santana (2003)

A partir do dia 10/10/2011 até 12/12/2011 e de janeiro a maio de 2012, o teor de água no solo para o tratamento sem irrigaçao ficou próximo da capacidade de campo (27,7%) . Em junho, iniciou-se uma redução do teor de água no solo persistindo até o mês de setembro. Verificou-se que, apesar da precipitação total localizar-se próxima do nível ideal para o desenvolvimento das plantas de café, esta concentrou-se no período de verão, resultando em baixos teores de água no solo, no período de inverno.

Embora tenha ocorrido um período longo de estiagem entre final de abril e outubro, com teor médio de água no solo de 15%, atingiram-se rendimentos consideráveis no tratamento sem irrigação, corroborando a relativa tolerância à seca em cafeeiro, relatadas por Morais et al. (2008), Nascimento, Oliveira e Silva (2010) e Pereira et al. (2007).

Este fato pode estar relacionado com a fase em que o cafeeiro apresenta pequeno crescimento vegetativo e os botões florais encontram-se quiescentes. Nessa condição, a planta apresenta uma demanda reduzida de água e nutrientes. Assim, a energia que seria gasta para o crescimento e produção de frutos é utilizada para a manutenção da planta. Igualmente, Damatta, Rena e Carvalho (2008) relatam que, no sudeste do Brasil, o desenvolvimento da parte aérea do cafeeiro varia sazonalmente: a fase ativa do crescimento vegetativo ocorre de setembro a março, período em que as temperaturas são relativamente altas e as chuvas abundantes; a fase quiescente, por seu turno, acompanha o período seco e frio, que se estende de março a setembro, com pequenas taxas de crescimento no fim de maio.

Com a paralisação da irrigação na colheita, em 2011, obteve-se a maior produção média por planta, diferindo dos demais tratamentos (Tabela 2). A irrigação até a colheita proporcionou efeito benéfico, no primeiro ano após a recepa. Assim, considerando que esse tipo de poda causa elevado estresse fisiológico no cafeeiro, é de se esperar que a recuperação mais efetiva aconteça com o menor período de paralisação da irrigação, nesse caso, de 70 dias. Resultados parecidos foram obtidos por Arantes, Faria e Rezende (2009), onde o cafeeiro, em recuperação após recepa, apresentou sensibilidade considerável à irrigação, promovendo recuperação acelerada da capacidade produtiva das plantas.

Por outro lado, quando não se irrigou o cafeeiro ou quando as regas foram contínuas, observou-se baixa produção média por planta.

TABELA 2 - Produção, produção bienal e produção acumulada do cafeeiro, cv. IAPAR 59, progênie PR 75163-22, em 2011 e 2012.

Tratamento	Produção (g.planta^{-1})		Produção bienal (g.planta^{-1})	Produção acumulada (g.planta^{-1})
	2011	2012		
RH1	39,02 c	94,09 d	66,55 d	133,11 d
RH2	41,09 c	226,26 c	133,67 c	267,35 c
RH3	69,58 b	246,22 c	157,90 b	315,80 b
RH4	103,95 a	268,59 b	186,27 a	372,54 a
RH5	56,75 bc	296,47 a	176,61 a	353,22 a
CV (%)	20,43	7,74	5,90	5,89
DMS	25,22	21,81	14,66	29,33

Médias com a mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si, ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey. Sem irrigação (RH1); Irrigação durante todo o ano (RH2); Paralisação da irrigação 30 dias antes da colheita (RH3); Paralisação da irrigação na colheita (RH4); Condução da poda de recepa com paralisação da irrigação na colheita (RH5).

Com isso, os dois extremos mostraram-se indesejáveis, reforçando o entendimento de que o cafeeiro precisa ser submetido a um período adequado de estresse hídrico (GUERRA et al., 2007).

Em 2012, a condução da poda de recepa, com paralisação da irrigação na colheita apresentou a maior produção por planta, enquanto o oposto ocorreu na ausência de irrigação diferindo dos demais tratamentos. Com isso, verificou-se que o efeito positivo do menor periodo de estresse hídrico e a condução da planta após poda contribuiram para aumentar a produção de café. Provavelmente, tenha havido efeito direto da condição hídrica foliar favorável propiciada pela redução de ramos concorrentes (SILVA; TEODORO; MELO, 2008). E ainda, segundo Bonomo et al. (2008), a irrigação elevou as produtividades das cultivares Katipó e Acaiá cerrado 1474, na região de Jataí/GO.

A paralisação da irrigação na colheita e a condução da poda de recepa, com paralisação da irrigação na colheita, apresentaram as maiores produções bienal e acumulada, não diferindo entre si, e as menores foram observadas na ausência de irrigação. Estes resultados refletem o estímulo positivo do menor período de estresse hídrico aplicado às plantas e da remoção das brotações de ramos ortotrópicos sobre a recuperação do cafeeiro, que estava no terceiro ano após a recepa. Considerando que essas são as primeiras colheitas após a recepa, em que a planta está em fase de crescimento vegetativo, o comportamento do cafeeiro segue os padrões de uma lavoura jovem, onde o efeito da bienalidade ainda não é pronunciado.

Neste contexto, segundo Pereira et al. (2007), cafeeiros podados por recepa e conduzidos com duas brotações por planta apresentaram efeitos positivos quanto aos componentes vegetativos das brotações e à produtividade.

Com a paralisação da irrigação na colheita, em 2011, os cafeeiros apresentaram maior produtividade e diferiram dos demais tratamentos (Tabela 3). Enquanto que, na ausência de irrigação, os cafeeiros apresentaram menor produtividade e não diferiram das plantas irrigadas durante todo o ano e da condução da poda de recepa, com paralisação da irrigação na colheita. Estes resultados, obtidos na região de Cerrado, confirmam efeitos positivos da irrigação alternada por estresse reduzido, na produtividade de cafeeiro (COELHO; SILVA, 2005).

Em 2012, cafeeiros submetidos à condução da poda de recepa, com paralisação da irrigação na colheita, apresentaram a maior produtividade e diferiram significativamente dos demais. Na ausência de irrigação obteve-se o pior desempenho. O efeito positivo do menor período de estresse hídrico aplicado pode ser atribuido à maior demanda hídrica pelo cafeeiro, no terceiro ano após a poda de recepa. Além disso, a resposta pode estar relacionada à adubação orgânica com liberação lenta dos nutrientes para o cafeeiro. Diferentemente, Scalco et al. (2011), em lavoura superadensada com 20.000 plantas ha^{-1}, verificaram que a maior demanda hídrica por irrigação ocorreu na primeira safra.

TABELA 3 - Produtividade, produtividade bienal e produtividade acumulada do cafeeiro, cv. IAPAR 59, progênie PR 75163-22 em 2011 e 2012.

Tratamento	Produtividade ($sc.ha^{-1}$)		Produtividade bienal ($sc.ha^{-1}$)	Produtividade acumulada ($sc.ha^{-1}$)
	2011	2012		
RH1	4,65 c	11,20 d	7,92 d	15,85 d
RH2	4,89 c	26,93 c	15,91 c	31,82 c
RH3	8,28 b	29,30 c	18,79 b	37,58 b
RH4	12,37 a	31,97 b	22,17 a	44,34 a
RH5	6,75 bc	35,29 a	21,02 a	42,04 a
CV (%)	20,43	7,73	5,84	5,84
DMS	3,00	2,60	1,73	3,46

Médias com a mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey. Sem irrigação (RH1); Irrigação durante todo o ano (RH2); Paralisação da irrigação 30 dias antes da colheita (RH3); Paralisação da irrigação na colheita (RH4); Condução da poda de recepa com paralisação da irrigação na colheita (RH5).

Relativamente à produtividade bienal, a paralisação da irrigação na colheita e condução da poda de recepa, com paralisação da irrigação, propiciaram aos cafeeiros produtividades mais elevadas, não havendo diferença significativa entre si, mas diferiram dos demais regimes hídricos. A menor produtividade foi observada na ausência de irrigação. Desempenho semelhante ocorreu para produtividade acumulada. Na ausência de irrigação a produtividade foi menor, diferindo dos demais regimes hidricos. Dessa forma, os estresses hídricos de 70 dias, em 2011, e 57 dias, em 2012, referentes aos tratamentos paralisação da irrigação na colheita e condução da poda de recepa, resultaram em produtividades mais elevadas, efeito desejável para os cafeicultores. Resultados semelhantes foram obtidos por Rezende et al. (2010), em que a irrigação entre abril e julho, realizada na cultivar Topázio MG-1190 (*Coffea arabica* L.), recepada aos 65 meses após o plantio, aumentou a produtividade e os menores rendimentos médios foram obtidos nos tratamentos não irrigados e irrigados, de agosto a outubro.

As médias de produção e produtividade dos tratamentos irrigados foram superiores às obtidas na ausência de irrigação (Tabela 4). Houve efeito das paralisações das irrigações, visando aumento de produção e qualidade dos frutos, em relação às parcelas não irrigadas, de acordo com os tipos a seguir:

Fruto cereja (C): A paralisação da irrigação na colheita com poda apresentou as maiores produção e produtividade, enquanto a testemunha diferiu negativamente dos demais tratamentos.

O maior percentual de frutos cereja em relação à massa total de frutos colhidos foi de 79,32%, verificado no tratamento com paralisação da irrigação na colheita, tendo relação direta com a qualidade da bebida do café. Nesse sentido, Simões, Faroni e Queiroz (2008) afirmam que a "prova de xícara" confirma que, quanto maior o percentual de frutos cereja, melhor a qualidade de bebida do café.

Ante o exposto, na região do Brasil Central, onde há um período de seca, de maio a setembro, a paralisação da irrigação do cafeeiro realizada na colheita, contribuiu positivamente para a produção e a produtividade do fruto cereja.

Frutos cereja mais verde (C + V): Igualmente, paralisação da irrigação na colheita com poda apresentou as maiores produção e produtividade enquanto a menor ocorreu na ausência de irrigação. O maior percentual de frutos cereja mais verde, em relação à massa total de frutos colhido, foi de 91,45%, verificado no tratamento com irrigação o ano todo. A suplementação contínua de água retardou a maturação dos frutos, como verificado em outras regiões produtoras de café, no Brasil (REZENDE et al., 2006; SCALCO et al., 2011). Os frutos verdes e secos são indesejáveis, pois contribuem para reduzir a qualidade da bebida. A quantidade ideal de frutos verdes na planta é de, no máximo 5%, sendo toleráveis quantidades de até 20% que, porém, trazem prejuízos na qualidade (BARTHOLO; GUIMARÃES, 1997).

TABELA 4 - Produção e produtividade de frutos cereja (C), cereja mais verde (C + V), seco mais chocho (S + CH), cereja mais verde mais seco mais chocho (C+V+S+CH) do cafeeiro, cv. IAPAR 59, progênie PR 75163-22 em 2012.

Tratamento	Produção por estágios de maturação (g.planta^{-1})						
	C	(%)	C+V	(%)	S+CH	(%)	C+V+S+CH
RH1	73,71 e	78,41	78,54 d	83,54	15,56d	16,55	94,01 d
RH2	173,15d	76,53	206,91c	91,45	19,34c	8,55	226,25c
RH3	191,79c	77,89	209,69c	85,16	36,53a	14,84	246,22c
RH4	213,05b	79,32	237,53b	88,44	31,05b	11,56	268,58b
RH5	231,66ª	78,14	262,02a	88,38	34,45a	11,62	296,47a
CV (%)	5,79		5,76		5,78		5,58
DMS	17,68		19,79		2,74		21,81
Tratamento	Produtividade por estágios de maturação (sc.ha^{-1})						
RH1	8,77 e	78,30	9,35 d	83,48	1,85 d	16,52	11,20 d
RH2	20,61 d	76,53	24,63 c	91,46	2,30 c	8,54	26,93 c
RH3	22,83 c	77,89	24,96 c	85,16	4,35 a	14,84	29,31 c
RH4	25,36 b	79,32	28,27 b	88,43	3,70 b	11,57	31,97 b
RH5	27,59 a	78,18	31,19 a	88,39	4,10 a	11,61	35,29 a
CV (%)	5,79		5,76		5,84		5,58
DMS	2,10		2,36		0,33		2,60

Médias com a mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade , pelo teste de Tukey. Sem irrigação (RH1); Irrigação durante todo o ano (RH2); Paralisação da irrigação 30 dias antes da colheita (RH3); Paralisação da irrigação na colheita (RH4); Condução da poda de recepa com paralisação da irrigação na colheita (RH5).

Café seco mais chocho (S + CH): Condução da poda de recepa, com paralisação da irrigação na colheita e paralisação da irrigação, 30 dias antes da colheita, não diferiram entre si, e apresentaram os maiores valores de produção e produtividade; já o tratamento sem irrigação apresentou as menores proporções de café seco mais chocho. O maior percentual em relação à massa total de frutos colhidos foi de 16,55%, verificado na ausência de irrigação, enquanto o menor percentual foi de 8,55%, com irrigação durante todo o ano.

Este fato pode estar associado ao elevado déficit hídrico no solo, observado no período de junho a setembro de 2012, onde o teor de água esteve próximo de 15%, abaixo do ponto de murcha permanente (Figura 3). Além disso, houve aumento significativo da temperatura máxima, nos meses de setembro e outubro de 2012, 34,8 ºC e 34,9 ºC, respectivamente (Figura 2).

A redução na quantidade de frutos secos e chochos demonstra a função que a água exerce sobre o desenvolvimento dos botões florais e que darão origem aos novos frutos de café.

Esses valores podem ainda ser influenciados por variações de temperatura, luminosidade, espaçamento de plantio e adubação (AGUIAR, 2004).

Frutos de café cereja mais verde mais seco mais chocho (C + V + S + CH): A paralisação da irrigação, na colheita com poda, apresentou as maiores produção e produtividade, em contraste com ausência de irrigação. Essa superioridade das plantas irrigadas em relação às não irrigadas também foi encontrada por Silva et al. (2011). Tanto a irrigação até a colheita, quanto a retirada dos ramos ladrões contribuíram para aumentar a produção total e a produtividade total. Assim, acredita-se que a absorção de água e nutrientes do solo pela planta, que seria utilizada para o crescimento dos ramos ortotrópicos, foi redirecionada para a produção de frutos.

4 CONCLUSÕES

No primeiro ano após a aplicação da poda de recepa em cafeeiro sob cultivo orgânico, não há produção. No terceiro ano de recuperação após a poda, as paralisações programadas das irrigações apresentam produtividades compatíveis com o esperado.

Irrigação durante todo o ano reduz a produção de frutos secos e chochos, contudo, aumenta a produção de frutos verdes. Quando realizada até a colheita, associada à condução do caule, a irrigação aumenta a produção de frutos cereja e reduz a produção dos frutos secos e chochos, em relação à massa total de frutos colhidos. A irrigação mantida até a colheita, associada à condução da poda de recepa, aumenta a produção e a produtividade bienal e acumulada.

5 AGRADECIMENTOS

Ao Consórcio Pesquisa Café/Embrapa/Café, à Fazenda Água Limpa, pertencente à Universidade de Brasília – (FAL/UnB).

6 REFERÊNCIAS

AGUIAR, A. T. E. Caracterização de cultivares de Coffea arabica mediante utilização de descritores mínimos. **Bragantia**, Campinas, v. 63, n. 2, p. 179-182, 2004.

ALVES, J. D. Morfologia do cafeeiro. In: CARVALHO, C. H. S. (Ed.). **Cultivares de café:** origem, características e recomendações. Brasília: EMBRAPA Café, 2008. v. 1, p. 35-56.

ARANTES, K. R.; FARIA, M. A. de; REZENDE, F. C. Recuperação do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) após recepa, submetido a diferentes lâminas de água e parcelamentos da adubação. **Acta Scientiarum, Agronomy**, Maringá, v. 31, n. 2, p. 313-319, 2009.

ASSOCIAÇÃO DE CAFÉ ORGÂNICO DO BRASIL. **Metas ambiciosas para o café orgânico:** Seagri. Disponível em: <http://www.seagri.ba.gov.br/noticias.asp?qact=view&notid=26960>. Acesso em: 24 maio 2013.

AUGUSTO, H. S. et al. Produtividade de cultivares de café (*Coffea arabica* L.) sob espaçamentos adensados. **Ceres**, Viçosa, v. 53, n. 308, p. 539-547, jul./ago. 2006.

BARTHOLO, G. F.; GUIMARÃES, P. T. G. Cuidados na colheita e preparo do café. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 18, n. 187, p. 33-42, 1997.

BONOMO, R. et al. Produtividade de cafeeiros arábica irrigados no cerrado goiano. **Pesquisa Agropecuária Tropical,** Goiânia, v. 38, n. 4, p. 233-240, out./dez. 2008.

BRASIL. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 64, de 18 dezembro de 2008. Dispõe sobre o Regulamento Técnico para os Sistemas Orgânicos de Produção Animal e Vegetal. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, n. 247, p. 21-26, 19 dez. 2008. Seção 1.

_____. **Regras para análise de sementes**. Brasília, 2009.

CARR, M. K. V. The water relations and irrigation requirements of coffee. **Experimental Agriculture**, Cambridge, v. 37, n. 1, p. 1-36, 2001.

COELHO, G.; SILVA, M. A. O efeito da época de irrigação e de parcelamento de adubação sobre a produtividade do cafeeiro em três safras consecutivas. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 29, n. 2, p. 400-408, mar./abr. 2005.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira de café:** safra 2013, segunda estimativa, maio/2013. Brasília, 2013. 18 p.

DAMATTA, F. M. et al. Ecophysiology of coffee growth and production. **Brazilian Journal of Plant Physiology,** Londrina, v. 19, n. 4, p. 485-510, Oct./Dec. 2007.

DAMATTA, F. M.; RENA, A. B.; CARVALHO, C. H. S. Aspectos fisiológicos do crescimento e da produção do cafeeiro. In: CARVALHO, C. H. S. (Ed.). **Cultivares de café:** origem, características e recomendações. Brasília: Embrapa Café, 2008. p. 59-68.

FREIRE, L. P. et al. Análise da expressão do gene manose 6 fosfato redutase em cafeeiros submetidos ao déficit hídrico. **Coffee Science**, Lavras, v. 8, n. 1, p. 17-23, jan./mar. 2013.

GABRIEL, J. E. F. et al. Análise matemática e estatística da produtividade de lavouras cafeeiras agroquímica e orgânica na região da Alta Paulista. **Revista Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 26, n. 1, p. 52-64, 2011.

GUERRA, A. F. et al. Sistema de produção de café irrigado: um novo enfoque. **Revista ITEM, Irrigação & Tecnologia Moderna**, Brasília, n. 73, p. 52-61, 2007.

GUIMARÃES, P. T. G. et al. Caracterização de lavouras cafeeiras cultivadas sob sistema orgânico no sul de Minas Gerais. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 5, p. 1402-1407, set./out. 2008.

KOPPEN, W. G.; GEIGER, R. M. **Das geographische system der klimate handbuch der klimatologie**. Berlin: Borntraeger, 1936. 44 p.

MARTINS, C. C. et al. Manejo da irrigação por gotejamento no cafeeiro (*Coffea arabica* L.). **Biosciencia Journal**, Uberlândia, v. 23, n. 2, p. 61-69, abr./jun. 2007.

MELO, B.; SOUSA, L. B. Biologia da reprodução de *Coffea arabica* L. e *Coffea canepfora* Pierre. **Revista Verde**, Mossoró, v. 6, n. 2, p. 1-7, abr./jun. 2011.

MORAIS, H. et al. Desenvolvimento de gemas florais, florada, fotossíntese e produtividade de cafeeiros em condições de sombreamento. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, n. 4, p. 465-472, abr. 2008.

NASCIMENTO, L. M.; OLIVEIRA, C. A. S.; SILVA, C. L. Paralisação da irrigação e sincronia do desenvolvimento das gemas reprodutivas de cafeeiros (*Coffea arabica* L.) orgânicos e adensados. **Coffee Science,** Lavras, v. 5, n. 2, p. 107-112, maio/ago. 2010.

ORGANIZACÃO INTERNACIONAL DO CAFÉ. **Café:** produção global de café deve crescer 6,9% em 2012/2013. Disponível em: <http://www.noticiasagricolas.com.br>. Acesso em: 10 maio 2013.

PEREIRA, S. P. et al. Crescimento vegetativo e produção de cafeeiros (*Coffea arabica* L.) recepados em duas épocas, conduzidos em espaçamentos crescentes. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 3, p. 643-649, maio/jun. 2007.

RENA, A. B.; MAESTRI, M. Ecofisiologia do cafeeiro. In: _____. **Ecofisiologia da produção agrícola.** Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1987. p. 119-145.

REZENDE, F. C. et al. Cafeeiro recepado e irrigado em diferentes épocas: produtividade e qualidade. **Coffee Science**, Lavras, v. 5, n. 3, p. 229-236, set./dez. 2010.

_____. Características produtivas do cafeeiro (*Coffea arabica* L. c., Topázio MG-1190), recepado e irrigado por gotejamento. **Coffee Science**, Lavras, v. 1, n. 2, p. 103-110, jul./dez. 2006.

RICCI, M. S. et al. Cultivo orgânico de cultivares de café a pleno sol e sombreado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 4, p. 569-575, abr. 2006.

RICCI, M. S.; FERNANDES, M. C. A.; CASTRO, C. M. **Cultivo orgânico do café**: recomendações técnicas. Brasília: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento; EMBRAPA Agrobiologia, 2002. 101 p.

SANTANA, M. S. **Crescimento inicial de duas cultivares de cafeeiro adensado influenciado por níveis de irrigação localizada**. 2003. 50 p. Dissertação (Mestrado em Gestão de Solo e Água) - Universidade de Brasília, Brasília, 2003.

_____. Crescimento inicial de duas cultivares de cafeeiro adensado influenciado por níveis de irrigação localizada. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 24, n. 3, p. 644-653, 2004.

SCALCO, M. S. et al. Cultivo irrigado e não irrigado do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) em plantio adensado. **Coffee Science**, Lavas, v. 6, n. 3, p. 193-202, set./dez. 2011.

SILVA, A. C. da et al. Características produtivas do cafeeiro arábica irrigado por pivô central na região de Lavras/MG. **Coffee Science**, Lavras, v. 6, n. 2, p. 128-136, maio/ago. 2011.

SILVA, A. C. da; TEODORO, F. E. R.; MELO, de B. Produtividade e rendimento do cafeeiro submetido a lâminas de irrigação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, n. 3, p. 387-394, mar. 2008.

SILVA, J. L. **Manejo da irrigação por gotejamento durante o terceiro ano do cultivo de cafeeiro adensado.** 2005. 62 p. Dissertação (Mestrado em Gestão de Solo e Água) - Universidade de Brasília, Brasília, 2005.

SIMÕES, R. O.; FARONI, L. R. A.; QUEIROZ, D. M. Qualidade dos grãos de café (*Coffea arabica* L.) em coco processados por via seca. **Caatinga**, Mossoró, v. 21, n. 2, p. 139-146, maio/jun. 2008.

STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM INSTITUTE. **Statistical Analysis System user's guide**. Version 9.1. Cary, 2004. 836 p.

RESÍDUO DE *BRACHIARIA* FERTILIZADA COM NITROGÊNIO NA ADUBAÇÃO DO CAFEEIRO

Adriene Woods Pedrosa[1], José Laércio Favarin[2], Ana Luisa Soares de Vasconcelos[3], Bruno Vasconcelos Carvalho[4], Felipe Brendler Oliveira[5], Gabriela Barbosa Neves[6]

(Recebido: 15 de agosto de 2013; aceito: 21 de outubro de 2013)

RESUMO: O uso de resíduos vegetais no cultivo do cafeeiro pode minimizar as perdas e favorecer o uso eficiente do nitrogênio. Objetivou-se, neste trabalho, avaliar como o modo de aplicação do nitrogênio, se na forrageira, no cafeeiro ou em ambos, afeta o crescimento do cafeeiro. Mudas de *Coffea arabica* foram plantadas em vasos de 25 L e cultivadas em casa de vegetação. O nitrogênio foi aplicado na forma de sulfato de amônio, ora diretamente no cafeeiro, ora na planta forrageira (*Brachiaria brizantha* cv. Marandu), a qual foi cultivada em parcelas de 10 m^2, sem N; e com 150 e 300 kg ha^{-1} de N, realizada aproximadamente 45 dias antes do corte da forrageira. Após o corte, 500 g de material vegetal fresco foram acondicionados em recipientes de nylon e colocados sobre os vasos. Amostras da braquiária foram colhidas para determinação da concentração de N-total e da relação C/N; bem como da concentração de N-total, no tecido foliar do cafeeiro. Em cada parcelamento de N e corte, avaliou-se a taxa de crescimento em diâmetro do caule e altura da planta. No final do experimente, avaliou-se a produção de massa seca, número de folhas e área foliar do cafeeiro; e, a biomassa restante da braquiária em degradação. O estado nutricional do cafeeiro não foi prejudicado, quando o nutriente foi fornecido via massa seca da forrageira, fertilizada com nitrogênio. A adição de resíduo da forrageira, sem adubação nitrogenada, favoreceu a imobilização do N do solo e reduziu a concentração de N-foliar do cafeeiro.

Termos para indexação: *Coffea arabica*, *Brachiaria brizantha* cv. Marandu, doses de nitrogênio, ciclagem de nutrientes, eficiência nutricional.

BRACHIARIA RESIDUES FERTILIZED WITH NITROGEN IN COFFEE FERTILIZATION

ABSTRACT: *The use of crop residues in the cultivation of the coffee can minimize nitrogen losses and promote its efficiently use. This study aimed to evaluate how the mode of application of nitrogen in the forage, in coffee or both affects of the seedlings' growth. Seedlings of Coffea arabica were planted in 25 L pots and grown in a greenhouse. Nitrogen was applied as ammonium sulfate, either directly on the coffee tree under the canopy, or sometimes on forage crop (Brachiaria brizantha cv. Marandu). This forage crop was grown in plots of 10 m^2, without N, and with 150 and 300 kg ha^{-1} N, which this fertilization was performed approximately 45 days prior to cutting the grass. After cutting 500 g of fresh plant, the material was placed in nylon containers and placed on the vessels. Samples were harvested to determine the concentration of total-N and C/N ratio, as well as the concentration of total-N in leaf tissue of the coffee plant. In each plot after the cutting of the plants, growth rate in diameter and plant height was recorded. In a final experiment the dry matter production, leaf number and leaf area of the coffee were evaluated, as well as the rest of Brachiaria in biomass degradation. The coffee nutritional status was not impaired when the nutrient was supplied via cycling biomass of forage fertilized with nitrogen. The addition of the forage residue without nitrogen fertilization favored the immobilization of soil N and reduced the concentration of N-coffee leaf.*

Index terms: *Coffea arabica, Brachiaria brizantha cv. Marandu, nitrogen doses, nutrient cycling, nutritional efficiency.*

1 INTRODUÇÃO

O uso de plantas de cobertura do solo tem sido uma estratégia capaz de aumentar a sustentabilidade da produção agrícola, trazendo benefícios para as culturas de interesse econômico, o solo e o ambiente. O manejo das plantas de cobertura e a compreensão dos fatores que regulam sua decomposição assumem importante papel na produção agrícola, por possibilitar a elaboração de técnicas de cultivo que melhorem a utilização dos nutrientes contidos nos resíduos vegetais (GAMA-RODRIGUES; GAMA-RODRIGUES; BRITO, 2007).

Os solos tropicais são pobres em N disponível para as culturas, e a adição de nutrição rica em N é fundamental para garantir a alta produtividade, o que onera a produção agrícola. A quantidade e a forma aplicada varia de acordo com o manejo de cada cultura, e esses dois são determinantes do nível de aproveitamento do N derivado dos adubos, sejam minerais ou orgânicos (URQUIAGA et al., 2002). Portanto, a decomposição dos resíduos vegetais constitui uma fonte alternativa de reservas nitrogenadas, em relação à adubação mineral, pois a existência desses resíduos orgânicos na superfície do solo

[1,2,3,4,5,6] Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" - ESALQ/USP - Departamento de Produção Vegetal - Fitotecnia Avenida Pádua Dias 11 - Cx. P 9 - 13.418-900 Piracicaba-SP - awoodsp74@gmail.com, jlfavari@esalq.usp.br, analuisacervicin@yahoo.com.br, brunovascar@yahoo.com.br, felipebrendler@msn.com, gbrl.neves@gmail.com

favorecem a ciclagem dos nutrientes, melhorando assim a fertilidade do solo e a nutrição de plantas, especialmente em relação ao nitrogênio.

Dentre os nutrientes minerais das plantas, o nitrogênio é o que mais limita a produtividade agrícola por participar da estrutura de inúmeros compostos vitais aos vegetais e ser o mais escasso no solo. A principal fonte de nitrogênio (N) para as plantas é a matéria orgânica (MO) do solo, além de fornecedora de elementos, como fósforo e enxofre e de vários micronutrientes. A matéria orgânica também é fonte de energia para os organismos que participam do ciclo biológico do solo, exercendo importante papel na microbiologia e na fertilidade (COTTA et al., 2007).

A mineralização da matéria orgânica libera N inorgânico, o qual constitui a principal fonte de N para as plantas nos sistemas agrícolas (CANTARELLA, 2007). Portanto, a qualidade e a quantidade do resíduo orgânico implicará em maior ou menor acúmulo de matéria orgânica no solo, bem como maior ou menor ciclagem de nutrientes (URQUIAGA et al., 2002). No entanto, para reduzir as perdas de N, que são inevitáveis, é fundamental otimizar o uso do fertilizante nitrogenado, bem como conhecer a forma como esse está sendo perdido para o meio ambiente.

O nitrogênio ligado à matéria orgânica do solo sofre diversas reações mediadas por microrganismos e, consequentemente, são afetadas por fatores climáticos, ambientais e de manejo. Dependendo da combinação desses fatores (umidade, temperatura, pH, etc.), o nitrogênio pode ser conservado, tornando-se disponível para as plantas, ou ser perdido por lixiviação, volatilização ou desnitrificação (CANTARELLA, 2007).

Em sistemas de cultivo, em que há aporte de material vegetal fresco, com C-orgânico disponível como fonte de energia, pode-se aumentar a ciclagem de N, comparativamente ao sistema, sem fornecimento de resíduos (CANTARELLA, 2007). Quando o fertilizante nitrogenado é aplicado no solo, uma parte do N é recuperada pelo sistema radicular e parte aérea, enquanto outra parte permanece no solo, podendo ficar imobilizada ou ser perdida do sistema solo-planta (FENILLI et al., 2008). Assim, a baixa eficiência no uso dos fertilizantes nitrogenados está associada à sua dinâmica no solo.

A relação C/N indica o nível de fertilidade desse material, e por meio de diversos mecanismos de mineralização da matéria orgânica do solo, o nitrogênio é liberado para as raízes das plantas, sob a forma de nitrito (NO_2).

A degradação gradual do material em matéria orgânica estável conduz à estabilização da relação entre C e N (COTTA et al., 2007). Quando se adiciona ao solo resíduos com relação C/N alta, os microrganismos utilizam o N dessa matéria orgânica e o N existente no solo, para produção de sua biomassa, diminuindo, dessa maneira, a relação C/N da matéria orgânica adicionada, bem como a disponibilidade de N para outras plantas (CANTARELLA, 2007).

A aquisição dos nutrientes pelo cafeeiro depende da eficiência dos mecanismos de absorção, do volume de solo explorado pelas raízes, bem como a forma como o nutriente foi fornecido à planta, se diretamente ou via resíduos. A eficiência de utilização reflete a capacidade da planta se desenvolver e produzir bem, sob determinado teor de nutriente no solo (AMARAL et al., 2011).

O estudo da eficiência nutricional do nitrogênio no cafeeiro tem grande importância, tendo em vista as diferentes formas de fornecimento do nitrogênio, que vem sendo empregada no consórcio braquiária *versus* café, sem que se conheça sua eficácia. Considerando que o custo do fertilizante contribui em até 30% do custo total da produção, a otimização da eficiência nutricional é fundamental, para melhorar a produtividade e reduzir custos de produção. Sendo, portanto, de fundamental importância a identificação do manejo mais eficaz, quanto à aplicação do fertilizante nitrogenado e o corte da braquiária.

O consórcio entre cafeeiro e braquiária tem sido cada vez mais utilizado, sua adoção pode diminuir as perdas de nitrogênio e, portanto, reduzir o custo de produção, devido à liberação gradual do N, contido na palhada da braquiária. No entanto, na literatura não há informações sobre o modo de aplicação da adubação nitrogenada, se este deve ser aplicado na forrageira, no cafeeiro ou em ambos a lanço. Objetivou-se, neste trabalho, avaliar como o modo de aplicação do nitrogênio, se na forrageira, no cafeeiro ou em ambos, afeta o crescimento do cafeeiro.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi implantado em casa de vegetação do Departamento de Produção Vegetal, na ESALQ-USP, em Piracicaba, SP. Mudas de *Coffea arabica* L. cv. Mundo Novo IAC 379-19 foram transplantadas para vasos de 25 L, contendo uma mistura de 70% de solo e 30% de areia. Os resultados da análise química da mistura

apresentaram as seguintes características: pH ($CaCl_2$) = 5,2; Ca = 37,0; Mg = 13,0; Al = 0,0; H+Al = 28; K = 4,7, expressos em $mmol_c\ dm^{-3}$; S-SO_4= 17 mg dm^{-3}; P_{res} = 21,0 mg dm^{-3}; matéria orgânica = 17,0 g cm^{-3}; capacidade de troca de cátions (CTC) = 83; V = 66% e N = 1,05 mg kg^{-1}. Os vasos foram irrigados sempre que necessário com, aproximadamente, 600 mL de água com um regador e adubados conforme os tratamentos. A adubação com os demais nutrientes foi realizada, de acordo com a recomendação de Raij et al. (1997).

O delineamento experimental foi em blocos casualizados, em que se utilizou quatro tratamentos e seis repetições.

A *Brachiaria brizantha* (Hochst. ex A. Rich.) Stapf Marandu foi cultivada em parcelas de, aproximadamente, 10 m², em canteiros do Departamento de Produção Vegetal. A braquiária foi roçada para uniformização da área e depois adubada com 300 kg ha^{-1} de N, parcelado em três vezes, de acordo com os tratamentos (100% da dose de N aplicada no cafeeiro sem braquiária, 100% da dose de N aplicada no cafeeiro com braquiária sem N, 50% da dose de N aplicada no cafeeiro e 50% na braquiária, 100% da dose de N aplicada na braquiária). Para o cafeeiro, seguiu-se a recomendação de 300 kg ha^{-1} de N, na forma de sulfato de amônio (RAIJ et al., 1997), o que correspondeu a 2,88 g de N, por vaso, no tratamento com 100% da dose. As adubações, bem como o manejo da braquiária, foram realizadas em outubro e dezembro de 2010 e janeiro de 2011, perfazendo três parcelamentos, sendo o experimento finalizado em junho de 2011, perfazendo um total de 240 dias experimentais.

Quarenta e cinco dias após cada parcelamento da adubação feita na braquiária, colheu-se a forrageira e uma amostra de 500 g de material vegetal fresco foi adicionado no vaso, sendo o volume máximo que cabia no recipiente, totalizando três cortes. As amostras da forrageira foram acondicionadas em recipientes de nylon de malha de 4 mm² e dimensão 30 cm x 30 cm, para evitar perdas e permitir o acompanhamento da decomposição do resíduo. Na mesma época, realizou-se a avaliação do diâmetro e altura da planta de cafeeiro, bem como a aplicação da adubação nitrogenada nos vasos, conforme os tratamentos.

Subamostras da braquiária e foliares do cafeeiro foram coletadas, em cada corte da braquiária. Essas foram secas em estufa a 70 °C até massa constante. Logo após, foi determinada a massa seca e as amostras moídas em moinho tipo Wiley, com peneira de 20 mesh, e, posteriormente, submetidas às análises químicas, para a determinação das concentrações de N-total, conforme metodologia de Kjedahl (BREMNER; MULVANEY, 1982). Análise do C foi feita via combustão seca, denominado método Dumas, em um Analisador Elementar CHNS/O, Série II da PerkinElmer, no Centro de Análise Agroambiental da Embrapa Arroz e Feijão.

A partir dos dados biométricos, foram calculadas as taxas de crescimento vegetativo das plantas em diâmetro do caule (mm) e altura (cm). A taxa de crescimento em diâmetro do caule (TCD; mm dia^{-1}) foi determinada pela expressão:

$$TCD = \Delta DC/\Delta t$$

em que: TCD (mm dia^{-1}) corresponde à taxa de crescimento do diâmetro das plantas; ΔDC (mm)b, à variação do diâmetro, obtido em cada intervalo de amostragem; e Δt (dias) refere-se aos intervalos entre as avaliações.

A taxa de crescimento em altura (TCA, cm dia^{-1}) foi determinada pela expressão:

$$TCA = \Delta H/\Delta t$$

em que: TCA (cm dia^{-1}) corresponde à taxa de crescimento em altura das plantas; ΔH (mm), à variação da altura obtida em cada intervalo de amostragem; e Δt (dias) refere-se aos intervalos entre as avaliações.

No final do experimento foi determinado o acúmulo de massa seca (g), nas diferentes partes do cafeeiro (folhas, ramos, caules, raízes e total). Bem como o número de folhas e a área foliar, determinada em um medidor de área foliar modelo LiCor 3100.

O conteúdo de nitrogênio (mg) determinado a partir do produto da massa seca total da planta e a concentração de N-total. A eficiência nutricional do nitrogênio foi calculada conforme as equações (AMARAL et al., 2011):

a) Eficiência de absorção (EA)

$$EA\ (mg\ g^{-1}) = CNT\ (mg) / MSR\ (g)$$

b(Eficiência de utilização (EU)

$$EU\ (g^2\ mg^{-1}) = MST^2\ (g) / CNT\ (mg)$$

c)Eficiência de utilização para produção de raízes (EPR)

$$EPR\ (g^2\ mg^{-1}) = MSR^2\ (g) / CNT\ (mg)$$

d)Eficiência de utilização para produção de parte aérea (EPA)

$$EPA\ (g^2\ mg^{-1}) = MSPA^2\ (g) / CNT\ (mg)$$

em que: MST corresponde à massa seca total da planta (g); MSR, à massa seca de raiz (g); MSPA, à massa seca da parte aérea (g), CNT, ao conteúdo total de N na planta (mg).

Os dados foram submetidos a testes de normalidade e homogeneidade de variâncias, e posteriormente à análise de variância pelo teste F e Tukey, a 5% de probabilidade, realizadas pelo programa Statistical Analysis System (SAS),do software para Windows 9.2 (STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM INSTITUTE - SAS INSTITUTE, 2010).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A concentração foliar de nitrogênio (N) do cafeeiro não foi prejudicada quando o nutriente foi fornecido via massa seca da planta forrageira fertilizada com N (Tabela 1). O fornecimento do nitrogênio completamente no cafeeiro sem resíduo de braquiária não apresentou diferença estatística, quando comparado com o fornecimento realizado parcialmente ou completamente via resíduo da braquiária adubada. No entanto, quando o fornecimento de nitrogênio foi realizado completamente no cafeeiro com resíduo de braquiária sem N, houve uma queda considerável na concentração foliar de N no cafeeiro, fato esse que pode ser explicado pela possível imobilização do N pelos microorganismos do solo, já que esse material foi o que apresentou maior relação C/N (Tabela 1).

O N-total nas folhas do cafeeiro foi inferior com a aplicação de toda a dose de N no cafeeiro, com braquiária sem adubação com N, em relação aos demais tratamentos (Tabela 1), o que pode ser explicado pela imobilização do nitrogênio do solo pelos micro-organismos. A adição de resíduo da forrageira ao solo afeta o equilíbrio entre a mineralização e a imobilização do N, o qual depende da relação C/N do material. Na adição ao solo de material rico em carbono e pobre em nitrogênio, uma vez que a braquiária não foi adubada com N, a imobilização microbiana de N é superior à decomposição, e com isso os microorganismos recorrem ao N-inorgânico presente no solo, para sustentar o crescimento da população microbiana (CANTARELLA, 2007).

As gramíneas produzem grande quantidade de massa seca rica em carbono e mantêm boa cobertura do solo, com exigência relativamente baixa, quanto ao preparo e fertilidade (TOLEDO et al., 2005). Além disso, normalmente, gramíneas possuem maior relação C/N, por isso, permanecem por mais tempo no solo; no entanto, no início da decomposição tende-se a maior imobilização de nutrientes, principalmente nitrogênio, visto que a quantidade de N não é suficiente para atender à demanda da microbiota decompositora, o que implica na sua imobilização e, portanto, redução na sua disponibilidade para outras culturas (TEIXEIRA et al., 2009).

O resíduo vegetal pobre em nitrogênio apresentou maior relação C/N e proporcionou menor concentração de N-foliar na planta de café (Tabelas 1 e 2). Gramíneas com maior relação C/N permanecem por mais tempo no solo, e, prevalecendo no início da decomposição uma maior imobilização de nutrientes, principalmente N, visto que a quantidade de N não é suficiente para atender à demanda da microbiota decompositora, o que implica na sua imobilização e, portanto, redução na sua disponibilidade a outras culturas (TEIXEIRA et al., 2009).

Para o teor de nitrogênio no solo não foi observada diferença estatística entre o tratamento, no qual o N foi aplicado completamente no cafeeiro sem resíduo de braquiária, com o fornecimento realizado parcialmente ou completamente, via resíduo da braquiária adubada, aos 120 e 240 dias após o início da aplicação dos tratamentos. Também foi observado, aos 120 dias, que, no tratamento no qual o fornecimento do nitrogênio foi realizado completamente no cafeeiro com resíduo da braquiária não adubada,esse apresentou o menor teor de nitrogênio no solo (4,52 mg kg^{-1} de solo), e que esse teor aumentou (5,13 mg kg^{-1} de solo), aos 240 dias. Esse fato comprova a imobilização inicial do nitrogênio do solo, quando o resíduo adicionado ao solo apresenta alta relação C/N (Tabela 2).

O fornecimento de material vegetal fresco (resíduos), com C-orgânico disponível como fonte de energia, pode aumentar a ciclagem de N, comparativamente ao sistema sem fornecimento de resíduos, mas quando se adicionam ao solo resíduos com alta relação C/N, os microrganismos utilizaram o N dessa matéria orgânica e o N existente no solo para produção de sua biomassa, diminuindo, dessa maneira, a relação C/N da matéria orgânica adicionada, bem como a disponibilidade de N para outras plantas (CANTARELLA, 2007).

TABELA 1 - Concentrações de N-total (mg g^{-1}) nas folhas (NF), ramos (NR), caules (NC) e raízes (NRz) do cafeeiro, no final do experimento.

TRATAMENTOS	NF	NR	NC	NRZ
	---------- mg g^{-1} ----------			
N no cafeeiro, sem resíduo de braquiária	30,4 a	23,6 a	10,3 a	23,6 a
N no cafeeiro, com resíduo braquiária sem N	27,1 b	21,3 b	9,0 ab	21,2 b
Parte do N no cafeeiro e parte na braquiária	31,1 a	23,3 a	9,1 ab	23,3 a
Todo N somente na braquiária	30,1 a	22,6 ab	8,1 b	22,6 ab
CV (%)	15,62	14,06	18,84	14,75

* Médias seguidas de mesma letra não diferem pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade.

TABELA 2 - Concentrações de N-total (g kg^{-1} de MS) nas folhas (NBq) e relação C/N da braquiária fresca, e teor de N no solo (mg kg^{-1} de solo), aos 120 e 240 dias, após o início das adubações e manejo da braquiária.

TRATAMENTOS	Braquiária		Solo (mg kg^{-1})	
	NBq (mg g^{-1})	C/N	120 dias	240 dias
N no cafeeiro, sem resíduo de braquiária	---	---	5,38 ab	5,38 ab
N no cafeeiro, com resíduo braquiária sem N	14,5	46,2	4,52 b	5,13 b
Parte do N no cafeeiro e parte na braquiária	22,5	28,5	5,83 a	5,72 a
Todo N somente na braquiária	36,5	17,1	4,91 b	5,5 ab
CV (%)	16,18	---	18,17	16,62

* Médias seguidas de mesma letra não diferem pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade

Para que a necessidade de N dos microrganismos decompositores seja atendida, sem que esses recorram ao N do solo, o resíduo deve ter aproximadamente 17 g kg^{-1} de N, o que corresponderia a uma relação C/N próxima dos 25 a 30 (SILGRAM; SHERPHER, 1999).

O que pode ser comprovado neste trabalho, no qual foi observado no tratamento com fornecimento de N completamente no cafeeiro com adição de resíduo de braquiária não adubada. Esse tratamento apresentou uma concentração média de 14,5 g kg^{-1} de N, o que resultou em uma C/N de 46, favorecendo dessa forma a imobilização do nitrogênio pelos microrganismos do solo (Tabela 2).

Em estudo sobre a mineralização de adubos verdes na cafeicultura, foi observado que, durante o período de incubação dos resíduos de *Brachiaria decumbens* Stapf, o nitrogênio presente nos resíduos atingiu estado de equilíbrio com o solo, pois essa gramínea apresentava adequadas formas solúveis de carbono, relação C/N=28 e baixo teor de lignina, o que fez com que o equilíbrio, no processo de mineralização e imobilização de N no solo, fosse atingido (CHACÓN et al., 2011). Portanto, a adição de fitomassa de gramíneas, com relação C/N intermediária (~30), proporciona, simultaneamente, proteção do solo e fornecimento de nitrogênio à cultura em sucessão ou consorciada.

A massa seca das folhas, ramos, caule, raízes e total, bem como o número de folhas foram superiores nos cafeeiros conduzidos na presença de resíduo da forrageira fertilizada com N, seja ela total ou parcial, quando comparada à fertilização total no cafeeiro sem resíduo de braquiária (Tabela 3). Fato esse que comprova a eficiência da adubação nitrogenada parcialmente no cafeeiro e na forrageira e não somente na cultura do café.

Os cafeeiros, que receberam braquiária sem fertilização nitrogenada, apresentaram maior massa seca remanescente da forrageira (Tabela 3), fato esse decorrente da maior relação C/N desse

TABELA 3 - Massa seca (g) nas folhas (MSF), ramos (MSR), caule (MSC), raízes (MSRz) e total (MST) do cafeeiro; e da braquiária (MSB) em decomposição (g) remanescentes, no final do experimento.

TRATAMENTOS	MSF	MSR	MSC	MSRz	MST	MSB
	---------- g ----------					
N no cafeeiro, sem resíduo de braquiária	64,6 b	25,7 b	49,6 b	26,6 c	166,5 b	---
N no cafeeiro, com resíduo braquiária sem N	85,2 a	38,2 a	49,2 b	30,8 bc	203,4 a	106,6 a
Parte do N no cafeeiro e parte na braquiária	80,7 ab	37,5 a	62,6 a	35,80 ab	216,6 a	83,5 b
Todo N somente na braquiária	77,2 ab	37,2 a	57,3 a	40,6 a	212,3 a	88,3 b
CV (%)	15,02	19,17	17,98	14,61	10,46	15,35

* Médias seguidas de mesma letra não diferem pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade.

TABELA 4 - Área foliar (AF), número de folhas (NF), taxas de crescimento em altura de planta (TCA em cm dia^{-1}) e em diâmetro do caule (TCD em mm dia^{-1}), para o cafeeiro ao final do experimento.

TRATAMENTOS	AF	NF	TCA (cm dia^{-1})	TCD (mm dia^{-1})
N no cafeeiro, sem resíduo de braquiária	8758,4 b	214,2 b	0,247 a	0,031 b
N no cafeeiro, com resíduo braquiária sem N	8782,6 b	274,7 a	0,201 a	0,049 a
Parte do N no cafeeiro e parte na braquiária	9998,5 a	278,8 a	0,246 a	0,052 a
Todo N somente na braquiária	9562,4 ab	290,1 a	0,221 a	0,047 a
CV (%)	15,89	19,42	28,88	17,31

* Médias seguidas de mesma letra não diferem pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade

material (Tabela 2), uma vez que resíduos com maior relação C/N permanecem por mais tempo no solo (TEIXEIRA et al., 2009).

A área foliar do cafeeiro foi superior quando a adubação nitrogenada foi realizada parcialmente no cafeeiro, indicando que esse manejo é mais eficiente do que os demais estudados (Tabela 4).

A TCA foram semelhantes, independe do modo de aplicação de nitrogênio, o que demonstra que, para essa variável, a adubação do cafeeiro pode ser realizada totalmente ou em parte na braquiária (Tabela 4). Pode-se inferir que a adição de resíduos da forrageira deve contribuir para maior enraizamento do cafeeiro e, dessa forma, propiciar maior aproveitamento do N, como indicam os dados apresentados na Tabela 2.

Para TCD, o fornecimento por completo da dose de N no cafeeiro, sem a presença de resíduo de braquiária foi inferior aos demais tratamentos (Tabela 4). Logo, a adubação nitrogenada feita na gramínea foi suficiente para suprir nutricionalmente o cafeeiro, após a decomposição do resíduo.

Portanto, em cultivo onde há aporte de material vegetal fresco, contendo C-orgânico disponível como fonte de energia, como no cafeeiro consorciado com braquiária esse cultivo tende a apresentar maior ciclagem de nitrogênio, em relação a sistema sem fornecimento de resíduos, fato comprovado na presente pesquisa (Tabela 4).

Em um estudo sobre a assimilação de nutrientes pelo cafeeiro, em função do manejo da cobertura do solo também foi observado que os cafeeiros que receberam resíduo de B. brizantha nas entrelinhas, foram significativamente mais altos e com diâmetro de caule maior, que os cafeeiros que não receberam resíduos (TOLEDO et al., 2005).

A eficiência de absorçao de nitrogênio só apresentou diferença estatística entre os tratamentos nos quais o nitrogênio foi aplicado completamente no cafeeiro, sem resíduo de braquiária, e a aplicação do nutriente completamente, via resíduo da braquiária (Tabela 5).

TABELA 5 - Eficiência de absorção de N (EA em mg g^{-1}), eficiência de utilização de N (EU em g^2 mg^{-1}), eficiência de utilização de N para produção de raízes (EPR em g^2 mg^{-1}) e eficiência de utilização de N para produção da parte aérea (EPA em g^2 mg^{-1}) do cafeeiro, no final do experimento.

TRATAMENTOS	EA	EU	EPR	EPA
	(mg g^{-1})	---------- (g^2 mg^{-1}) ---------		
N no cafeeiro, sem resíduo de braquiária	500,92 a	2,02 b	0,06 c	1,40 b
N no cafeeiro, com resíduo braquiária sem N	449,99 ab	2,37 ab	0,07 bc	1,64 ab
Parte do N no cafeeiro e parte na braquiária	417,43 ab	2,99 a	0,09 ab	2,02 a
Todo N somente na braquiária	372,78 b	2,92 a	0,10 a	1,91 a
CV (%)	14,43	15,11	24,68	17,79

* Médias seguidas de mesma letra não diferem pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade

No tratamento no qual o nitrogênio foi aplicado completamente no cafeeiro, sem resíduo de braquiária, foi observada maior eficiência de absorção de nitrogênio, o que pode ser explicado pelo fato de que, neste tratamento, o nutriente ficou prontamente disponível para absorção pelo cafeeiro, logo após sua aplicação, mas isso não resultou em maior eficiência de utilização do mesmo.

A aquisição de nutrientes depende dos mecanismos de absorção e do volume de solo explorado pelas raízes; tais mecanismos podem ser avaliados pelas eficiências de absorção e de produção de raízes (MARTINEZ et al., 1993). Neste experimento, pôde ser constatado que, apesar de apresentar altas concentrações de nitrogênio nas diferentes partes avaliadas (Tabela 1), o tratamento no qual o N foi completamente fornecido ao cafeeiro, sem resíduo da braquiária,apresentou as menores eficiências de utilização, produção de raízes e parte aérea (Tabela 5). O que mais uma vez demonstra que o resíduo da braquiária traz benefícios ao desenvolvimento do cafeeiro.

Em um estudo sobre os aspectos nutricionais foi definido que a eficiência de uso ou nutricional é resultante do produto entre as eficiências de aquisição e utilização; por sua vez, a eficiência de aquisição é composta pela eficiência de absorção e de enraizamento, enquanto a eficiência de utilização é formada pela eficiência de transporte e de produção de biomassa (LI; MCKEAND; ALLEN, 1991). Portanto, quanto maior for a eficiência de utilização de nutrientes, maior a eficiência de uma variedade em converter o nutriente em massa seca.

Na ciclagem da matéria orgânica do solo para a liberação de nutrientes ao sistema solo-planta de forma adequada, deve-se considerar não só a quantidade de resíduo, mas também sua qualidade, de forma a alcançar sistemas de cultivo agrícola sustentável, e a correta seleção do insumo e sua quantidade permitem elaborar práticas de manejo que otimizem o uso dos resíduos orgânicos, garantindo, ao mesmo tempo, a conservação do solo e a produtividade (CHACÓN et al., 2011).

O correto manejo da braquiária consorciada ao cafeeiro pode proporcionar um bom controle de plantas indesejáveis, proteger o solo contra efeitos diretos do sol e da chuva e fornecer nutriente para o cafeeiro, sobretudo nitrogênio, principalmente, quando a adubação for realizada no sistema, ou seja, parcialmente no cafeeiro e na braquiária.

Os dados obtidos reforçam a idéia de que o uso de resíduos de braquiária sob a copa do cafeeiro é uma alternativa viável de cultivo mais sustentável, por reciclar nutrientes que poderão ser utilizados durante e nos próximos ciclos do cafeeiro, após sua decomposição e armazenamento no solo, como matéria orgânica com posterior remineralização.

4 CONCLUSÕES

A adição de resíduo de braquiária adubada com nitrogênio, independente da dose, nutre adequadamente o cafeeiro quanto às necssidades de N.

A adição de resíduo da forrageira, não adubada com nitrogênio, favorece a imobilização do N do solo e reduz a concentração de N-foliar do cafeeiro.

A adição do resíduo da braquiária adubada com nitrogênio favorece uma maior eficiência de utilização do nitrogênio, pelo cafeeiro.

5 REFERÊNCIAS

AMARAL, J. F. T. et al. Eficiência da utilização de nutrientes por cultivares de cafeeiro. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 41, n. 4, p. 621-629, abr. 2011.

BREMNER, J. M.; MULVANEY, C. S. Nitrogen total. In: PAGE, A. L. (Ed.). **Methods of soil analysis**. 2nd ed. Madison: Soil Science Society of America, 1982. p. 595-624.

CANTARELLA, H. Nitrogênio. In: NOVAIS, R. F. et al. (Ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 375-470.

CHACÓN, E. A. V. et al. Decomposição de fontes orgânicas e mineralização de formas de nitrogênio e fósforo. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 58, n. 3, p. 373-383, maio/jun. 2011.

COTTA, J. A. O. et al. Validação do método para determinação de Nitrogênio Kjeldahl Total. **Revista Analytica**, Rio de Janeiro, n. 26, p. 68-75, dez. 2006/jan. 2007.

FENILLI, T. A. B. et al. Fertilizer ^{15}N balance in a coffee cropping system: a case study in Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, p. 1459-1469, 2008.

GAMA-RODRIGUES, A. C. da; GAMA-RODRIGUES, E. F. da; BRITO, E. C. de. Decomposição e liberação de nutrientes de resíduos culturais de plantas de cobertura em argissolo vermelho-amarelo na região noroeste fluminense. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, p. 1421-1428, 2007.

LI, B.; MCKEAND, S. E.; ALLEN, H. L. Genetic variation in nitrogen use efficiency of loblolly pine seedlings. **Forest Science**, Bethesda, v. 37, n. 2, p. 613-626, 1991.

MARTINEZ, H. E. P. et al. Comportamento de variedades de soja cultivadas sob diferentes níveis de fósforo: II., translocação do fósforo absorvido e eficiência nutricional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 17, p. 239-244, 1993.

RAIJ, V. et al. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2. ed. Campinas: UNICAMP, 1997. 290 p. (Boletim Técnico, 100).

SILGRAM, M.; SHEPHERD, M. A. The effects of cultivation on soil nitrogen mineralization. **Advances in Agronomy**, Madison, v. 65, p. 267-311, 1999.

STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM INSTITUTE. **SAS/STAT user's guide**. Version 9.2. Cary, 2010.

TEIXEIRA, C. M. et al. Decomposição e liberação de nutrientes das palhadas de milheto e milheto mais crotalária no plantio direto do feijoeiro. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 31, n. 4, p. 647-653, 2009.

TOLEDO, D. S. et al. Assimilação de nutrientes e desenvolvimento de cafezal orgânico em função do manejo da cobertura do solo. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 4., 2005, Londrina. **Resumos Expandidos...** Brasília: EMBRAPA Café, 2005. 1 CD-ROM.

URQUIAGA, S. et al. Influence of crop rotation and soil tillage system in the organic C balance in an oxisol (Typic Haplorthox). In: CONGRESSO MUNDIAL DE CIÊNCIA DO SOLO, 17., 2002, Bangkok. **Resumos Expandidos...** Bangkok: Srimuang, 2002. 1 CD-ROM.

ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR, DENSIDADE DE PLANTIO E MANEJO DE IRRIGAÇÃO DO CAFEEIRO

Fátima Conceição Rezende[1], André Luiz Dias Caldas[2], Myriane Stella Scalco[3], Manoel Alves de Faria[4]

(Recebido: 23 de agosto de 2013; aceito: 5 de novembro de 2013)

RESUMO: O estresse hídrico pode afetar a arquitetura do dossel, o uso da radiação e reduzir o índice de área foliar que é diretamente relacionado à evapotranspiração. Objetivou-se, neste trabalho, avaliar o índice de área foliar do cafeeiro, em função do sistema de plantio e do manejo de irrigação. O experimento foi conduzido na UFLA em uma lavoura de café Rubi, irrigada por gotejamento. O delineamento utilizado foi de blocos casualizados, em esquema de parcelas subdivididas (densidade de plantio nas parcelas e tratamentos de irrigação nas subparcelas) e quatro repetições. Adotaram-se três manejos de irrigação: sem irrigação (T0), irrigado quando a tensão da água no solo atingiu valores próximos a 60 kPa, no tensiômetro localizado a 0,25 m de profundidade (T2), e irrigado segunda, quarta e sexta-feira, repondo a lâmina perdida por evapotranspiração (T3), sob quatro densidades de plantio (2500, 3333, 5000 e 10.000 plantas ha^{-1}). O índice de área foliar foi medido de abril a dezembro, em 2009 e 2010 e de abril a setembro em 2011, utilizando o LAI 2000. As medidas foram realizadas em uma linha de cada subparcela, que tinha 10 plantas. Os dados representam a média das leituras. O índice de área foliar tende a aumentar com o aumento da densidade de plantio e é variável ao longo do ano, sofrendo forte influência da colheita e da ocorrência de doenças e pragas A irrigação pode proporcionar maior índice de área foliar, independente da densidade de plantio e tende a apresentar maior efeito na densidade de 2500 plantas ha^{-1}.

Termos para indexação: *Coffea arabica*, estresse hídrico, gotejamento.

LEAF AREA INDEX, PLANT DENSITY AND WATER MANAGEMENT OF COFFEE

ABSTRACT: *Water stress can affect the canopy architecture, the use of radiation and reduce leaf area index. The leaf area index is a parameter that is a directly related to evapotanspiration. Was evaluated the leaf area index of coffee in a function of tillage system and irrigation management in a orchard of coffee, cv. Rubi MG-1192, drip irrigation. A randomized block experimental design with split-plot (density in plots and subplot irrigation treatments) and four replications. Was adopted three irrigation management: no irrigation (T0), irrigated when t soil water tension reached 60 kPa in tensiometers installed at 0.25 m depth (T2) and irrigated Monday, Wednesday and Friday, replacing the depth evapotranspiration (T3), under four planting densities (2500, 3333, 5000 and 10000 plants ha^{-1}). Leaf area index was measured from April to December of 2009 and 2010 and April to September of 2011 the late afternoon using the Canopy Plant Analyzer (LAI 2000). Measurements were taken in a plot with 10 plants and the data represent the average of the readings. The leaf area index tends to increase with the increase of planting density and varies throughout the year, suffering strong influence of harvest and occurrence of diseases and pest. Irrigation can providing greater leaf area index independent of plant density and tends to present higher effect on density of 2500 plants ha^{-1}.*

Index terms: *Coffea arabica, water stress, drip irrigation.*

1 INTRODUÇÃO

A densidade de plantio e a irrigação são práticas que alteram o microclima da cultura interferindo na temperatura, umidade relativa do ar, luminosidade e, consequentemente, afetando a área foliar do dossel. De acordo com Blanco e Folegatti (2005), a área foliar é uma importante variável para estudos agronômicos e fisiológicos envolvendo o crescimento da planta, interceptação de luz, eficiência fotossintética, evapotranspiração e resposta aos fertilizantes e irrigação. A área foliar influencia fortemente o crescimento e a produtividade da cultura e a estimativa da mesma é um componente fundamental dos modelos de crescimento da cultura (LIZASO; BATCHELOR; WESTGATE, 2003), bem como para previsão de produtividade (POCOCK; EVANS; MEMMOTT, 2010; WHITE et al., 2010). Conforme Coelho Filho et al. (2005), dentre os diferentes usos do conhecimento de área foliar de plantas, destaca-se a estimativa da transpiração, fundamental para o manejo da irrigação localizada em fruteiras. O índice de área foliar é a relação existente entre a área foliar e a área do terreno ocupada pela cultura e de acordo com Righi e Bernardes (2008), são determinantes da produtividade. Qualquer mudança no índice de área foliar do dossel,

[1,2,3,4]Universidade Federal de Lavras/UFLA - Departamento de Engenharia/DEG - Laboratório de Hidráulica - Cx. P. 3037 37.200-000 - Lavras - MG - frezende@deg.ufla.br, caldasagri@yahoo.com.br, msscalco@deg.ufla.br, mafaria@deg.ufla.br

causado por geadas, tempestades, desfolhas, seca, práticas de manejo, etc., é acompanhada de alterações em produtividade (BRÉDA, 2003). O estresse hídrico, a deficiência nutricional e doenças e/ou pragas podem impor uma atividade biológica que resulte na redução da produção da biomassa. Em consequência, a estrutura do dossel pode ser afetada alterando-se o regime de uso da radiação solar.

São poucos os estudos sobre área foliar (AF) e índice de área foliar (IAF) para a cultura do café, mas Arcila-Pulgarín e Chaves-Córdoba (1995), Villa Nova et al. (2002) e Valencia (1973), apresentam dados sobre a variação de AF e IAF, em função do tempo, para o café arabica cv. Caturra, Colombia e Apoatã IAC-2258, respectivamente. Segundo Valencia (1973) o índice de área foliar ótimo para o Coffea arabica variedade Caturra é de 8 e, esse índice pode ser alcançado três anos após o plantio, com densidade de 10000 plantas ha^{-1}, ou aos quatro anos, com 5000 plantas $ha-^{1}$. No trabalho desenvolvido por Arcila-Pulgarín e Chaves-Córdoba (1995), foi observado que o índice de área foliar variou com a idade da planta e com a densidade de plantio, atingindo valores de 9,8, 9,11 e 5,84 para as densidades de 10000, 5000 e 2500 plantas ha^{-1}, respectivamente. De acordo com Pereira, Camargo e Villa Nova (2011), independentemente da cultivar, o desenvolvimento da área foliar mostra o mesmo padrão ao longo do tempo e a área foliar máxima, por planta, tende a ser atingida de três a cinco anos após plantio, sendo determinada pela densidade de plantio.

Conhecer a variação temporal do índice de área foliar do cafeeiro permitirá definir as melhores estratégias de manejo de irrigação, uma vez que a área foliar é a responsável pelas maiores perdas de água (FAVARIN et al., 2002), bem como do seu potencial de produção. De acordo com Barbosa et al. (2012), não existem métodos de estimativa que considerem as particularidades da cultura do café que afetam o índice de área foliar no tempo e no espaço e permitam estimar essa variável, não só para plantas isoladas, como também para cada linha de plantio. Existem trabalhos realizados para determinar-se a variação temporal do índice de área foliar de culturas anuais. Entretanto, no Brasil, são escassos os trabalhos de pesquisa sobre essa variável para o cafeeiro. Assim, objetivou-se,neste trabalho, avaliar a variação do índice de área foliar do cafeeiro, em função da densidade de plantio e do manejo de irrigação.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi conduzido na área experimental do Setor de Cafeicultura da Universidade Federal de Lavras/MG. A área está situada a uma altitude média de 910m, latitude sul de 21º 14', longitude oeste de 45º 00'. De acordo com a classificação de Köppen, o clima da região é do tipo Cwa, caracterizado por uma estação chuvosa (de outubro a março) e uma estação seca (de abril a setembro). A temperatura média do mês mais quente é de 22,8 ºC, a do mês mais frio é de 17,1 ºC, com uma média anual de 20,4 ºC, a precipitação anual é de 1460 mm e a evapotranspiração potencial de 956 mm. (DANTAS; CARVALHO; FERREIRA, 2007). O plantio da lavoura foi realizado em três de janeiro de 2001, utilizando-se mudas sadias de cafeeiro, Coffea arabica L. cv. Rubi MG-1192 e, em agosto de 2007, as plantas foram decotadas a 1,40 m de altura e esqueletadas a 0,40m do ramo ortotrópico. Desde a instalação do experimento, a adubação de todas as parcelas experimentais foi realizada com base nos resultados da análise de fertilidade do solo e recomendações da Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais - CFSMG (1999), sendo os valores corrigidos para cafeeiros irrigados. Nos tratamentos irrigados, a adubação com macronutrientes foi feita por fertirrigação e nos não irrigados, de forma manual; porém utilizando as mesmas fontes. Durante a condução do experimento, os tratos culturais foram realizados de acordo com a necessidade da cultura.

O sistema de irrigação utilizado na área foi gotejamento, em que a água foi distribuída às plantas através de gotejadores autocompensantes, com vazão nominal de 3,75 $^{L\ h-1}$. O espaçamento entre gotejadores foi de 0,40 m, formando uma faixa molhada contínua ao longo da linha de plantio.

O delineamento experimental foi o de blocos casualizados, com quatro repetições, em esquema de parcelas subdivididas. As quatro densidades de plantio foram localizadas nas parcelas e os manejos de irrigação e as testemunhas não irrigadas foram distribuídas aleatoriamente nas subparcelas. Cada subparcela foi constituída por 10 plantas e os tratamentos constaram de três manejos da irrigação, sendo: uma testemunha sem irrigação (T0); irrigações durante todo o ano, quando a tensão da água no solo atingia valores próximos de 60 kPa no tensiômetro, localizado a 0,25 m de profundidade (T2), e irrigações pelo manejo do balanço hídrico climatológico (BHC), utilizando-se o software Irriplus, irrigando-se

três vezes por semana (segunda, quarta e sexta-feira) (T3) repondo a lâmina evapotranspirada, no intervalo entre as irrigações. Esses tratamentos de irrigação foram estudados em quatro densidades de plantio sendo: 2500 plantas ha^{-1} (4,0x1,0 m), 3333 plantas ha^{-1} (3,0x1,0 m), 5000 plantas ha^{-1} (2,0x1,0 m) e 10000 plantas ha^{-1} (2,0x0,5 m).

No tratamento T2, a lâmina necessária para elevar a umidade do solo à capacidade de campo, foi calculada considerando as leituras dos tensiômetros instalados a 0,10; 0,25; 0,40 e 0,60 m, representando as camadas de 0 a 0,175 m, de 0,175 a 0,325 m, de 0,325 a 0,50 m e superior a 0,50 m, respectivamente. Os dados de tensão foram obtidos com leituras diárias. Os dados meteorológicos necessários para o cálculo do balanço hídrico climatológico, usados no software Irriplus, foram monitorados diretamente no local do experimento, utilizando-se uma estação meteorológica µmetos.

O índice de área foliar foi obtido utilizando o LAI 2000 Plant Canopy Analizer, fabricado pela LICOR Inc./USA, e um sensor com uma abertura de 90º. Em cada subparcela, definida por 10 plantas, foi realizada uma medida acima da vegetação (leitura do espaço sem interferência de qualquer forma de sombreamento) e oito medidas sob a copa, ao longo do renque formado pelas plantas da subparcela. As medidas foram realizadas no final da tarde, período em que predomina a fração de radiação difusa, minimizando-se os erros relativos à incidência de radiação direta no sensor. O índice de área foliar (IAF) foi avaliado de abril a dezembro de 2009 e 2010 e de abril a setembro de 2011.

Embora os tratamentos tenham sido dispostos obedecendo um delineamento experimental não foi realizada uma análise estatística clássica, pois entre as diversas datas de avaliação, outros fatores (climáticos e condições da planta), que não os tratamentos aplicados , podem influenciar nos resultados. Com os dados obtidos foram feitas representações gráficas em função do tempo para os diversos tratamentos, visando-se analisar o comportamento desse índice.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados da precipitação anual e das lâminas de irrigação aplicadas nos tratamentos irrigados T2 e T3, nos anos 2009, 2010 e 2011, estão apresentados no Quadro 1. Em 2010, a precipitação registrada foi de 1269,5 mm, sendo, aproximadamente, 30% inferior ao observado em 2009.

Em 2009, no tratamento T2 e T3, em todas as densidades de plantio, a lâmina total fornecida (P+I) foi superior a 2000 mm. No tratamento T2, a lâmina aplicada na densidade de 5000 plantas ha^{-1} nos três anos de avaliação, foi superior à lâmina aplicada na densidade de 10000 plantas ha^{-1}. Verificou-se também que, de 2009 para 2010, no tratamento T2, a lâmina aplicada aumentou em todas as densidades de plantio. No tratamento T3, em 2009, a lâmina aplicada aumentou com o aumento do número de plantas, porém nos anos subsequentes as lâminas aplicadas nas densidades de 5000 e 10000 plantas ha^{-1} foram equivalentes. Comparando os tratamentos T3 e T2, pode-se observar que, no geral, para todas as densidades de plantio, a lâmina aplicada foi maior no tratamento T3. Os dados do índice de área foliar (IAF), avaliado de abril a dezembro de 2009 estão apresentados na Figura 1 para os tratamentos adotados e pode-se verificar que os menores valores tendem a ocorrer na densidade de 3333 plantas ha^{-1} até o mês de setembro, porém em novembro e dezembro houve uma recuperação, atingindo valores da ordem de 7,87. Devido à colheita do café realizada no mês de julho observou-se uma redução no índice de área foliar na avaliação realizada em julho e agosto. No mês de setembro, houve uma redução mais acentuada, em todos os manejos de irrigação e densidade de plantio e que pode ser reflexo da ocorrência de bicho mineiro que, na região, apresenta um pico populacional de setembro-outubro e promove a queda das folhas. Em novembro e dezembro, que compreende um período vegetativo para as condições climáticas do Brasil (CAMARGO; CAMARGO, 2001), em todas as condições estudadas, o índice de área foliar apresentou recuperação, sendo os maiores valores observados nos tratamentos irrigados T2 e T3 (Fig. 1). No mês de dezembro, verifica-se no tratamento T0 e T2 (Fig. 1) que o valor de IAF tende a ser maior na densidade de 10000 plantas ha^{-1} e que, em todos os tratamentos de irrigação, o menor valor foi registrado na densidade de 3333 plantas ha^{-1}. Os valores de IAF, observados na última avaliação, foram superiores aos valores observados na primeira avaliação para todos os tratamentos de irrigação e densidade de plantio, o que pode ser um indicativo de que os tratos culturais adotados e as condições climáticas da região contribuíram para o desenvolvimento foliar das plantas.

QUADRO 1 - Dados, em milímetro, de precipitação (P), lâmina de irrigação (I) e lâmina de água recebida (P+I), em cada tratamento de irrigação, em função das densidades de plantio, nos anos avaliados.

Ano	Precip.	T3 (Irriplus)				T2 (60 kPa)			
		2500	3333	5000	10000	2500	3333	5000	10000
2009	1811,5	472,1	523,8	583,1	639,6	203,6	195,2	310,3	264,6
P+I		2283,6	2335,3	2394,6	2451,1	2015,1	2006,7	2121,8	2076,1
2010	1269,5	337,5	412,5	514,6	514,6	280,8	283,9	501,8	460,3
P+I		1607,0	1682,0	1784,1	1784,1	1550,3	1553,4	1771,3	1729,8
2011*	900,3	198,2	251,6	333,4	333,4	265,3	222,0	458,5	257,6
P+I		1098,5	1151,9	1233,7	1233,7	1165,6	1122,3	1358,8	1157,9

* Dados observados de janeiro a setembro, uma vez que as avaliações foram interrompidas devido à finalização do experimento em campo.

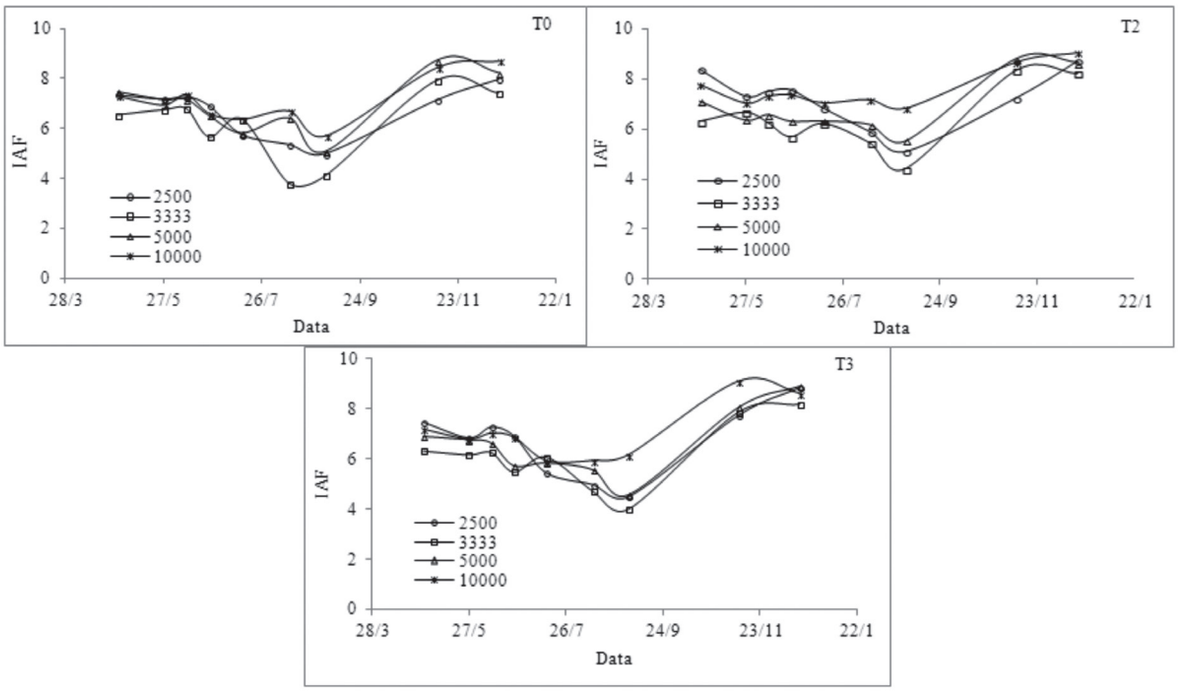

FIGURA 1 - Dados de IAF registrados em 2009, em cada densidade de plantio, nos tratamentos não irrigado (T0), irrigado quando a tensão atingia valores próximos a 60 kPa (T2), e irrigado segunda, quarta e sexta-feira (T3).

Os dados de índice de área foliar de cada densidade de plantio avaliados em 2010, estão relacionados na Figura 2. Na densidade de 2500 plantas ha^{-1}, no tratamento não irrigado (Fig. 2 T0), o valor médio do IAF em janeiro foi de 7,32 e reduziu-se ao longo do período, atingindo um valor de 1,85 em dezembro. Nessa densidade, em 2010, a aplicação manual de fertilizantes nos tratamentos não irrigados proporcionou injúria no caule das plantas úteis, de algumas das parcelas avaliadas, o que certamente contribuiu para a redução do IAF. Essas plantas, que já se apresentavam com maior desgaste devido à maior exposição a períodos de deficiência hídrica, apresentaram sintomas de amarelecimento e subsequente perda de folhas. Verifica-se também que, na densidade de 10000 plantas ha^{-1} os valores tendem a ser maiores. No tratamento irrigado, quando a tensão de água no solo é próxima de 60 kPa (Fig. 2 T2), verifica-se que os valores de IAF, em cada densidade de plantio, foram semelhantes, exceto na densidade de 2500 plantas ha^{-1} que, a partir do mês de junho apresentam valores menores, atingindo em agosto um valor de 4,11. No tratamento irrigado segunda, quarta e sexta-feira (Fig. 2 T3), os valores observados de janeiro a julho também foram semelhantes e, a partir de agosto houve uma maior diferença entre as densidades, sendo que o menor valor foi verificado na densidade de 2500 plantas ha^{-1}.

Verifica-se também que, na densidade de 5000 plantas ha^{-1} a redução do IAF, em agosto e setembro não foi tão acentuada como nas demais densidades de plantio. Após a segunda avaliação, houve uma redução nos valores de IAF, em todas as densidades de plantio e tratamentos de irrigação, o que pode ter sido devido à doenças e/ou pragas que causaram a queda de folhas. Resultados do trabalho conduzido por Paiva et al. (2011), nessa área experimental, indicaram que a máxima intensidade da ferrugem ocorreu entre os meses de abril e maio de 2008. Os resultados de trabalhos realizados por Santos et al. (2008), em lavoura de café orgânico sem irrigação e Custódio et al. (2010) e Talamini et al. (2003) em lavouras irrigadas verificaram que a maior incidência de cercosporiose ocorreu entre os meses de maio e julho. Nas avaliações seguintes, houve uma recuperação no índice de área foliar, seguida de nova redução no mês de julho e agosto, sendo essa redução devido à colheita, que promove uma queda de folhas.

Os dados obtidos em 2011 estão relacionados na Figura 3. No tratamento não irrigado (Fig. 3 T0), os valores de índice de área foliar (IAF), observados na densidade de 2500 plantas ha^{-1} tendem a ser menores e o IAF aumenta à medida que aumenta o número de plantas por área.

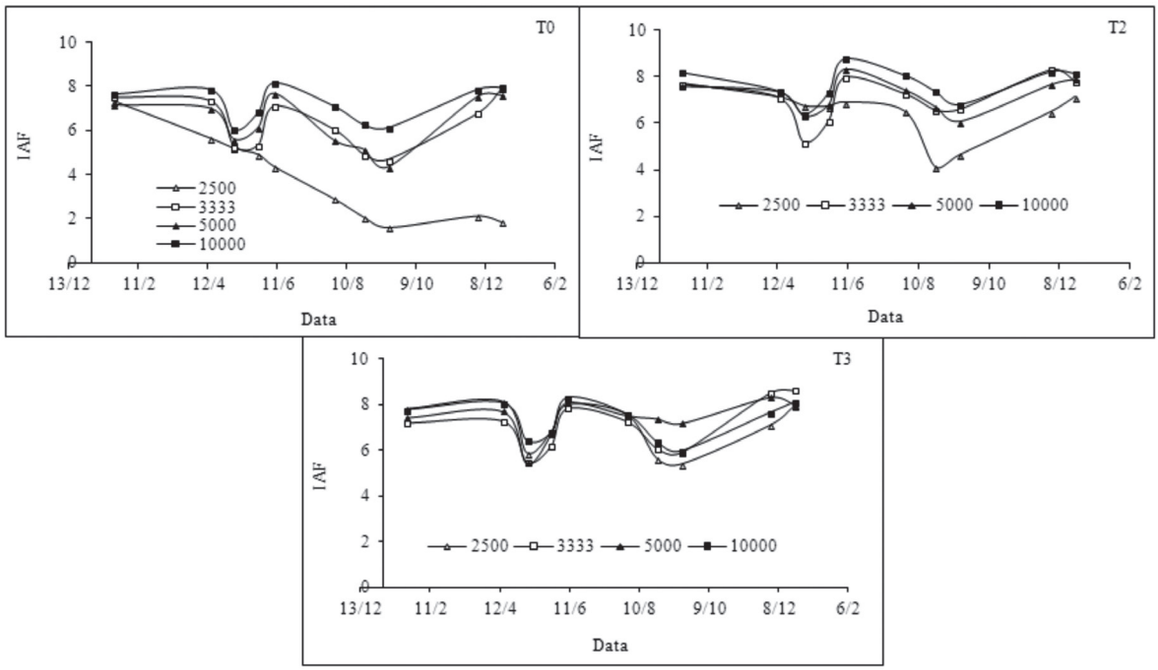

FIGURA 2 - Dados de IAF registrados em 2010, em cada densidade de plantio, nos tratamentos não irrigado (T0), irrigado quando a tensão atingia valores próximos a 60 kPa (T2), e irrigado segunda, quarta e sexta-feira (T3).

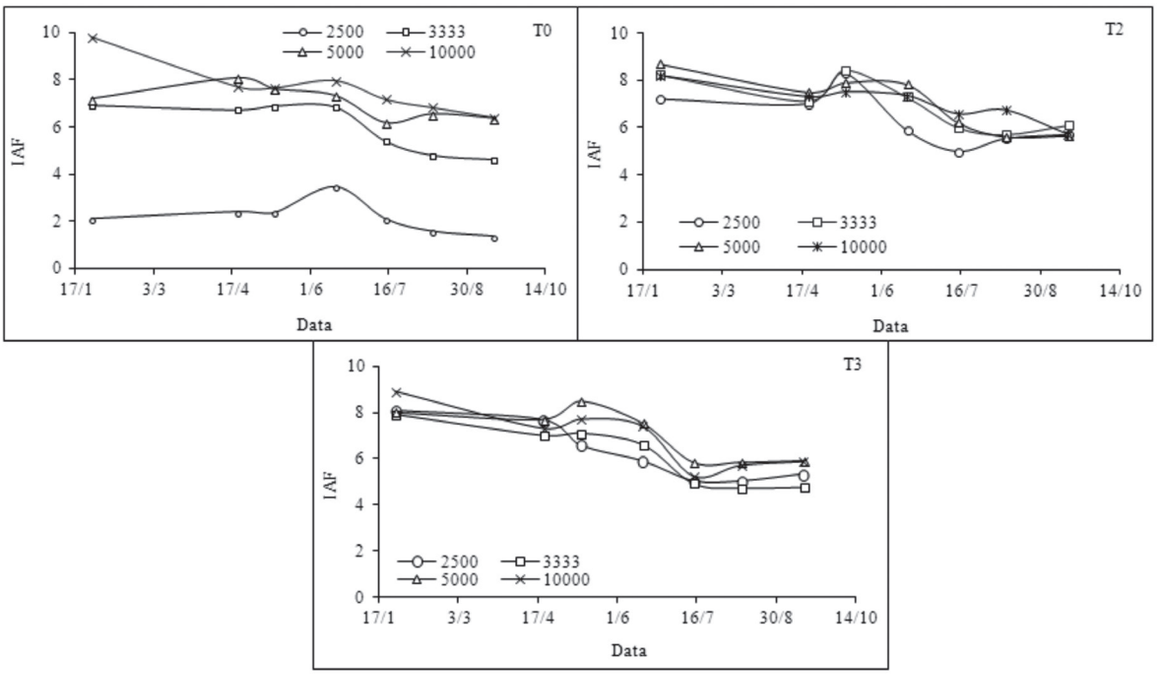

FIGURA 3 - Dados de IAF registrados em 2011, em cada densidade de plantio, nos tratamentos não irrigado (T0), irrigado quando a tensão atingia valores próximos a 60 kPa (T2), e irrigado segunda, quarta e sexta-feira (T3).

Verifica-se também que o IAF reduziu após a avaliação realizada em junho, em todas as densidades de plantio, devido à queda de folhas causada pela colheita. Os valores médios observados durante o período de avaliação foram de 2,2 (2500 plantas ha^{-1}), 6,0 (3333 plantas ha^{-1}), 7,1 (5000 plantas ha^{-1}) e 7,7 (10000 plantas ha^{-1}). Os dados representados na Figura 3 (T2) indicam que a densidade de plantio não influenciou o índice de área foliar. Nas avaliações realizadas em 26/01 e em 15/06, o menor valor do IAF tende a ocorrer na densidade de 2500 plantas ha^{-1}.

Em julho, o valor de IAF reduziu em todas as densidades de plantio, devido à queda de folhas causada pela colheita. Após a colheita até setembro, o maior valor tende a ser registrado na densidade de 3333 plantas ha^{-1} exceto na densidade de 10000 plantas ha^{-1}. Os valores médios observados durante o período de avaliação foram de 6,4 (na densidade de 2500 plantas ha^{-1}), 7,0 (na densidade de 3333 plantas ha^{-1}), 7,1 (na densidade de 5000 plantas ha^{-1}) e 7.1 (na densidade de 10000 plantas ha^{-1}). Os dados do índice de área foliar (IAF), apresentado na Figura 3 (T3), demonstram que os menores valores tendem a ser observados nas densidades de 2500 e 3333 plantas ha^{-1}. Verifica-se, também, que o IAF tende a reduzir, durante o período de avaliação, em todas as densidades de plantio. Analisando os dados médios do período, observa-se que o IAF aumenta à medida que aumenta o número de plantas por área, com valores médios da ordem de 6,3 (2500 plantas ha^{-1}), 6,2 (3333 plantas ha^{-1}), 7,0 (5000 plantas ha^{-1}) e 6,9 (10000 plantas ha^{-1}).

Na Figura 4 estão relacionados os dados de IAF, observados em 2009. Na densidade de 2500 plantas ha^{-1}, no período entre abril e setembro, os valores de IAF observados no tratamento T2, variaram entre 5,08 (setembro) e 8,39 (abril). Entre o mês de julho e setembro, os valores observados no tratamento T3 tendem a ser menores; posteriormente, houve uma recuperação da área foliar e, nos meses seguintes, apresentaram-se valores variando de 7,7 a 8,8. Na densidade de 3333 plantas ha^{-1} nos três tratamentos avaliados, a variação do IAF foi pequena, exceto no mês de agosto em que a diferença foi maior. Durante o período de avaliação, no tratamento T2, tendem a ocorrer os maiores valores de IAF, com destaque para o período após o mês de julho. Na densidade de 5000 plantas ha^{-1} verifica-se que, do final do mês de junho até o mês de novembro, os valores de IAF registrados no tratamento T3 variaram entre 4,56 (setembro) e 8,08 (novembro).

Na densidade de 10000 plantas ha^{-1} os maiores valores tendem a ocorrer no tratamento T2. Nessa densidade de plantio, os valores médios observados durante o ano tendem a ser maiores do que os observados nas demais densidades de plantio, com valores médios superiores a 7,1, enquanto que, nas demais densidades, os valores médios variaram entre 6,1 e 6,9.

Os dados de IAF, observados em 2010, estão apresentados na Figura 5. Na densidade de 2500 plantas ha^{-1} pode-se verificar que, a partir de junho os tratamentos irrigados (T2 e T3) apresentaram um desenvolvimento foliar semelhante, porém no tratamento T3 esses tendem a ser maiores. Verifica-se, também, que a redução do IAF entre julho e agosto foi mais acentuada no tratamento T2. Já os dados relativos ao tratamento T0 foram comentados com base nos dados da Figura 2. Como pode ser observado, os valores de IAF nas três primeiras avaliações e nos três tratamentos, da densidade de 3333 plantas ha^{-1}, apresentaram valores próximos, variando de 5,18 (T2 em maio) a 7,7 (T2 em janeiro). A partir do final de maio, houve uma diferenciação entre os tratamentos com tendência de menores valores no tratamento T0. Verifica-se, também, que a redução no IAF devido à colheita, entre julho e setembro, foi menor no tratamento T2.

Já na densidade de 5000 plantas ha^{-1} o tratamento T0 tende a apresentar os menores valores de IAF. Verifica-se que, a partir do mês de julho, os valores observados no tratamento T3 variaram de 7,2 a 8,3 e que, neste tratamento, a redução da área foliar devido à colheita tende a ser menor do que nos demais tratamentos. Na densidade de 10000 plantas ha^{-1} os maiores valores de IAF tendem a ocorrer no tratamento T2 e a diferença entre os tratamentos é menos acentuada do que o observado nas demais densidades de plantio. Os valores médios de IAF de todos os tratamentos tendem a ser maiores do que os valores médios observados nas demais densidades de plantio.

Em 2011 (Figura 6), o IAF foi avaliado até o mês de setembro, uma vez que a irrigação foi suspensa devido à erradicação da lavoura. Pode-se verificar na densidade de 2500 plantas ha^{-1} que o IAF do tratamento T0 não apresentou recuperação e que os valores nos tratamentos irrigados foram semelhantes, exceto no mês de maio. Na densidade de 3333 plantas ha^{-1} o valor de IAF no tratamento T2, tende a ser maior, e o tratamento T0 e T3 apresentaram valores semelhantes, a partir do mês de abril. Na densidade de 5000 plantas ha^{-1} os valores foram observados nos tratamentos T0 e T2 tende a ser maior.

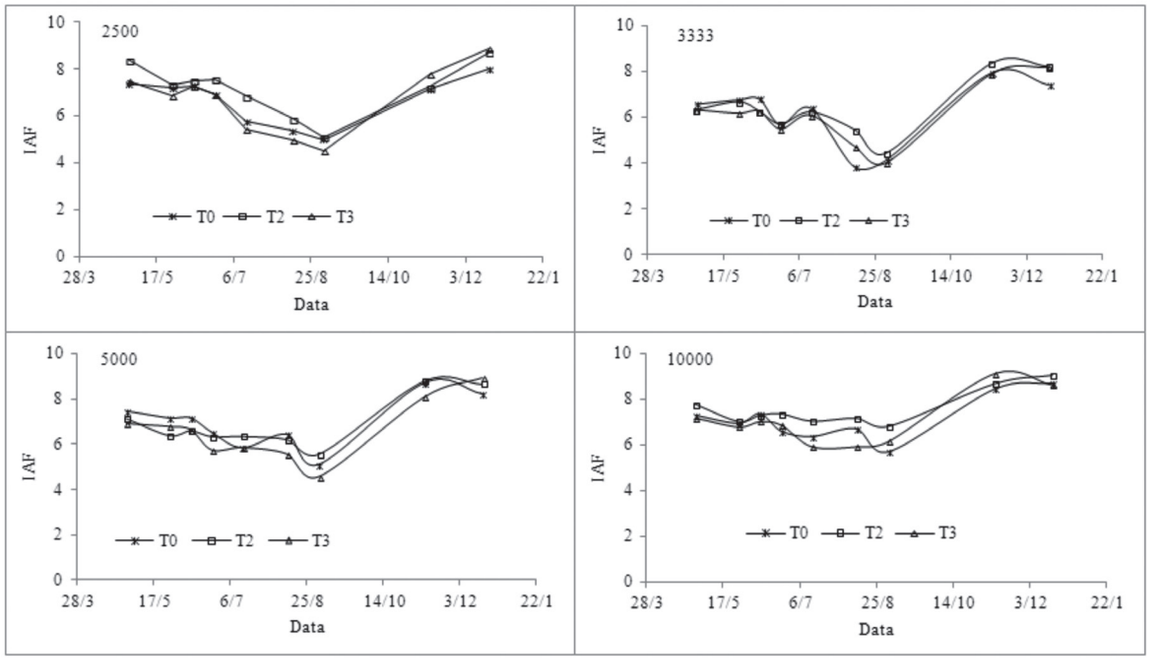

FIGURA 4 - Dados de IAF registrados em 2009 nas densidades de plantios de 2500, 3333, 5000 e 10000 plantas ha^{-1} em função dos tratamentos de irrigação.

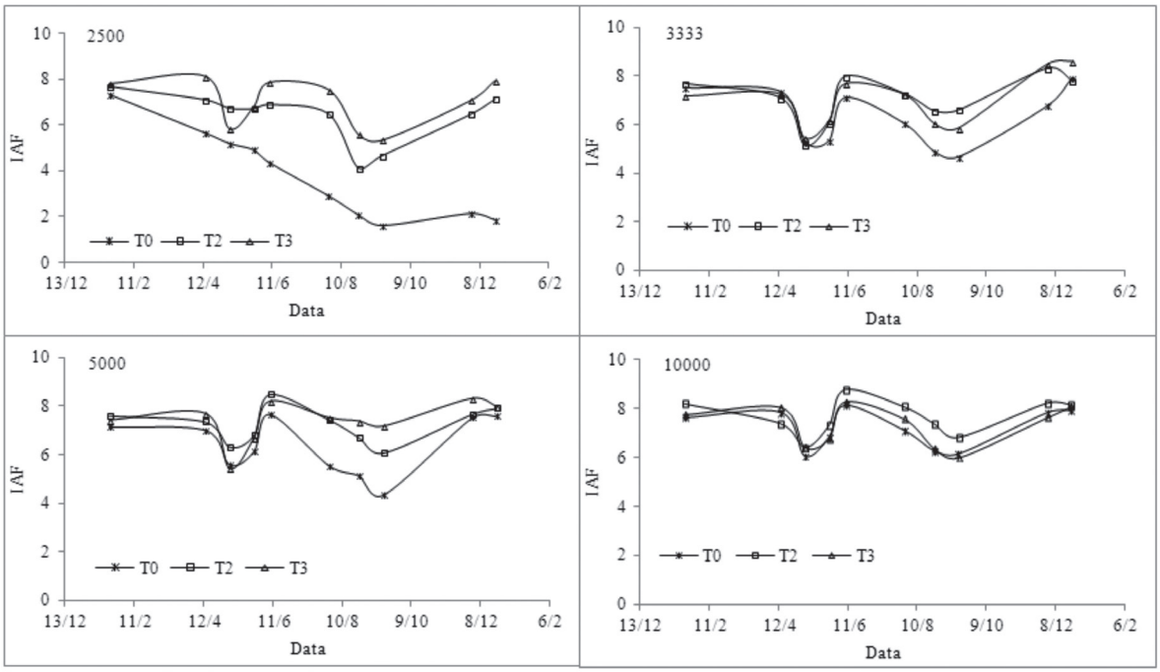

FIGURA 5 - Dados de IAF registrados em 2010 nas densidades de plantios de 2500, 3333, 5000 e 10000 plantas ha^{-1} em função dos tratamentos de irrigação.

Já na densidade de 10000 plantas ha^{-1} verifica-se que o maior índice de área foliar tende a ser registrado no tratamento T0. Os dados de IAF, observados em 2011, pode ter sido influenciado pela bienalidade da cultura ou mesmo pelo manejo da irrigação.

Como mencionado anteriormente, para todas as condições avaliadas, o IAF reduz a partir de junho e somente apresenta uma recuperação a partir de setembro, sendo essa redução devido à colheita que promove uma grande queda de folhas. Observa-se nas Figuras 2 e 6 que, em todas as densidades de plantio e manejo de irrigação houve uma redução do IAF no mês de maio de 2010, o que pode ser devido ao efeito de pragas e/ou doenças que causaram queda de folhas. De acordo com Valencia (1973), a redução na área foliar e consequentemente do índice de área foliar pode ser devido à desfolha causada pela colheita, por deficiências nutricionais devido às altas produções registradas no ano e ao número de horas de insolação. Essa redução no número de horas de insolação induz a uma menor intensidade do processo fotossintético e, portanto, o crescimento vegetativo é reduzido e a formação de novas folhas não é suficiente para repor as folhas que foram perdidas.

Os maiores valores de IAF são observados no mês de dezembro e janeiro. A média dos maiores valores de IAF, durante os três anos de avaliação na densidade de 2500 plantas ha^{-1} foi de 6,81; 7,87 e 8,36 para os tratamentos T0, T2 e T3, respectivamente. Na densidade de 3333 plantas ha^{-1} , a média dos maiores valores durante o período de avaliação foi de 7,52; 8,25 e 8,23 para os tratamentos T0, T2 e T3, respectivamente. Nos tratamentos T0, T2 e T3, a média dos maiores valores de IAF, durante os três anos de avaliação foi, respectivamente, de 7,97; 8,42 e 8,41 na densidade de 5000 plantas ha^{-1}. A média dos maiores valores de IAF, na densidade de 10000 plantas ha^{-1}, durante o período de avaliação para os tratamentos T0, T2 e T3 foi, respectivamente, 8,33; 8,49 e 8,87. Os dados obtidos neste trabalho são semelhantes aos observados por Valencia (1973), que mostram que o índice de área foliar é diretamente proporcional ao número de plantas por área, o que também foi observado por Arcila-Pulgarín e Chaves-Córdoba (1995). Verifica-se , também , que a grandeza dos valores registrados neste trabalho para a cultivar Rubi, são semelhantes aos obtidos por Arcila-Pulgarín e Chaves-Córdoba (1995), para a variedade Colombia e por Valência (1973), para a variedade Caturra, cultivadas nas densidades de 10000, 5000 e 2500 plantas ha^{-1}.

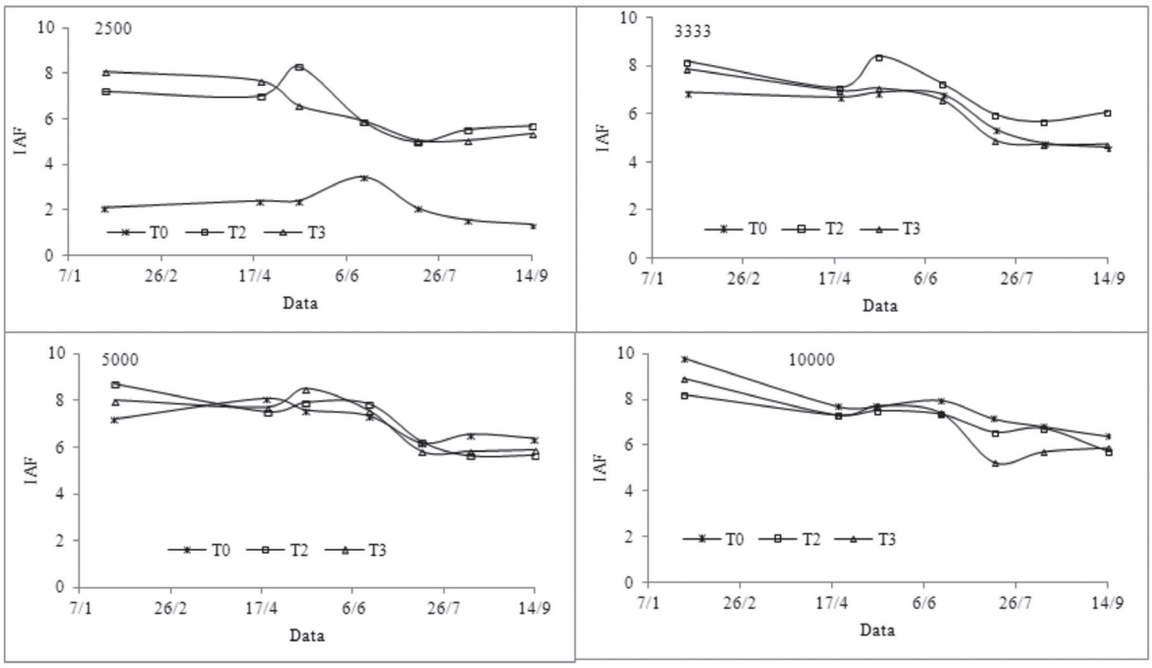

FIGURA 6 - Dados de IAF registrados em 2011 nas densidades de plantios de 2500, 3333, 5000 e 10000 plantas ha^{-1} em função dos tratamentos de irrigação.

Em todos os tratamentos de irrigação e densidade de plantio, em 2009 e 2010, houve uma recuperação da área foliar entre o mês de setembro e dezembro sendo que, no ano de 2009, essa recuperação tende a ser maior do que em 2010. No tratamento não irrigado, nas densidades de 3333 e 5000 plantas ha^{-1}, a recuperação da área foliar após o período de colheita foi aproximadamente igual, em 2009 e 2010. De acordo com Camargo e Camargo (2001), para as condições climáticas do Brasil, esse é um período de desenvolvimento vegetativo do cafeeiro.

Provavelmente, o histórico de produtividade dos tratamentos pode explicar esses resultados, considerando-se que há o efeito da bienalidade ou seja, após um ano de alta produtividade a planta tende a direcionar todas as reservas para o desenvolvimento vegetativo. Assim, a associação do índice de área foliar com a produtividade da cultura poderá ser uma alternativa para explicar os resultados apresentados, pois de acordo com Barbosa et al. (2012) a bienalidade e a sazonalidade influenciam fortemente o IAF. Deve ser considerado também que, durante o período de chuva, as características biométricas das plantas não irrigadas tende a se igualar ao de plantas irrigadas. Outros fatores que podem ter influenciado os dados de IAF são a radiação e o número de horas de insolação que interferem no processo fotossintético.

4 CONCLUSÕES

- O índice de área foliar tende a aumentar com o aumento da densidade de plantio.
- O índice de área foliar é variável ao longo do ano e sofre forte influência da colheita e da ocorrência de pragas e doenças.
- A irrigação tende a proporcionar maior índice de área foliar, independente da densidade de plantio.
- O efeito da irrigação no aumento do índice de área foliar tende a ser maior na densidade de plantio de 2500 plantas ha^{-1}, do que nas densidades de 5000 e 10000 plantas ha^{-1}.

5 AGRADECIMENTOS

Ao Consórcio Pesquisa Café, à FAPEMIG e ao CNPq pelo apoio financeiro.

6 REFERÊNCIAS

ARCILA-PULGARÍN, J.; CHAVES-CÓRDOBA, B. Desarrollo foliar del cafeto em três densidades de siembra. **Cenicafé**, Manizales, v. 46, n. 1, p. 5-20, 1995.

BARBOSA, J. P. R. A. D. et al. Estimativa do IAF de cafeeiro a partir do volume de folhas e arquitetura da planta. **Coffee Science**, Lavras, v. 7, n. 3, p. 267-274, 2012.

BLANCO, F. F.; FOLEGATTI, M. V. Estimation of leaf area for greenhouse cucumber by linear measurements under salinity and grafting. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 62, n. 4, p. 305-309, 2005.

BRÉDA, N. J. J. Ground-based measurements of leaf area index: a review of methods, instruments and current controversies. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 54, n. 392, p. 2403-2417, 2003.

CAMARGO, A. P. de; CAMARGO, M. B. P. de. Definição e esquematização das fases fenológicas do cafeeiro arabica nas condições tropicais do Brasil. **Bragantia**, Campinas, v. 60, n. 1, p. 65-68, 2001.

COELHO FILHO, M. A. et al. Estimativa de área foliar de plantas de lima ácida "tahiti" usando métodos não destrutivos. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 27, n. 1, p. 163-167, 2005.

COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. **Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais:** 5ª aproximação. Viçosa, MG, 1999.

CUSTÓDIO, A. A. de P. et al. Intensidade da ferrugem e da cercosporiose em cafeeiro quanto a face de exposição das plantas. **Coffee Science,** Lavras, v. 5, n. 3, p. 214-228, 2010.

DANTAS, A. A. A.; CARVALHO, L. G. de; FERREIRA, E. Classificação e tendências climáticas em Lavras, MG. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 6, p. 1862-1866, nov./dez. 2007.

FAVARIN, J. L. et al. Equações para estimativa do índice de área foliar do cafeeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 6, p. 769-773, jun. 2002.

LIZASO, J. L.; BATCHELOR, W. D.; WESTGATE, M. E. A leaf area model to simulate cultivar-specific expansion and senescense of maize leaves. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 80, n. 1, p. 1-17, 2003.

PAIVA, B. R. T. L. et al. Progresso da ferrugem do cafeeiro irrigado em diferentes densidades de plantio pós-poda. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 5, n. 1, p. 137-143, jan. 2011.

PEREIRA, A. R.; CAMARGO, M. B. P. de; VILLA NOVA, N. A. Coffee crop coefficient for precision irrigation based on leaf area index. **Bragantia**, Campinas, v. 70, n. 4, p. 946-951, 2011.

POCOCK, M. J.; EVANS, D. M.; MEMMOTT, J. The impact of farm management on species-specific leaf area index (LAI): farm-scale data and predictive models. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, Amsterdam, v. 135, n. 4, p. 279-287, 2010.

RIGH, C. A.; BERNARDES, M. S. The potential for increasing rubber production by matching tapping intensity to leaf area index. **Agroforestry Systems**, Dordrecht, v. 72, n. 1, p. 1-13, 2008.

SANTOS, F. da S. et al. Adubação orgânica, nutrição e progresso de cercosporiose e ferrugem do cafeeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, n. 7, p. 783-791, jul. 2008.

TALAMINI, V. et al. Progresso da ferrugem e da cercosporiose em cafeeiro (*Coffea arabica* L.) com diferentes épocas de início e parcelamento s da fertirrigação. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 27, n. 1, p. 141-149, jan./fev. 2003.

VALENCIA, A. G. Relación entre el índice de área foliar y productividad del cafeto. **Cenicafé**, Manizales, v. 24, n. 4, p. 79-89, 1973.

VILLA NOVA, N. A. et al. Estimativa do coeficiente de cultura do cafeeiro em função de variáveis climatólogicas e fitotécnicas. **Bragantia**, Campinas, v. 61, n. 1, p. 81-88, 2002.

WHITE, D. et al. Observed and modified leaf area index in *Eucalyptus globulus* plantations: test of optimality and equilibrium hypotheses. **Tree Physiology**, Oxford, v. 30, n. 7, p. 831-844, 2010.

FAUNA EDÁFICA EM SISTEMAS ARBORIZADOS DE CAFÉ CONILON EM SOLO DE TABULEIROS COSTEIROS

Alex Fabian Rabelo Teixeira[1], Victor Maurício da Silva[2], Eduardo de Sá Mendonça[3]

RESUMO: O Espírito Santo é o maior produtor brasileiro de café conilon, destacando-se a predominância de monocultivos na região norte do Estado. Alguns agricultores consorciam cafeeiros com espécies arbóreas, modificando as condições edafoclimáticas dos agroecossistemas. Porém, estudos sobre o efeito dessa prática, em relação à fauna do solo são incipientes. Objetivou-se, neste trabalho, estudar o efeito da arborização em cafezais de conilon sobre a meso e macrofauna edáfica no norte do estado do Espírito Santo. No período chuvoso e seco, a fauna foi amostrada com o uso de armadilhas do tipo *pitfall*, instaladas em três agroecossistemas de cafeeiros: monocultivo; consorciado com cedro australiano (*Toona ciliata* M. Roemer); e consorciado com teca (*Tectona grandis* L. f.). Em seguida, os organismos foram identificados em grandes grupos taxonômicos. Foi coletado um total de 10.451 invertebrados na superfície do solo, pertencentes a 20 grupos taxonômicos, a maioria no período chuvoso. Independentemente do período e sistema avaliado, Collembola e Formicidae foram os grupos predominantes na superfície do solo. A riqueza de grupos taxonômicos foi maior no período seco em todos os agroecossistemas. No período chuvoso, a diversidade (H') e equitabilidade (J') foram maiores ($p<0,10$) no consórcio com cedro comparado aos demais sistemas, com valores de 0,45 e 0,68, respectivamente. A arborização de lavoura de café com cedro australiano proporciona maior oferta de recursos (energéticos e habitat, por exemplo) para a fauna do solo, sendo menos vulnerável às alterações climáticas sazonais.

Termos para indexação: *Coffea canephora*, equitabilidade, diversidade.

EDAPHIC FAUNA IN WOODED SYSTEMS OF CONILON COFFEE IN COASTAL TABLELAND SOIL

ABSTRACT: *The Espirito Santo is the biggest Brazilian producer of coffee conilon, highlighting the predominance of monocultures in the northern region. Some farmers insert tree species in plantations, modifying the soil and climate conditions of the agroecosystems. However, studies on the effect of this practice in relation to soil fauna are still incipient. The objective of this work was study the effect of forestation in conilon coffee plantations on meso-and macrofauna of the soil in the northern of Espirito Santo state. In the rainy and dry seasons, the meso-and macrofauna was sampled using pitfall traps installed in three coffee plants agroecosystems: monoculture, intercropped with Australian cedar (Toona ciliata M. Romer), and intercropped with teak (Tectona grandis L. f.). Subsequently the organisms of fauna were identified in major taxonomic groups. We collected a total of 10,451 invertebrates on the soil surface, belonging to 20 taxonomic groups, mostly during the rainy season. Regardless of the period and system, Collembola and Formicidae were the predominant groups on the soil surface. The richness of taxonomic groups was higher during the dry season in all agroecosystems. In the rainy season, the Shannon diversity index (H') and Uniformity index (U) were higher ($p <0.10$) in consortium with cedar compared to other systems, with values of 0.45 and 0.68, respectively. The forestation of coffee plantation with Australian cedar provides greater availability of resources (feeding and habitat, for example) to soil fauna, being less vulnerable to seasonal climate changes.*

Index terms: *Coffea canephora*, uniformity, diversity.

1 INTRODUÇÃO

O Espírito Santo é o maior produtor brasileiro de café conilon (Coffea canephora Pierre ex Froehner), devido, principalmente, à acelerada expansão observada na região norte desse Estado. Aliada a condições favoráveis de temperatura e topografia, essa expansão se concentrou em áreas de relevo menos acidentadas e nas partes baixas, como nos platôs litorâneos (por exemplo, nos Tabuleiros Costeiros), onde tradicionalmente predominam os agroecossistemas em monocultivos.

Visando lavouras que pudessem proporcionar renda e atender à demanda de madeira e outros produtos, agricultores da região norte do Estado começaram a consorciar os cafeeiros com algumas espécies, a exemplo do cedro australiano (Toona ciliata M. Roemer), teca (Tectona grandis L.f.), seringueira (Hevea brasiliensis Muell.), gliricídia [Gliricidia sepium (Jacq.) Steud], coqueiro (Cocos nucifera L.), mamão (Carica papaya L.), e outras (SALES et al., 2013).

A associação de espécies arbóreas aos cafezais pode ser entendida como um consórcio de culturas perenes. O objetivo da arborização é gerar um sombreamento moderado (de 20% a, no máximo, 50%), melhorando a sustentabilidade do ambiente e aumentando a estabilidade da produção de café, seja pela minimização de condições

[1]Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural /INCAPER - Centro Regional de Desenvolvimento Rural Nordeste/CRDR Nordeste - Cx. P. 62 - 29.900-970 - Linhares - ES - afabian@incaper.es.gov.br
[2, 3]Universidade Federal do Espírito Santo/UFES - Departamento de Produção Vegetal /DPV - Cx. P. 16 - 29.500-000 - Alegre - ES victor-mauricio@bol.com.br, eduardo.mendonca@ufes.br

estressantes das lavouras em monocultivo, seja pelas condições microclimáticas mais apropriadas à produção, permitindo, ao mesmo tempo, a obtenção de produtos além do café (e.g.: látex, frutas, madeira, e outros) (DAMATA et al., 2007). Essa prática permite, também, a formação de microclimas no compartimento solo-serapilheira mais favorável à biota do solo, que favorece a ciclagem de nutrientes provenientes dos materiais vegetais senescentes (folhas, galhos, frutos e flores) que compõem a serapilheira (SILVA et al., 2012).

Além dos atributos químicos e físicos, os invertebrados do solo constituem indicadores importantes para avaliar os efeitos provocados pelas coberturas vegetais sobre a qualidade do solo. Esses organismos são sensíveis às alterações da cobertura vegetal e ao manejo adotado (MOÇO et al., 2009), e, de acordo com suas dimensões corporais, podem ser agrupados nas categorias micro, meso e macrofauna (MELO et al., 2009). Em estudo comparativo de uso do solo em agroecossistemas, Lima et al. (2010) verificaram que a abundância (indivíduos por m^2) e a riqueza (nº de grupos taxonômicos) da macrofauna foram favorecidas em sistemas arborizados, sendo esses resultados atribuídos às melhorias nos atributos químicos do solo (maior teor de bases trocáveis e C orgânico e menor acidez) devido à diversidade de espécies vegetais e ao manejo de poda adotado nesses sistemas.

No Espírito Santo estudos iniciais com a fauna do solo têm sido realizados em diferentes agroecossistemas a exemplo de Calvi et al. (2010), Culik, Martins e Ventura (2006) e Culik, Souza e Ventura (2002). Pellens e Garay (1999), estudando a comunidade de macroartrópodos edáficos em uma plantação de café conilon e em floresta de tabuleiros na região norte, observaram que para dois meses avaliados, a abundância (indivíduos por m^2) na plantação foi superior à floresta, com valores de 3.000 e 6.500 ind/m^2 (para o mês de setembro de 1991) e de 900 e 1.500 ind/m^2 (para o mês de fevereiro de 1992) na floresta e na plantação, respectivamente. Em contrapartida, foi observado menor número médio de grupos na plantação de café em relação à floresta, o que evidencia uma comunidade mais simplificada no agroecossistema. Apesar desses esforços, estudos sobre o efeito da arborização no cafeeiro conilon em relação à fauna do solo ainda são incipientes. O Objetivou-se, no trabalho, estudar o efeito da arborização em cafezais de conilon sobre a meso e macrofauna edáfica no norte do estado do Espírito Santo.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Áreas de estudo

As áreas de estudo pertencem a uma propriedade agrícola localizada no município de Sooretama-ES (19°08’68’’S e 40°06’16’’W). De acordo com a classificação de Köppen, a região possui clima do tipo Awi, caracterizado como quente e úmido, apresentando estação chuvosa no verão e seca no inverno, com precipitação média anual de 1.200 mm e temperatura média de 25°C.

Os agroecossistemas selecionados foram: cafeeiro conilon em monocultivo (CAMO), cafeeiro conilon consorciado com cedro australiano (CACE) e cafeeiro conilon consorciado com teca (CATE). O sistema CATE possuía 10 anos, sendo o espaçamento da teca de 6 x 8 m, junto ao cafeeiro num espaçamento de 3 x 2 m, totalizando 20 ha. O sistema CAMO possuía cinco anos, sendo o plantio de café estabelecido em 10 ha num espaçamento de 3 x 2 m. O sistema CACE possuía oito anos de idade num espaçamento de 3 x 2 m para os cafeeiros e de 15 x 9 m para o cedro, num total de 20 ha de área plantada. Os sistemas eram irrigados por aspersão e os cafeeiros adubados de forma convencional segundo recomendações de Prezotti et al. (2007). Foram realizadas podas periódicas nos cafeeiros (poda de produção), na teca e no cedro australiano (poda de ramos laterais), sendo que os galhos mais grossos foram retirados do sistema. O controle da vegetação espontânea nos sistemas de cultivo era com o uso de herbicidas, principalmente Raundup® uma vez por ano, complementado com roçadas. Para o manejo fitossanitário, aplicação de defensivos uma vez ao ano.

Os solos dos agroecossistemas foram classificados como Argissolo Amarelo distrófico (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA, 2006). A Tabela 1 traz a caracterização química do solo (profundidade de 0-20 cm) nos agroecossistemas antes das amostragens de fauna. O solo apresenta textura média na profundidade de 0-20 cm e argilosa de 20-40 cm.

2.2 Amostragem da fauna do solo e serapilheira

Para a amostragem da fauna do solo foram utilizadas armadilhas do tipo “pitfall” (MOREIRA; HUISING; BIGNELL, 2010), confeccionadas com potes plásticos de um litro e 14 cm de diâmetro de abertura superior.

TABELA 1 - Caracterização química do solo (profundidade de 0-20 cm) nos agroecossistemas de café conilon, Sooretama, Espírito Santo.

Agroecossistema[1]	pH	P	K	Ca	Mg	Al^{3+}	H + Al	t	T
	H_2O	mg dm^{-3}		$cmol_c$ dm^{-3}					
CATE	5,87	20,40	46,00	2,81	0,59	0,01	1,78	3,66	5,44
CACE	5,62	11,17	76,33	2,80	1,04	0,04	3,23	4,10	7,29
CAMO	5,73	8,42	100,00	3,22	1,09	0,05	3,05	4,65	7,65

[1]Agroecossistema: CATE: cafeeiros consorciados com teca; CACE: cafeeiros consorciados com cedro; CAMO: cafeeiros em monocultivo

Cada repetição foi formada por média de 8 armadilhas, totalizando três repetições em cada agroecossistema. Para isso, foi selecionada área equivalente a 1 hectare e traçados três transectos aleatoriamente, distando entre si 16 metros. Em cada transecto, foram instaladas oito armadilhas equidistantes oito metros uma da outra, totalizando 24 armadilhas por área. Permaneceram enterradas com a abertura ao mesmo nível da superfície do solo e ficaram fechadas até o dia das coletas, quando foram abertas e mantidas assim por 48 horas. Durante esse período, para que os animais não escapassem e fossem conservados, foram utilizados cerca de 200 mL de formol (4%) nas armadilhas. Foram realizadas duas coletas, a primeira no período chuvoso (fevereiro de 2011) e a segunda no período seco (julho de 2011). Depois de amostrada, a fauna foi conservada em álcool (70%), triada e identificada em grandes grupos taxonômicos no Laboratório da Unidade Experimental de Produção Animal Agroecológica (UEPA), Fazenda Experimental do INCAPER de Linhares-ES.

No mesmo período e pontos das coletas da fauna, foram realizadas amostragens da serapilheira acumulada com auxílio de um gabarito com 0,25 m^2. Essas amostras foram secas em estufa de circulação e renovação de ar (75°C). Em seguida foi obtido peso seco total de cada amostra, e extrapolado para Mg ha^{-1}. Foram obtidos os seguintes valores médios de massa da matéria seca de serapilheira para os períodos chuvoso e seco, respectivamente: 21,69 e 17,28 Mg ha^{-1} no CACE; 13,50 e 10,77 Mg ha-1 no CATE; e 7,87 e 6,84 Mg ha-1 no CAMO Mg ha-1.

2.3 Análises dos dados

As análises foram realizadas para cada período separado. A partir da identificação dos grupos da meso e macrofauna do solo, foram determinadas a frequência relativa (%), riqueza de grupos, abundância total, abundância dos grupos individuais e os índices de equitabilidade de Pielou (J') e de diversidade de Shannon (H'). A riqueza correspondeu ao número de grupos taxonômicos coletados em cada agroecossistema e a frequência relativa ao total de indivíduos de cada grupo representados em porcentagem. Os grupos taxonômicos com frequência relativa acima de 1% foram separados individualmente, sendo os demais agrupados como "outros". A abundância foi calculada por meio das seguintes equações:

Abundância de grupos = Σ (nº de ind./nº de arm.)/ nº de dias (1)

Abundância total = Σ (nº de ind. total/nº de arm.)/ nº de dias (2)

Onde: abundância de grupos = número médio de indivíduos de cada grupo capturados por armadilha por dia (ind. por armadilha dia-1); Abundância total = número médio de indivíduos capturados por armadilha por dia (ind. por armadilha dia-1); nº de ind. = número de indivíduos do grupo; nº de arm. = número de armadilhas; nº de dias = número de dias que as armadilhas permaneceram abertas no campo; nº de ind. total = número total de indivíduos da fauna do solo.

O índice de diversidade de Shannon-Weaver (H') foi calculado pela relação: H' = - Σpi.lnpi, em que: pi = ni/N; ni = número de indivíduos em cada grupo, N = número total de indivíduos de todos os grupos (ODUM, 1983). O índice de equitabilidade de Pielou (J') foi calculado da seguinte forma: J' = H'/H'max, em que: H' = índice de diversidade de Shannon observado, H'max = é a diversidade máxima teórica da comunidade obtida por meio de lnSe, sendo: Se = número total de grupos existentes na comunidade (riqueza) (PIELOU, 1975).

Em relação à abundância dos grupos, optou-se por submeter à análise de variância (ANOVA) ($p<0,10$) apenas o grupo de fauna com frequência acima de 1%.

Ademais, foram submetidos à ANOVA ($p<0,10$) a abundância total e os índices de Shannon e de Pielou. Previamente, foram submetidos ao teste de Cochran e Lilliefors para verificação da homogeneidade e normalidade, respectivamente. Quando necessário, foram transformados em log(x). Foi utilizado o teste de Tukey ($p<0,10$) para a comparação entre os agroecossistemas. Optou-se por utilizar o nível de 10% devido à grande variabilidade de campo inerente ao erro experimental. Com a abundância dos grupos (ind. por armadilha dia^{-1}), efetuou-se análise multivariada de agrupamento (Cluster) por ligação completa, com o objetivo de identificar agroecossistemas com maior ou menor grau de similaridade dentro e entre os períodos avaliados, utilizando-se o *software* Statistica. O índice de equitabilidade de Pielou (J') e de Shannon foi calculado com o *software* DivEs Versão 2.0 e a ANOVA e o teste de média foram com o *software* SISVAR.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Frequência relativa e riqueza de grupos taxonômicos

Foi coletado um total de 10.451 invertebrados na superfície do solo, pertencentes a 20 grupos taxonômicos, sendo que a maioria no período chuvoso (76,5%). A riqueza foi maior no período seco, em todos os sistemas avaliados com valores de 17 para o CATE e CACE, e de 16 para o CAMO (Figura 1).

A frequência relativa dos principais grupos da fauna edáfica foi diferenciada nos períodos e agroecossistemas avaliados (Figura 1). Considerando todos os sistemas e períodos, os grupos Collembola e Formicidae foram superiores aos demais com frequência superior a 89%, com destaque para Collembola que representou mais de 64%. No período chuvoso, os sistemas CATE e CAMO apresentaram altas frequências (> 1%) para poucos grupos em relação ao sistema CACE, destacando-se a alta dominância de colêmbolos com valores de 78,4% e 82,6%, respectivamente (Figura 1). Os sistemas no período seco apresentaram quantidade maior de grupos com altas frequências (> 1%) e com distribuições uniformes, em comparação aos sistemas no período chuvoso (Figura 1).

Sistemas naturais convertidos para sistemas agrícolas apresentam dominância de poucos grupos oportunistas (ALVES; BARETTA; CARDOSO, 2006; BARETTA et al., 2006; LORING; SNIDER; ROBERTSON, 1981). Isso pode ocorrer devido à simplificação dos sistemas nesse processo de conversão. Ressalta-se que, quanto mais diversa for a cobertura vegetal, mais heterogênea será a serapilheira, que apresentará diversidade de nichos ecológicos e maior diversidade das comunidades de fauna associadas (CORREIA; ANDRADE, 2008). Lavelle (1996) afirma que, em muitos agroecossistemas, grupos funcionais da fauna edáfica podem desaparecer e serem substituídos por poucos organismos oportunistas e altamente adaptados a distúrbios.

Formigas possuem grande capacidade de locomoção e dispersão (PARR et al., 2007), o que explica a alta frequência desses organismos, em ambos os períodos. O total de colêmbolos encontrados no período chuvoso (Figura 1) corrobora com resultados de Silva (2012), que estudou o efeito de manejos de adubação sobre a fauna, em sistema de café conilon no norte capixaba. Wiwatwitaya e Takeda (2005) demonstraram que, diferente dos outros grupos, a abundância sazonal (organismos por m2) de colêmbolos é fortemente correlacionada ($p<0,01$) com a umidade do solo. Outro aspecto a ser considerado para a alta dominância de Collembola é o tipo de armadilha "pitfall", que coleta principalmente artrópodos epígeos (que vivem na superfície do solo) como é a maioria dos colêmbolos, enquanto que a coleta de monólito ou bloco de solo coleta, basicamente, artrópodos que vivem no interior do solo, onde os colêmbolos são em menor frequência (SILVA; OLIVEIRA; JUNQUEIRA, 2009).

3.2 Abundância dos grupos individuais no período chuvoso

Em relação à abundância (ind. por armadilha dia^{-1}) no período chuvoso, houve diferença ($p<0,10$) entre os agroecossistemas para a abundância total e para os grupos Collembola, Larvas e Diplopoda (Tabela 2). A abundância total maior no monocultivo está relacionada ao grupo Collembola, grupo de fauna mais abundante nesse sistema, em comparação aos demais (Tabela 2). Esse resultado diverge dos resultados encontrados por Ponge et al. (2003) e Sousa et al. (2004), que verificaram aumentos na abundância desse grupo em agroecossistemas arborizados e de maior aporte de serapilheira, em relação aos sistemas simplificados. No presente trabalho foram utilizadas armadilhas tipo "pitfall" para a amostragem da fauna, sendo um método que avalia a mobilidade da meso e macrofauna habitante da serapilheira (MOREIRA; HUISING; BIGNELL, 2010).

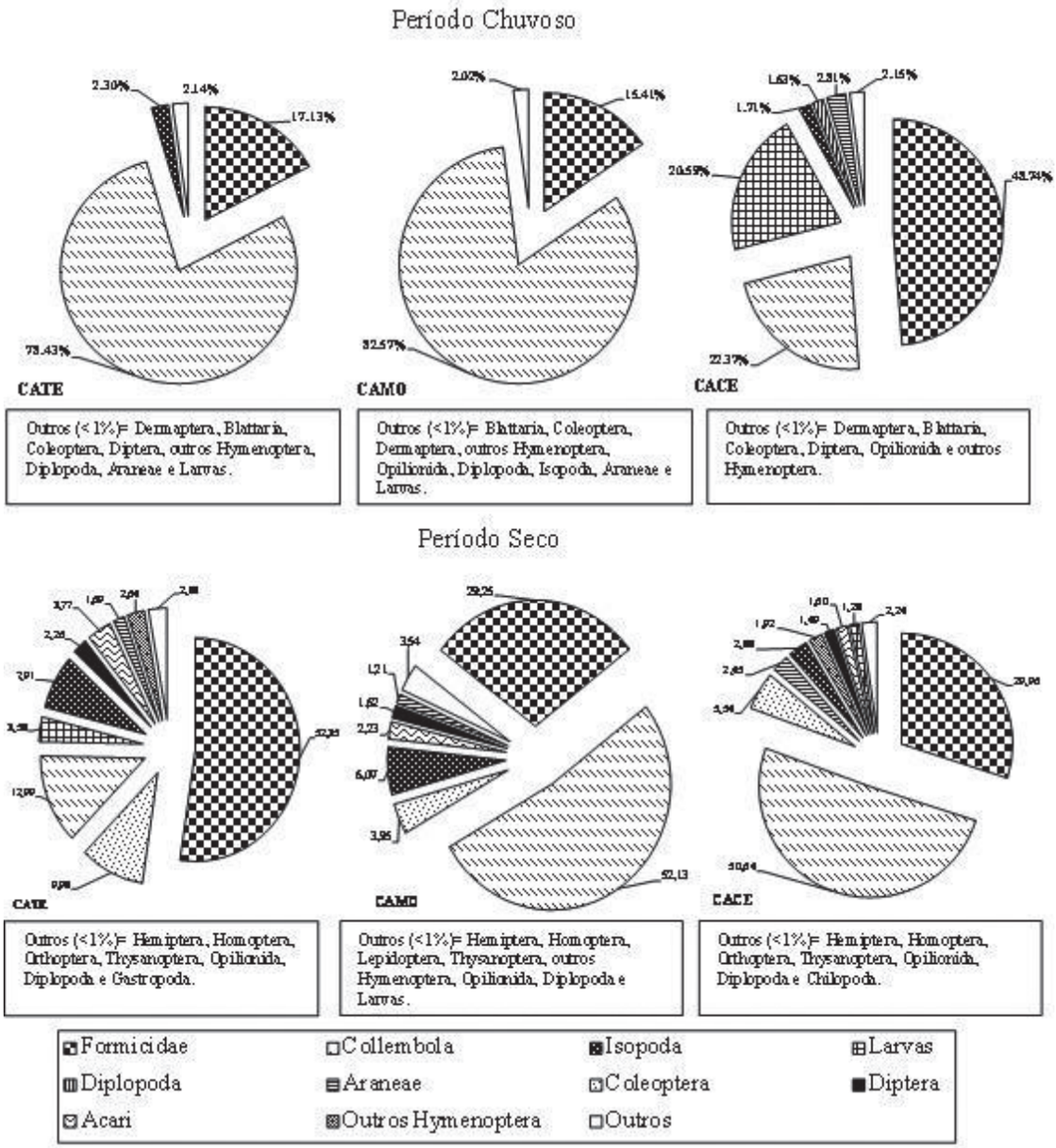

FIGURA 1 - Frequência relativa (%) e riqueza dos grupos taxonômicos da fauna edáfica, em sistemas de produção de café conilon, Sooretama, ES. CATE= café conilon consorciado com teca; CAMO= monocultura de café conilon; CACE= café conilon consorciado com cedro australiano.

TABELA 2 - Abundância (Ind.arm.dia^{-1}) dos grupos da meso e macrofauna edáfica em função dos agroecossistemas de café conilon. Período chuvoso. Sooretama, ES, 2011.

Agroecossistema	Collembola	Formicidae	Araneae	Isopoda	Coleoptera	Larvas	Diplopoda	Outros*	Total
Café com teca	19,51 b	4,26 a	0,25 a	0,57 a	0,08 a	0,03 b	0,02 b	0,17 a	24,90 b
Café em monocultura	36,60 a	6,83 a	0,18 a	0,23 a	0,06 a	0,23 b	0,04 b	0,15 a	44,32 a
Café com cedro	3,15 c	6,85 a	0,40 a	0,24 a	0,06 a	2,90 a	0,23 a	0,23 a	14,05 b

Médias seguidas por letras distintas nas colunas diferem entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 10%. *Outros: somatório de organismos com menor freqüência.

O maior acúmulo de serapilheira e consequente maior oferta de recursos alimentares e de micro-habitat no CACE, possivelmente diminuiu o forrageamento de colêmbolos (MOREIRA; HUISING; BIGNELL, 2010; SILVA; OLIVEIRA; JUNQUEIRA, 2009) nesse sistema, permitindo menor dispersão no ambiente para obtenção de condições favoráveis. Essa menor dispersão de colêmbolos no CACE possivelmente resultou em menor amostragem nesse sistema, quando comparado aos demais.

Ao contrário dos colêmbolos, as maiores abundâncias de larvas e diplópodes foram observadas no sistema CACE (Tabela 2). O CACE foi o agroecossistema que apresentou maior biomassa seca da serapilheira acumulada, com valor 21,69 Mg ha^{-1}. Assim, à maior oferta de recursos energéticos e melhores condições de micro-habitat e microclima, possivelmente favoreceu os diplópodes e larvas de grupos específicos. Diplópodes vivem e se alimentam de resíduos orgânicos em diferentes estágios de decomposição na serapilheira, e, segundo Rawlins et al. (2006), esses organismos são importantes para a fragmentação inicial de todos os tipos de resíduos orgânicos aportados ao solo. A decomposição dos resíduos orgânicos e a mineralização dos nutrientes ocorrem pela sinergia dos microrganismos e invertebrados, em particular os diplópodes (ASHWINI; SRIDHAR, 2005).

3.3 Abundância dos grupos individuais no período seco

No período seco, apenas a abundância de Collembola se diferenciou ($p<0,10$) entre os agroecossistemas, tendo novamente o sistema CAMO a maior abundância (Tabela 3). Desse modo, aumenta a necessidade de estudos futuros voltados para a identificação detalhada desse grupo, visando gerar conhecimentos em nível de espécie como suporte para estudos de qualidade do solo.

Para os outros grupos, não houve ($p>0,10$) diferença entre tratamentos (Tabela 3). Esse comportamento pode estar ligado à alta mobilidade desses organismos na superfície do solo (FERNANDES et al., 2011), que conferiu homogeneidade de coleta entre armadilhas.

3.4 Equitabilidade de Pielou (J') e diversidade de Shannon (H')

No período chuvoso, os índices de diversidade de Shannon (H') e equitabilidade de Pielou (J') foram maiores ($p<0,10$) no CACE em relação aos demais sistemas, com valores de 0,45 e 0,68, respectivamente (Tabela 4). A arborização dos cafeeiros com cedro australiano proporcionou uma fitofisionomia relativamente fechada (observação em campo) além de maior biomassa acumulada de serapilheira nesse sistema que, possivelmente, refletiu em menor dominância e em benefícios equitativos para os diferentes grupos da fauna edáfica, como observaram Lima et al. (2010), em sistemas arborizados com seis e dez anos de implantação. Para o período seco, houve diferença entre os agroecossistemas apenas para a equitabilidade (Tabela 4). Ressalta-se que, devido à alta dominância de Collembola no período chuvoso, os sistemas CATE e CAMO apresentaram valores inferiores de equitabilidade e diversidade em relação ao período seco (Tabela 4).

3.5 Análise multivariada de agrupamento

Em relação aos agroecossistemas nos períodos estudados (seco e chuvoso) ocorreu a formação de dois grupos distintos (Figura 2). Sendo o primeiro com semelhança entre os sistemas igual (e superior) a 80%, e, o outro, 100% diferente dos demais, formado pelos sistemas CAMO e CATE no período chuvoso, associado à alta dominância de colêmbolos e baixa equitabilidade e diversidade.

A dissimilaridade do sistema CACE no período chuvoso, com os demais agroecossistemas nesse mesmo período, e a similaridade desse sistema com os agroecossistemas no período seco (Figura 2), permite inferir que a arborização de cafeeiros com cedro australiano proporcionou maior estabilidade de recursos para a fauna do solo, frente às variações climáticas sazonais, quando comparado ao monocultivo e ao consórcio com a teca. Suporta essa hipótese o fato dos índices de equitabilidade e diversidade no período chuvoso ser maior no sistema CACE em relação aos demais, e semelhante aos agroecossistemas no período seco (Tabela 4).

A textura média do solo associada à alta temperatura e umidade característica dos Tabuleiros Costeiros intensificam a oxidação da matéria orgânica. Ademais, esses solos apresentam, de modo geral, baixa fertilidade natural e baixa capacidade de retenção de água e nutrientes (CINTRA et al., 2009; PORTELA; LIBARDI; LIER, 2001). Assim, a manutenção do solo totalmente coberto por serapilheira, ao longo do ano, no sistema CACE (observações em campo) e a maior biomassa acumulada proveniente dessa camada, em relação aos demais sistemas, pode ter favorecido grupos da fauna edáfica, mostrando-se menos vulnerável às condições meteorológicas adversas, corroborando com resultados de Rosa e Dalmolin (2009).

TABELA 3 - Abundância (ind.arm.dia^{-1}) dos grupos da meso e macrofauna edáfica em função dos agroecossistemas de café conilon. Período seco. Sooretama, ES, 2011.

Agroecossistema	Collembola	Formicidae	Coleoptera	Isopoda	Acari	Larvas	Araneae	Outros*	Total
Café com teca	0,72 b	2,90 a	0,55 a	0,44 a	0,21 a	0,21 a	0,09 a	0,42 a	5,54 a
Café em monocultura	5,45 a	3,03 a	0,41 a	0,60 a	0,23 a	0,08 a	0,13 a	0,40 a	10,32 a
Café com cedro	4,93 ab	2,94 a	0,53 a	0,28 a	0,16 a	0,13 a	0,24 a	0,42 a	9,61 a

Médias seguidas por letras distintas nas colunas diferem entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 10%. *Outros: somatório de organismos com menor frequência.

TABELA 4 - Diversidade de Shannon (H') e equitabilidade de Pielou (J'), em função dos agroecossistemas de café, nos períodos chuvoso e seco. Sooretama, ES, 2011.

Agroecossistema	Período Chuvoso		Período Seco	
	Diversidade de Shannon	Equitabilidade	Diversidade de Shannon	Equitabilidade
Café com teca	0,26 b	0,44 b	0,54 a	0,76 a
Café em monocultura	0,22 b	0,41 b	0,50 a	0,68 ab
Café com cedro	0,45 a	0,68 a	0,47 a	0,66 b

Médias seguidas por letras distintas nas colunas diferem entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 10%.

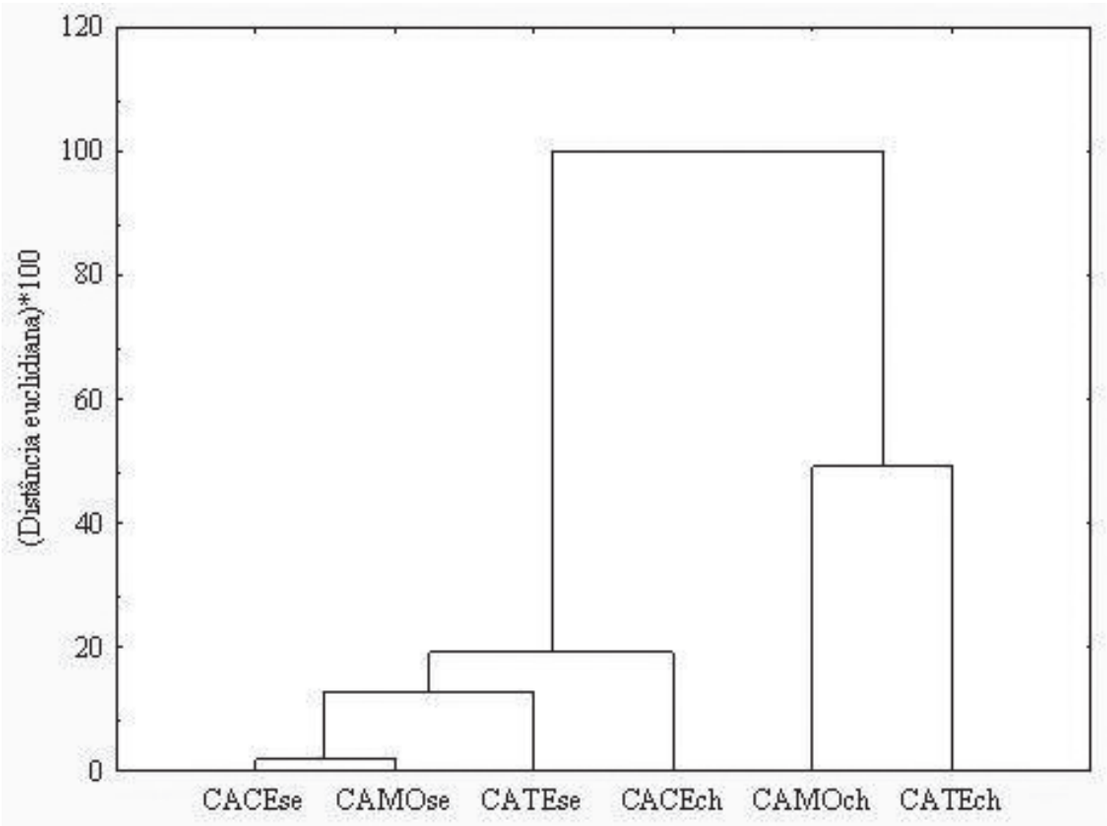

FIGURA 2 - Dendrograma apresentando as distâncias de ligação entre os agroecossistemas nos períodos seco e chuvoso. CATEse = cafeeiro consorciado com teca no período seco; CAMOse = cafeeiro em monocultivo no período seco; CACEse = cafeeiro consorciado com cedro no período seco; CATEch = cafeeiro consorciado com teca no período chuvoso; CAMOch = cafeeiro em monocultivo no período chuvoso; CACEch = cafeeiro consorciado com cedro no período chuvoso.

4 CONCLUSÕES

Independentemente do período de avaliação, Collembola e Formicidae são os grupos de fauna predominante na superfície do solo, nos agroecossistemas de café conilon, destacando-se a alta dominância de colêmbolos no período chuvoso nos agroecossistemas consorciados com teca e em monocultivo;

Os agroecossistemas no período seco apresentam distribuições mais uniformes para os grupos da meso e macrofauna edáfica, em relação ao período chuvoso;

No período chuvoso, o sistema CACE apresenta as maiores abundâncias de larvas e diplópodes, estando associados à maior disponibilização de recursos energéticos provenientes da maior oferta de biomassa da serapilheira;

As respostas dos colêmbolos aos sistemas e períodos estudados, reforçam a necessidade de estudos aprofundados com esses organismos, com identificação em nível de espécie e análise das flutuações sazonais;

No período chuvoso, a diversidade (H') e equitabilidade (J') são maiores ($p<0,10$) no CACE em relação aos demais sistemas, com valores de 0,45 e 0,68, respectivamente;

A arborização de cafeeiros com cedro australiano é um indício que esse sistema pode proporcionar maior estabilidade na oferta de recursos para a fauna do solo, sendo menos vulnerável às alterações climáticas sazonais, em relação aos cafeeiros em monocultivo e consorciados com teca.

5 AGRADECIMENTOS

À Embrapa Café, por intermédio do Consórcio Pesquisa Café e da Fundação de Apoio à Pesquisa, pelo financiamento do trabalho e pela concessão de bolsa ao segundo autor. Ao Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural (INCAPER), pelo apoio logístico. Aos agricultores Fábio Dalvi e Vanderley Morgan.

6 REFERÊNCIAS

ALVES, M. V.; BARETTA, D.; CARDOSO, E. J. B. N. Fauna edáfica em diferentes sistemas de cultivo no estado de São Paulo. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lages, v. 5, n. 1, p. 33-43, jan./jun. 2006.

ASHWINI, K. M.; SRIDHAR, K. R. Leaf litter preference and conversion by a saprophagous tropical pill millipede, Arthrosphaera magna Attems. **Pedobiologia**, Goettingen, v. 49, n. 4, p. 307-316, Aug. 2005.

BARETTA, D. et al. Efeito do cultivo do solo sobre a diversidade da fauna edáfica no planalto sul catarinense. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lages, v. 5, n. 2, p. 108-117, jul./dez. 2006.

CALVI, G. P. et al. Composição da fauna edáfica em duas áreas de floresta em Santa Maria de Jetibá-ES, Brasil. **Acta Agronómica**, Palmira, v. 59, n. 1, p. 37-45, jan./mar. 2010.

CINTRA, F. L. D. et al. Efeito de volumes de água de irrigação no regime hídrico de solo coeso dos tabuleiros e na produção de coqueiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, n. 4, p. 1041-1051, jul./ago. 2009.

CORREIA, M. E. F.; ANDRADE, A. G. Formação de serapilheira e ciclagem de nutrientes. In: SANTOS, G. A. et al. (Ed.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo:** ecossistemas tropicais & subtropicais. 2. ed. Porto Alegre: Metrópole, 2008. p. 137-154.

CULIK, M. P.; MARTINS, D. S.; VENTURA, J. A. Collembola (Arthropoda: Hexapoda) communities in the soil of papaya orchards managed with conventional and integrated production in Espirito Santo, Brazil. **Biota Neotropica**, Campinas, v. 6, n. 3, set. 2006. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/bn/v6n3/v6n3a19.pdf>. Acesso em: 10 mar. 2012.

CULIK, M. P.; SOUZA, J. L.; VENTURA, J. A. Biodiversity of Collembola in tropical agricultural environments of Espirito Santo, Brazil. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v. 21, n. 1, p. 49-58, July 2002.

DAMATTA, F. M. et al. O café em sistemas agroflorestais. In: FERRÃO, R. G. et al. (Ed.). **Café conilon**. Vitória: INCAPER, 2007. p. 377-388.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro, 2006. 306 p.

FERNANDES, M. M. et al. Influência de diferentes coberturas florestais na fauna do solo na Flona Mário Xavier, no município de Seropédica, RJ. **Revista Floresta**, Curitiba, v. 41, n. 3, p. 533-540, abr. 2011.

LAVELLE, P. Diversity of soil fauna and ecosystem function. **Biology Internship**, Paris, v. 33, n. 1, p. 3-16, 1996.

LIMA, S. S. et al. Relação entre macrofauna edáfica e atributos químicos do solo em diferentes agroecossistemas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 45, n. 3, p. 322-331, mar. 2010.

LORING, S. J.; SNIDER, R. J.; ROBERTSON, L. S. The effects of three tillage practices on Collembola and Acarina populations. **Pedobiologia**, Goettingen, v. 22, p. 172-184, 1981.

MELO, F. V. et al. **A importância da meso e macrofauna do solo na fertilidade e como bioindicadores**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciências do Solo, 2009. Boletim informativo.

MOÇO, M. K. S. et al. Soil and litter fauna of cacao agroforestry systems in Bahia, Brazil. **Agroforestry Systems**, Dordrecht, v. 76, p. 127-138, 2009.

MOREIRA, F. M. S.; HUISING, E. J.; BIGNELL, D. E. **Manual de biologia dos solos tropicais:** amostragem e caracterização da biodiversidade. Lavras: UFLA, 2010. 368 p.

ODUM, E. P. **Ecologia**. Rio de Janeiro: Guanabara, 1983. 434 p.

PARR, C. L. et al. Savanna fires increase rates and distances of seed dispersal by ants. **Oecologia**, Berlin, v. 151, n. 1, p. 33-41, Feb. 2007.

PELLENS, R.; GARAY, I. A comunidade de macroartrópodos edáficos em uma plantação de Coffea robusta Linden (Rubiaceaae) e em uma floresta primária em Linhares, Espírito Santo, Brasil. **Revista Brasileira de Zoologia**, Curitiba, v. 16, n. 1, p. 245-258, mar. 1999.

PIELOU, E. C. **Ecological diversity**. New York: J. Wiley, 1975. 165 p.

PONGE, J. F. et al. Collembolan communities as bioindicators of land use intensification. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 35, n. 6, p. 813-826, June 2003.

PORTELA, J. C.; LIBARDI, P. L.; LIER, Q. J. V. Retenção da água em solo sob diferentes usos no ecossistema tabuleiros costeiros. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 5, n. 1, p. 49-54, jan./abr. 2001.

PREZOTTI, L. C. et al. Calagem e adubação. In: FERRÃO, R. G. et al. (Ed.). **Café conilon**. Vitória: INCAPER, 2007. p. 341-342.

RAWLINS, A. J. et al. The biochemical transformation of oak (*Quercus robur*) leaf litter consumed by the pill millipede (*Glomeris marginata*). **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 38, n. 5, p. 1063-1076, May 2006.

ROSA, A. S.; DALMOLIN, R. S. D. Fauna edáfica em solo construído, campo nativo e lavoura anual. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, n. 3, p. 913-917, maio/jun. 2009.

SALES, E. F. et al. Agroecological transition of Conilon Coffee (*Coffea canephora*) agroforestry systems in the State of Espirito Santo, Brazil. **Agroecology and Sustainable Food**, Philadelphia, v. 37, p. 405-429, Feb. 2013.

SILVA, J. et al. Fauna do solo em sistemas de manejo com café. **Journal of Biotechnology and Biodiversity**, Gurupi, v. 3, n. 2, p. 59-71, May 2012.

SILVA, M. G.; OLIVEIRA, C. M.; JUNQUEIRA, A. M. R. Efeito da solarização e da adubação sobre artrópodes em solo cultivado com alface. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 27, n. 4, p. 465-472, out./dez. 2009.

SILVA, V. M. **Manejo da adubação orgânica visando agroecossistemas sustentáveis de café conilon no Estado do Espírito Santo**. 2012. 111 p. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre, 2012.

SOUSA, J. P. et al. Effects of land-use on Collembola diversity patterns in a Mediterranean landscape. **Pedobiologia**, Goettingen, v. 48, n. 5, p. 609-622, Dec. 2004.

WIWATWITAYA, D.; TAKEDA, H. Seasonal changes in soil arthropod abundance in the dry evergreen forest of north-east Thailand, with special reference to collembolan communities. **Ecological Research**, Tokyo, v. 20, n. 1, p. 59-70, Jan. 2005.

EFFECT OF TEMPERATURE AND CYTOKININ ON THE CAPACITY OF DIRECT SOMATIC EMBRYOGENESIS IN *Coffea arabica* L. GENOTYPES

Julieta Andréa Silva de Almeida[1], Rebeca Rocha Leal[2], Valéria Cristina Barbosa Carmazini[3], Marcus Vinicius Salomon[4], Oliveiro Guerreiro-Filho[5]

(Recebido: 16 de setembro de 2013; aceito: 13 de março de 2014)

ABSTRACT: The vegetative multiplication of *Coffea arabica* hybrids can be carried out by direct somatic embryogenesis. The objective of this study was to verify if temperature and cytokinins could influence the capacity for direct somatic embryogeneis in arabica genotypes. For this purpose foliar explants taken from adult plants of three *C. arabica* genotypes, hybrids 812 and 956 and cultivar Catuaí, were inoculated into a culture medium with ½ MS salts, 20.0 g l^{-1} sucrose and 30 µM 6-benzyladenine (6-BA) or 10 µM 2-isopenteniladenina (2-iP) and submitted to temperatures of 25 and 30 ºC in the absence of light. The treatments were evaluated with respect to the number of somatic embryos formed per foliar explant, at 270 days after the beginning of the experiment. A completely random experimental design was adopted with a 3 x 2 x 2 (genotype x temperature x plant growth regulator) factorial scheme, with ten replications per treatment and two explants in each. Temperature of 30 ºC favored significantly the formation of somatic embryos when compared to 25 ºC and this response pattern predominated amongst the three genotypes. On the other hand, 6-BA and 2-iso-pentenladenine caused similar answers for the majority of genotypes. The results of this study showed that temperature has a significant influence on the direct somatic embryogenesis capacity of *C. arabica* genotypes.

Index terms: Arabica hybrid, somatic embryo, 6-benzyladenine, 2-isopenteniladenina.

EFEITO DA TEMPERATURA E CITOCININA NA CAPACIDADE DE EMBRIOGÊNESE SOMÁTICA DIRETA EM GENÓTIPOS DE *Coffea arabica* L.

RESUMO*: A multiplicação vegetativa dos híbridos de Coffea arabica pode ser obtida pela embriogênese somática direta. Objetivou-se, neste estudo, verificar se a temperatura e as citocininas 6-benziladenina (6-BA) and 2-isopentenladenina (2-iP) poderiam influenciar na capacidade de embriogênese somática direta de genótipos de arábica. Para tanto, explantes foliares provenientes de plantas adultas dos híbridos 812 e 956 e da cultivar Catuai Vermelho foram inoculados em meio de cultura com metade da concentração dos sais de MS, adição de 20 g l^{-1} de sacarose, 30 µM de 6-BA ou 10 µM de 2-iP, submetidos às temperaturas de 25 e 30 ºC, em ausência de luz. Foi adotado o delineamento inteiramente casualizado em esquema fatorial 3 x 2 x 2 (genótipo x temperatura x regulador de crescimento de planta), com dez repetições por tratamento e dois explantes em cada repetição. Os tratamentos foram avaliados quanto ao número de embriões somáticos formados por explante foliar, aos 270 dias do início do experimento. A temperatura de 30 ºC aumentou significativamente a formação de embriões somáticos quando comparado com 25 ºC. Por outro lado, as citocininas 6-BA e 2-iP causaram respostas similares para a maioria dos genótipos. Os resultados do presente estudo demonstraram que o fator temperatura tem influência significativa na capacidade de embriogênese somática direta de explantes foliares de genótipos de C. arabica.*

Termos para indexação: *Híbrido de arábica, embrião somático, 6-benziladenina,* 2-isopenteniladenina.

1 INTRODUCTION

The vegetative multiplication of *Coffea* has been carried out by somatic embryogenesis (SE) especially for the clonal multiplication of arabica hybrids (BERTRAND et al., 2011; MORAIS; MELO, 2011).

Somatic embryos may be induced via indirect (ISE) or direct (DSE) pathway (QUIROZ-FIGUEROA et al., 2006; YANG et al., 2010). Indirect somatic embryogenesis consists of two phases, the first corresponding to calogenesis giving rise to the callus and the differentiation of the somatic embryo occurs in the second phase, as from determined callus cells (GAJ, 2004). On the other hand, in DSE, the embryos are formed in a single phase, without calogenesis (GATICA-ARIAS; ARRIETA-ESPINOZA; ESPINOZA-ESQUIVEL, 2007). But, usually the ISE is used more often than the direct pathway to obtaining somatic embryos of Arabic genotypes (VIEIRA; KOBAYASHI, 2000).

The capacity of SE can be influenced by various factors, such as the physiological characteristics of the plant that donated the explants (KLCOVA; HAVRENTOVA; FARAGO, 2004) and the in vitro cultivation conditions with respect to: type of culture medium (LÓPEZ-GÓMEZ

[1,2,3,5]Centro de Café 'Alcides Carvalho' - Instituto Agronômico de Campinas - 13001-970 - Campinas - SP - julietasa@iac.sp.gov.br, rebeca.rochaleal@gmail.com, valeria_carmazina@yahoo.com.br, oliveiro@iac.sp.gov.br
[4]Coordenadoria de Assistência Técnica Integral/CATI - Av. Brasil, 2340 - Bairro Vila Itapura - 13070-178 - Campinas - SP mvinicius@cati.sp.gov.br

et al., 2010), carbon dioxide in the environment of the culture vessel (BARBÓN; JIMÉNEZ; PREIL, 2008); type of plant growth regulator (GIRIDHAR et al., 2004a, 2004b; KUMAR; RAMAKRISHNA; RAVISHANKAR, 2007; PEREIRA et al., 2007); light regime (ALMEIDA et al., 2008; DE-LA-PENA; GALAZ-AVALOS; LOYOLA-VARGAS, 2008), agar concentration (ALMEIDA; CARMAZINI; RAMOS, 2007), osmotic potential of the culture medium (AHMAD; JAVED; ASHRAF, 2007; FERRIE; KELLER, 2007) and temperature (ORTOLAN et al., 2007; TORRES-VIÑALS et al., 2004).

Plant growth regulators play a significant role in the control of somatic embryogenesis (JIMÉNEZ, 2005). The induction of DSE in *Coffea* is strongly associated with the addition of cytokinins to the culture medium, in the absence of auxins (ALMEIDA; SILVAROLLA, 2009; PAPANASTASIOU et al., 2008).

Temperature acts in a significant way in the occurrence of the events of plant growth and development in nature. However, a lack of studies on the effect of temperature on the capacity of SE is noticed in *Coffea*. The influence of the temperature on the different events of the embryo regeneration route in SE has been little studied. The majority of the studies found in the literature was related to the application of low temperatures as a heat shock treatment in ears, shoots, flowers and anthers to obtain haploid plants (CALIC-DRAGOSAVAC; STEVOVIC, ZDRAVKOVIC-KORAC, 2010; JAVED et al., 2007; MORAES et al., 2004; WANG; CAMPBELL, 2006). There are few references to the influence of this factor in the SE of other species, not related to the cultivation of anthers, as like *Cydonia oblonga* (MORINI et al., 2004) and *Picea abies* (KVAALEN; JOHNSEN, 2008). According to George and Davies (2008), there is no single, previously defined temperature for the in vitro cultivation of all species, and in general, 25 ºC is most used. Although different species are successfully multiplied under this condition, each species may have its own optimum temperature. Thus it is possible that temperatures other than 25 ºC could also influence DSE in *C. arabica*. The objective of the present study was to verify the influence of temperature associated with two cytokinins, 6 benzylaminopurine and 2-isopenteniladenina, on the direct somatic embryogenesis of three *Coffea arabica* genotypes.

2 MATERIAL AND METHODS

Leaves were collected from the third pair of branches of adult *Coffea arabica* plants of the cultivar Catuai Vermelho IAC 99 and the hybrids H20049C812 (812) and H20032C956 (956), developed by the genetic improvement program of the Instituto Agronômico de Campinas. The leaves were washed in a detergent solution and rinsed three times in running water, disinfested in a 2.5 % commercial sodium hypochlorite solution for 25 minute. This disinfested treatment was repeated twice, per two consecutive days. Rectangular 1.5 x 2.0 cm explants were obtained from these leaves, excluding the main vein, edges and apical and basal portions. The explants were inoculated with the abaxial side in contact with the culture medium.

The culture medium contained half strength MS salts (MURASHIGE; SKOOG, 1962), 20.0 g l-1 sucrose and 30 µM 6-BA (ALMEIDA; SILVAROLLA, 2009) or 10 µM 2-iP (ALMEIDA; CARMAZINI; RAMOS, 2007). The pH of the medium was adjusted to 5.8, solidified with 5 g l-1 agar and autoclaved at 121 ºC and 1.5 atm for twenty minutes. Volumes of 30 mL of the culture medium were added to transparent glass flasks (250 mL) and kept at 25 or 30 ºC ± 2 in the absence of light.

The treatments were evaluated at 270 days for their direct somatic embryogenesis capacity, to the number of somatic embryos produced per foliar explant. A completely random experimental design was adopted with a 3 x 2 x 2 (genotypes x temperature x plant growth regulator) factorial scheme, with ten replications per treatment and two explants in each. The data obtained from NE were analyzed statistically using the F test, and the means compared using Tukey's test, both at a level of 5 %.

3 RESULTS AND DISCUSSION

The explants of all the treatments presented somatic embryo forming capacity (NE) (Figure 1). It was not found any significant interaction between temperature and plant growth regulator.

The temperature of 30 ºC significantly increased the number of somatic embryos formed per foliar explant of the three genotypes when compared to 25 ºC (Figure 1). In this case, at 30 ºC, the Catuaí, 812 and 956 formed respectively 68.8, 71.9 and 20.0 embryos per foliar explant. Moreover, at 25 ºC, all of these genotypes had reduced number of embryos per explant.

On the other hand, 6-BA and 2-iP caused the same effect on the number of somatic embryos for the genotypes Catuaí (Figure 1D) and 812 (Figure 1E), but 6-BA increased the production of somatic embryos for the genotype 956 (Figure 1F).

Foliar explants of the hybrids 812, 956 and the cv Catuaí, submitted to DSE, formed two morphological types, small structures similar to callus (Figure 2A) and somatic embryos (Figure 2B), both occurring in an isolated mode or simultaneously on the edges of rectangular explants, in a single cultivation phase. The somatic embryos formed directly on the edges of the explants (Figure 2B) or on the surface of the structures similar to callus (Figure 2A), mainly when both were oxidized (data not shown).

Contact between the explants and, principally, the plant growth regulator present in the culture medium, is one of the factors that unleashes the events of induction, initiation and development of the somatic embryos (JIMÉNEZ, 2005). In previous studies it was shown that 30 µM 6-BA (ALMEIDA; SILVAROLLA, 2009) and 10 µM 2-iP (ALMEIDA; CARMAZINI; RAMOS, 2007) induced good somatic embryo formation in foliar explants of the genotypes of *C. arabica*, both cultivated at 25 ºC. In the present study, it was observed that 6-BA and 2-iP, in general, have similar response for the total of somatic embryos, except for the genotype 956 which showed greater quantity in the presence of 6-BA (Figure 2). These differences could be attributed to genetic response.

It was observed that although the treatments at 30 ºC in presence of 30 µM 6-BA or 10 µM of 2-iP promoted good embryo formation, the time for this to occur was very long, since it started at about 90 days in reduced amounts (data not shown), and only reached elevated production after 240 days (data not shown).

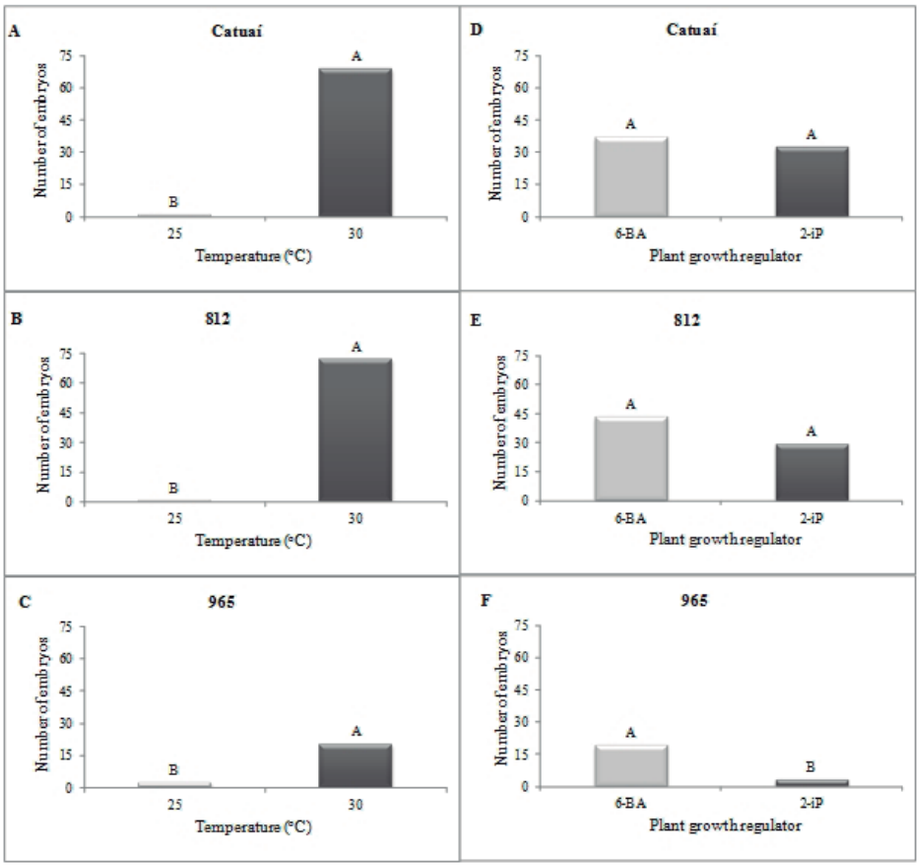

FIGURE 1 - Effect of temperature (***A,B,C***) and plant growth regulator (***D,E,F***) in the number of somatic embryos formed per foliar explant of three genotypes of *Coffea arabica* submitted to direct somatic embryogenesis, maintained in the dark, at 270 days after the beginning of the experiment.

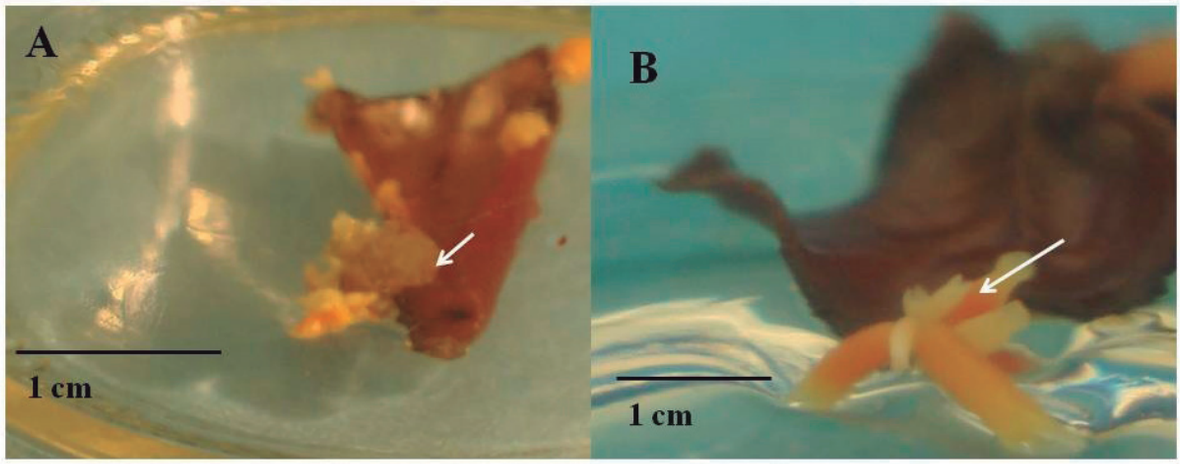

FIGURE 2 - Presence of structures similar to callus (**A**) and somatic embryos (**B**) on foliar explants of *Coffea arabica* submitted to direct somatic embryogenesis, at 30 ºC.

This long time was also observed in other studies with genotypes of arabica (ALMEIDA; SILVAROLLA, 2009). Perhaps, this long time to the beginning of the formation of somatic embryos by direct way is associated with the cellular plasticity. The vegetative cells show developmental plasticity (FEHÉR, 2008). According to Schlichting and Smith (2002) a phenotype plasticity is any change in an organism's characteristics in response to an environmental signal. The plasticity can be influenced by the given physiological state of the cell (NIKLAS, 2008) which is determined by its genetic and developmental conditions and by environmental cues (MAL; LOVETT-DOUST, 2005), as temperature (ATKIN et al., 2006) and plant growth regulation (FARNSWORTH, 2004).

Thus the results of the present study showed that the temperature influences the DSE capacity of *C. arabica* genotypes. Fehér (2008) discussed that the occurrence of somatic embryogenesis is not only due to genetic control, but it could also depend on the physical environmental conditions (GEORGE; DAVIES, 2008). Thus the exact biochemical expression of the cells in culture could be considerably modified by the conditions imposed by the medium.

4 CONCLUSIONS

The temperature of 30 ºC increased the number of somatic embryos produced in foliar explants of *C. arabica* when compared to 25º C. 6-BA and 2-iP had the same effect on the induction of somatic embryos in most genotypes.

5 ACKNOWLEDGEMENTS

This work was supported by the Consórcio Pesquisa Café.

6 REFERENCES

AHMAD, M. S. A.; JAVED, F.; ASHRAF, M. Iso-osmotic effect of NaCl and PEG on growth, cations and free proline accumulation in callus tissue of two indica rice (*Oryza sativa* L.) genotypes. **Plant Growth Regulation**, Dordrecht, v. 53, p. 53-63, 2007.

ALMEIDA, J. A. S.; CARMAZINI, V. C. B.; RAMOS, L. C. S. Indirect effect of agar concentration on the embryogenesis responses of *Coffea canephora.* **Fruit, Vegetable and Cereal Science and Biotecnology**, Tokyo, v. 1, p. 121-125, 2007.

ALMEIDA, J. A. S. et al. Embriogênese somática em genótipos de *Coffea arabica* L. **Coffee Science**, Lavras, v. 3, n. 2, p. 143-151, 2008.

ALMEIDA, J. A. S.; SILVAROLLA, M. B. Induction of somatic embryos of *Coffea arabica* genotypes by 6-benzyladenine. **International Journal of Plant Developmental Biology**, Tokyo, v. 3, n. 1, p. 5-9, 2009.

ATKIN, O. K. et al. Phenotypic plasticity and growth temperature: understanding interspecific variability. **Journal Experimental Botany**, London, v. 57, n. 2, p. 267-281, 2006.

BARBÓN, R.; JIMÉNEZ, E.; PREIL, W. Influence of *in vitro* environment on somatic embryogenesis of *Coffea arabica* L cv Caturra rojo: the effects of carbon dioxide on embryogenic cell suspensions. **Plant Cell Tissue and Organ Culture**, Dordrecht, v. 95, n. 2, p. 155-161, 2008.

BERTRAND, B. et al. Performance of *Coffea arabica* F1 hybrids in agroforestry and full-sun cropping systems in comparison with American pure line cultivars. **Euphytica**, Dordrecht, v. 181, p. 147-158, 2011.

CALIC-DRAGOSAVAC, D.; STEVOVIC, S.; ZDRAVKOVIC-KORAC, S. Impact of genotype, age of tree and environmental temperature on androgenesis induction of *Aesculus hippocastanum* L. **African Journal of Biotechnology**, Nairobi, v. 9, n. 26, p. 4042-4049, 2010.

DE-LA-PENA, C.; GALAZ-AVALOS, R. M.; LOYOLA-VARGAS, V. M. Possible role of light and polyamines in the onset of somatic embryogenesis of *Coffea canephora.* **Molecular Biotechnology**, Totowa, v. 39, n. 3, p. 215-224, 2008.

FARNSWORTH, E. Hormones and shifting ecology throughout plant development. **Ecology**, Durham, v. 85, n. 1, p. 5-15, 2004.

FEHÉR, A. The initiation phase of somatic embryogenesis: what we know and what we don't. **Acta Biologica Szegediensis**, Hungary, v. 52, n. 1, p. 53-56, 2008.

FERRIE, A. M. R.; KELLER, W. A. Optimization of methods for using polyethylene glycol as a non-permeating osmoticum for the induction of microspore embryogenesis in the *Brassicacea.* ***In Vitro* Cellular & Developmental Biology Plant**, Berlin, v. 43, n. 4, p. 348-355, 2007.

GAJ, M. D. Factors influencing somatic embryogenesis induction and plant regeneration with particular reference to *Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh. **Plant Growth Regulation**, Dordrecht, v. 43, p. 27-47, 2004.

GATICA-ARIAS, A. M.; ARRIETA-ESPINOZA, G.; ESPINOZA-ESQUIVEL, A. M. Comparison of three *in vitro* protocols for direct somatic embryogenesis and plant regeneration of *Coffea arabica* L. cvs. Caturra and Catuaí. **Agronomia Costarricense**, San José, v. 31, n. 1, p. 85-94, 2007.

GEORGE, E. F.; DAVIES, W. Effects of the physiological environment. In: GEORGE, E. F.; HALL, M. A.; DE KLERK, G. (Ed.). **Plant propagation by tissue culture**. 3rd ed. Netherlands: Springer, 2008. p. 423-464.

GIRIDHAR, P. et al. Direct somatic embryogenesis from *Coffea arabica* L. and *Coffea canephora* P. ex Fr. under the influence of ethylene action inhibitor-silver nitrate. **Acta Physiologiae Plantarum**, New York, v. 26, n. 3, p. 299-305, 2004a.

GIRIDHAR, P. et al. Thidiazuron induced somatic embryogenesis in *Coffea arabica* L. and *Coffea canephora* P. ex Fr. **Acta Botanica Croatica**, Ottawa, v. 63, n. 1, p. 25-33, 2004b.

JAVED, M. A. et al. The role of alternating culture temperatures and maltose in enhancing the anther culture efficiency of salt tolerant indica rice (*Oryza sativa* L.) cultivars, Pokkali and Nona Bokra. **Plant Biotechnology**, Tokyo, v. 24, p. 283-287, 2007.

JIMÉNEZ, V. M. Involvement of plant hormones and plant growth regulators on *in vitro* somatic embryogenesis. **Plant Growth Regulation**, Dordrecht, v. 47, p. 91-110, 2005.

KLCOVA, L.; HAVRENTOVA, M.; FARAGO, J. Cultivar and environmental conditions affect the morphogenic ability of barley (*Hordeum* vulgare) scutellum-derived calli. **Biologia**, Btatislava, v. 59, n. 4, p. 501-504, 2004.

KUMAR, V.; RAMAKRISHNA, A.; RAVISHANKAR, G. A. Influence of different ethylene inhibitors on somatic embryogenesis and secondary embryogenesis from *Coffea canephora* P. ex Fr. ***In Vitro* Cellular Developmental Biology Plant**, New York, v. 43, n. 6, p. 602-607, 2007.

KVAALEN, H.; JOHNSEN, O. Timing of bud set in *Picea abies* is regulated by a memory of temperatura during zigotic and somatic embryogenesis. **New Phytologist**, Cambridge, v. 177, p. 49-59, 2008.

LÓPEZ-GÓMEZ, P. et al. Influence of explant and culture medium on somatic embryogenesis of coffee leaves. **Revista de Fitotecnia Mexicana**, Chapingo, v. 33, n. 3, p. 205-213, 2010.

MAL, T. K.; LOVETT-DOUST, J. Phenotypic plasticity in vegetative and reproductive traists in an invasive weed, *Lythrum salicaria* (Lythraceae), in response to soil moisture. **American Journal of Botany**, Columbus, v. 92, n. 5, p. 819-825, 2005.

MORAES, A. P. et al. Effect of temperature shock on soybean microspore embryogenesis. **Brazilian Archives of Biology and Technology an International Journal**, Curitiba, v. 47, n. 4, p. 537-544, 2004.

MORAIS, T. P.; MELO, T. Biotecnologia aplicada ao melhoramento genético do cafeeiro. **Ciência Rural**, Porto Alegre, v. 41, n. 5, p. 753-760, 2011.

MORINI, S. et al. Effect of high and low temperature on the leaf regenerating capacity of Quince BA29 rootstock. **Acta Horticulturae**,The Hague, v. 658, p. 591-597, 2004.

MURASHIGE, T.; SKOOG, F. A revised medium for rapid growth and bioassays with tabacco tissue cultures. **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, v. 15, p. 473-497, 1962.

NIKLAS, K. J. Functional adaptation and phenotypic plasticity at the cellular and whole plant level. **Journal Bioscience**, Uberlândia, v. 33, n. 4, p. 1-8, 2008.

ORTOLAN, A. R. et al. Efeito da temperatura e luminosidade na regeneração *in vitro* de plantas de trigo. **Scientia Agraria**, Curitiba, v. 8, n. 1, p. 61-65, 2007.

PAPANASTASIOU, I. et al. Effect of liquid pulses with 6-benzyladenine on the induction of somatic embryogenesis from coffee (*Coffea arabica*) callus cultures. **Plant Cell Tissue Organ Culture**, Dordrecht, v. 92, n. 2, p. 215-225, 2008.

PEREIRA, A. R. et al. Embriogênese somática direta em explantes foliares de *Coffea arabica* L. cv. Acaiá cerrado: efeito de cinetina e ácido giberélico. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 2, p. 332-336, mar./abr. 2007.

QUIROZ-FIGUEROA, F. R. et al. Embryo production through somatic embryogenesis can be used to study cell differentiation in plants. **Plant Cell Tissue Organ Culture**, Dordrecht, v. 86, p. 285-301, 2006.

SCHLICHTING, C. D.; SMITH, H. Phenotypic plasticity: linking molecular mechanisms with evolutionary outcomes. **Evolutionary Ecology**, Netherlands, v. 16, p. 189-211, 2002.

TORRES-VIÑALS, M. et al. Large-scale production of somatic embryos as a source of hypocotyl explants for *Vitis vinifera* micrografting. **Vitis**, Siebeldingen, v. 43, n. 4, p. 163-168, 2004.

VIEIRA, L. G. E.; KOBAYASHI, A. K. Micropropagação do cafeeiro. In: SIMPÓSIO DE PESQUISAS DOS CAFÉS DO BRASIL, 1., 2000, Poços de Caldas. **Anais...** Poços de Caldas: Consórcio Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento do Café, 2000. p. 147-167.

WANG, Y.; CAMPBELL, C. Effects of genotypes, pretreatments and media in anther culture of common (*Fagopyrum* esculentum) and self-pollinating buckwheat. **Fagopyrum**, Ljubljana, v. 23, p. 29-35, 2006.

YANG, J. L. et al. Direct somatic embryogenesis from pericycle cells of broccoli (*Brassica oleracea* L. var. italic) root explants. **Plant Cell, Tissue and Organ Culture**, Dordrecht, v. 100, n. 1, p. 49-58, 2010.

SPATIAL AND TEMPORAL VARIABILITY OF THE PRODUCTIVITY OF COFFEE CANEPHORA

Julião Soares de Souza Lima[1], Felipe Pianna Costa[2], Alexandre Cândido Xavier[1], Rone Batista de Oliveira[3], Samuel de Assis Silva[4]

(Recebido: 23 de setembro de 2013; aceito: 2 de dezembro de 2013)

ABSTRACT: GIS techniques have been used in many agricultural crops to study and assess the causes of spatial and temporal variability in production. The spatial and temporal variability of the canephora (conilon) coffee productivity was analyzed in the present work in three consecutive agricultural years (harvests) using geoprocessing techniques. A sampling grid with 109 georeferenced points was built with five plants per point. Significant differences in productivity were observed, with the lowest productivity recorded for the harvest 3 in 93.5% of the area. The productivity index (YI) varied from -18.0% in harvest 2 to harvest 1 and from -57.0% in harvest 2 to harvest 3, showing increasing decrease between different harvests.

Index terms: Geostatistics, soil management, semivariograms.

VARIABILIDADE ESPACIAL E TEMPORAL DA PRODUTIVIDADE DO CAFEEIRO CANEPHORA

RESUMO: *Em várias culturas, tem-se utilizado técnicas de geoprocessamento com intuito de estudar e interpretar as causas da variabilidade espacial e temporal da sua produção. Este trabalho foi desenvolvido objetivando-se analisar a variabilidade espacial e temporal da produtividade do cafeeiro canephora (conilon) em três safras consecutivas, utilizando técnicas de geoprocessamento. Uma malha amostral foi construída com 109 pontos georreferenciados, considerando cinco plantas por ponto. As produtividades apresentaram diferenças significativas, com menor produtividade na safra 3, em 93,5% da área. O índice de produtividade (IP) ficou da safra 2 para a 1 em -18,0% e da safra 3 para a 2 em -57,0%, mostrando redução crescente entre as diferentes safras.*

Termos para indexação: *Geoestatística, manejo do solo, semivariograma.*

1 INTRODUCTION

Predicting and mapping the spatial and temporal variability of the productivity areas allows crop producers to improve their planning of agricultural activities.

The analysis of spatial and temporal variability of the productivity has brought about the precision agriculture aiming at optimizing lime and fertilizer application, identifying regions with different productivity and minimizing costs and environmental impacts. According to Milani et al. (2006) Precision Agriculture is a crop management strategy that assess management zones considering their different productivity potential.

For some time now, the productivity determination in mechanized harvesting of various crops has been successfully accomplished. Productivity monitoring is associated with GPS's coupled to the harvesting equipment, originating real time productivity maps of the considered area. However, the use of this technology is limited in some crops such as coffee, grown in large areas in mountainous regions. Molin (2002) used productivity maps to define management units with satisfactory results.

According to Miranda et al. (2005) the existing variability in a specific area can influence production factors related to nutrient availability, for example. If spatial variability is observed for these factors and for crop productivity, the localization of high and low productive potential sites might bring benefits when localized management strategies are used. Ferraz et al. (2012) assessed and found spatial variability in the productivity of the arabica coffee and in soil chemical properties. These results suggested the need of productivity maps for a satisfactory management of precise management practices.

[1]Universidade Federal do Espírito Santo/UFES - Departamento de Engenharia Rural – DER/CCA - Cx. P. 16 - 29500-000 Alegre - ES - limajss@yahoo.com.br
[2]Universidade Federal do Espírito Santo/UFES - Pós-graduação em Produção Vegetal - Cx P. 16- 29500-000 - Alegre - ES felipepianna@gmail.com
[3]Universidade Estadual Norte do Paraná/UENP - Cx. P. 261 - 37.200-000 – Bandeirantes - PR ronebatista@hotmail.com
[4]Universidade Estadual de Santa Cruz/UESC - Departamento de Ciências Agrárias e Ambientais - 45662-900 - Ilhéus -BA samuel-assis@hotmail.com

The application of methodologies to define productivity-based management zones has been subject of various studies for different cultures, considering their spatial and temporal variability. The aim of this study was to analysis the spatial and temporal variability of the canephora (conilon) coffee productivity in three consecutive agricultural years (harvests) using geoprocessing techniques.

2 MATERIAL AND METHODS

The experiment was carried out at in the municipality Cachoeiro de Itapemirim-ES in an experimental area cultivated with the conilon species (*Coffea canephora* Pierre ex Froehner) of the cultivar Robusta Tropical. The coffee plants were spaced 2,9 x0, 90 m in an area with altitude ranging from 100 to 150 m, in the following coordinates: 20 ° 45 '17" South latitude and 41 ° 17'8, 86" West longitude of Greenwich.

An irregular grid was delineated in the central area of the crop, with 109 georeferencing sampling points and approximately 10 m spacing along the coffee plant line. Each sampling point consisted of five coffee plants. The studied harvests were the fifth, sixth and seventh, denominated harvest 1, 2 and 3.

The hand-picked coffee at each sample point was stored and identified in bags and sent to the INCAPER laboratory for oven moisture determination, in order to correct the productivity to the standard moisture of 12%, obtaining dry beans. The productivity of the milled coffee (sc ha^{-1}) in each crop was calculated after processing at each sample point.

Geostatistical analyses were used to produce maps of spatial distribution of productivity in the three harvests and to quantify the spatial dependence degree among the samples. In this analysis we opted for the intrinsic stationarity hypothesis, using a semivariogram, equation 01 (LIMA; SILVA; SILVA, 2013). If no sill is defined in the semivariogram, the trend analysis will be carried out.

$$\gamma^*(h) = \left(\frac{1}{2N(h)}\right)\sum_{i=1}^{N(h)}\left[Z(x_i) - Z(x_i + h)\right]^2$$

Eq 01

where: $\gamma^*(h)$ is the estimated semi-variance and N(h) is the number of pairs of measured values Z (xi) and Z (xi + h), separated by a distance vector h.

The following theoretical models were tested in the spatial analysis: spherical, exponential and Gaussian for the definition of the following parameters: nugget effect (C_0) that represents the discontinuity of the semivariogram at distances larger than the smallest distance among; sill (C_0+C), representing the value at which data variance is stabilized, therefore, the sum of: nugget effect (C_0) + contribution (C); and range (a) of spatial dependence, corresponding to the spatial lag in which the samples are independent (VIEIRA et al., 2009).

The degree of spatial dependence (DSD) was calculated by the ratio $[C_0/(C+C_0)] \times 100$, according to Cambardella et al. (1994). The values of DSD up to 25%, between 25% and 75% and above 75% represent strong, moderate and weak spatial dependence, respectively.

The highest determination coefficient of the semivariograms (R^2) and the lowest sum of squared residuals (SSR) were used as criteria for the choice of the theoretical model. As a definitive criterion, however, we chose the model with the highest and most significant correlation coefficient among the observed and estimated values for cross-validation (LIMA et al., 2008; LIMA; OLIVEIRA; SILVA, 2012).

Following the confirmation of productivity spatial dependence in the different harvests, the ordinary kriging interpolation technique was used to estimate values at unrecorded locations. According to Grego and Vieira (2005) the kringing technique produces estimates of values without bias and with minimum deviations in relation to the known values.

The quantitative diagnosis of productivity in the area was performed using geoprocessing resources (GIS), which allowed the determination of the degree and extent of the alterations occurred in the different harvests.

From the maps of productivity spatial distribution in each evaluated year, we generated loss and/or gain maps (MPG) or productivity levels (Nprod) between the harvests (equation 02), indicating regions with different productivity.

$$MPG = \frac{Mp_{(n)} - Mp_{(n-1)}}{Mp_{(n-1)}} * 100 \qquad \text{Eq.02}$$

where MPG is the loss and/or gain in productivity; $Mp_{(n)}$ is the map of the spatial productivity distribution in harvest n, and $Mp_{(n-1)}$

is the map of the spatial productivity distribution in harvest (n-1).

The productivity index (YI) from one harvest to another was determined using the interval of each class in the loss and/or gain map (MPG) by the area occupied in the map, from algebraic operations. The quantification of the productivity variation between the different harvests using the productivity index (YI) indicates the increase and/or decrease in productivity between harvests (equation 03).

$$YI = \frac{\sum_{i=1}^{n} IC_i * A_i}{\sum_{i=1}^{n} A_i} \qquad \text{Eq.03}$$

where: YI is the productivity index of the area; IC_i is the class interval for productivity in the maps, and A_i is the class area of a given level of productivity.

3 RESULTS AND DISCUSSION

The box plot in Figure 1 shows the central position of the data and the temporal variability of the crop productivity for the milled conilon coffee for the three consecutive years. The position (mean and median) and dispersion (coefficient of variation) measures were 74.8; 73.4; 28.6 to (1), 58.5, 57.3, 28.4 to (2) and 14.4, 11.4, 80.7 to (3) to three consecutive years.

High variability was found for the productivitys of the green coffee (sc ha^{-1}) between the three harvests, with values ranging from 32 to 128 sc ha^{-1}, 27 to 98 sc ha^{-1} and 1 to 48 sc ha^{-1} for the first, second and third harvest, respectively.

The productivitys of all harvests presented approximate measures of central tendency (mean and median), positively or right skewed, with a tendency of data concentration skewed to the right, with mean values greater than the median. Productivitys in the different harvests had normal data distribution according to the Kolmogorov-Smirnov (KS) test at ($p < 0.05$).

Based on the results of the Student's t test ($p < 0.05$), it was found that the productivity was significantly different between harvests. This may have been the result of several factors that played individual or joint roles in reducing the productivity between the harvests, such as climatic conditions, soil fertility, relief, and cultural practices, but is not evaluated in this study. Barbosa et al. (2006) discussed that the lack of lime application or its insufficient dosage contributes to low productivity values, as was observed in harvest 3. However, little work has comparatively been conducted in line with the initial studies of Weill et al. (1999) on the causal relationships between soil and coffee cultivation in the context of spatial variability.

The analysis of the coefficient of variation (CV) proposed by Gomes (1987) showed that the first two harvests had average variation ($10\% \leq CV \leq 30\%$) and the third harvest had high variation ($CV > 30\%$). Values of CV with average variation was reported by Silva, Lima and Alves (2010) for conilon and with high variation by Silva et al. (2007) and Silva, Teodoro and Melo (2008) in studies with Arabic coffee productivity.

The theoretical semivariograms for harvests 1, 2 and 3 were defined in the spatial analysis, scaled by data variance, with fitting of the exponential model to the data. The following parameters were set: C0 (0.40; 0.31; 0.04), C0+C (1.20; 1.02; 0.91), range (a) (131.7 m; 20.7 m; 26.3 m), GDE (29%; 30%; 11%) and R2 (90%; 98%; 97%), respectively. Harvest 3 showed strong spatial dependence (GDE <25%), while the remaining harvests had moderate spatial dependence. Harvest 1 had the highest range, indicating greater spatial continuity with moderate spatial dependence (25% <GDE <75%). According to Silva et al. (2010), with the definition of the semivariogram sill, there is an intrinsically stationary process, since there is no variation tendency for productivity with the directions.

The productivity thematic maps of the three harvests are shown in Figure 2.

The productivity maps show that the first two harvests are identified in the higher productivity zones. Higher productivity was observed in the first and second harvests at the top and bottom of the maps, respectively.

For the third harvest, lower productivity was observed in all the studied area, especially in the central part, when compared with the other harvests. In general, the productivity in this harvest was low in relation to the production potential, as shown in the previous harvests.

The productivity temporal variability does not show the same distribution tendency in the area during the harvests. There was, however, alternating productivity zones throughout the harvests.

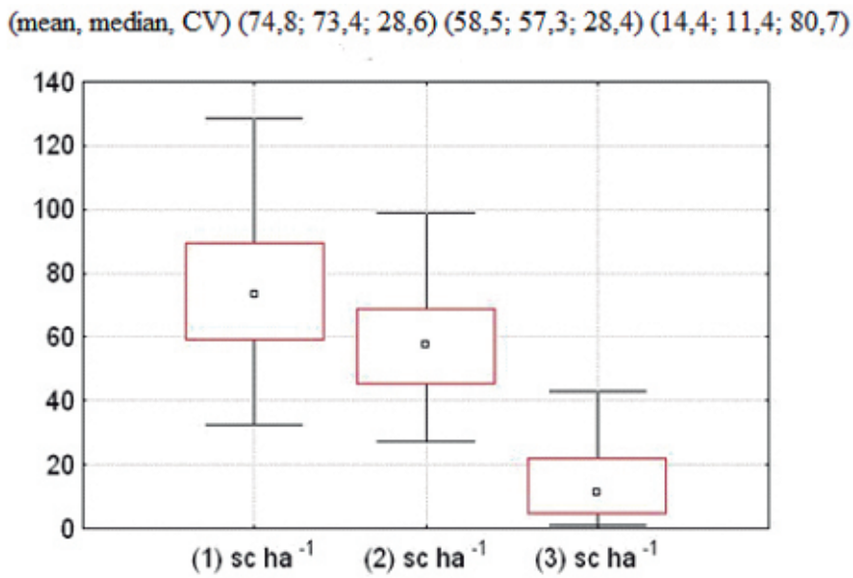

FIGURE 1 - Box-plot of the productivity (sc ha^{-1}) for the three consecutive years.

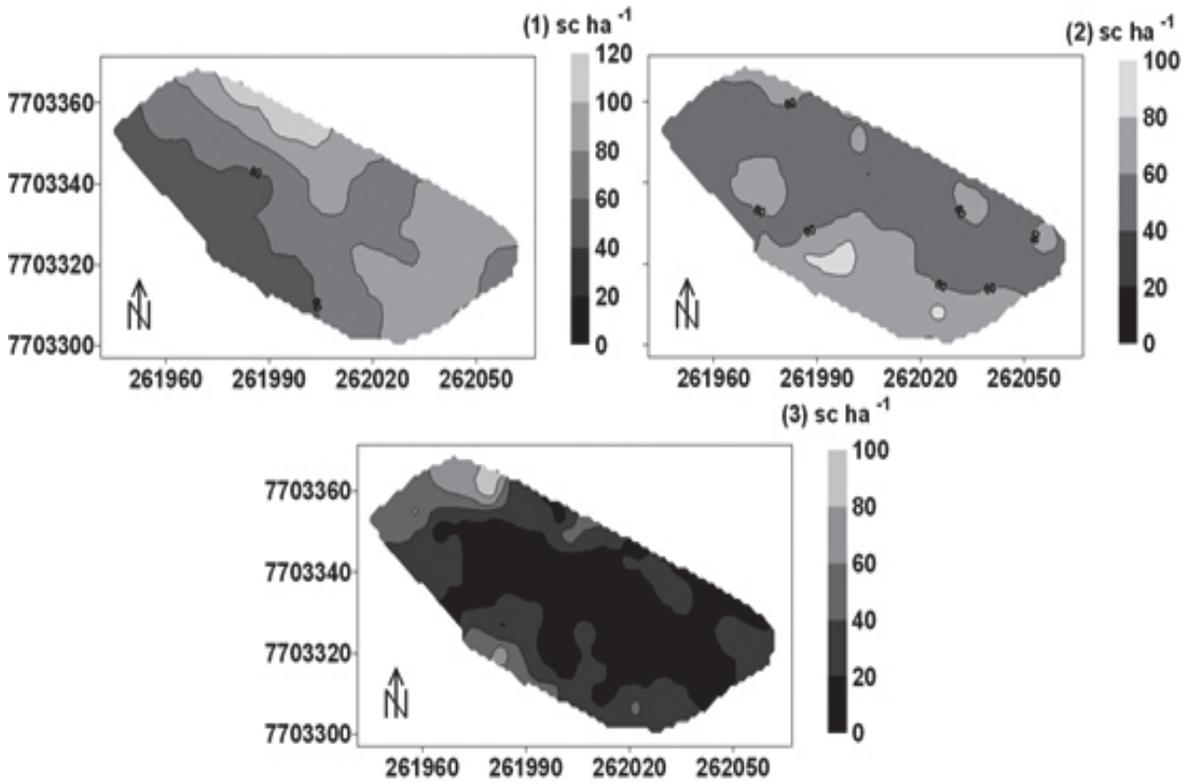

FIGURE 2 - Spatial variability of the productivity (sc ha^{-1}) for the three consecutive years (1), (2) and (3).

This fact reflects the combined effect of several sources in spatial and temporal variability. Part of this variability may be attributed to constant factors or factors that vary slowly, while other factors are transitory, changing in its relevance and spatial and temporal distribution from one harvest to another.

It is known that in the coffee crop the productivity oscillates due to the physiological features of the culture (RENA et al., 1996), climatic and phytosanitary factors, the adopted planting system and other factors still not clarified (CARVALHO et al., 2004).

This results in a complex productivity prediction and reduces the cost-benefit for the farmer.

Considering the algebraic operation of the maps between the conilon coffee harvests, we determined the productivity levels (Nprod) between the different harvests, as shown in Figure 3.

For better visualization and description of the results, the areas with positive and negative values were quantified as a percentage (%), indicating gain and loss areas in the maps (Table 1).

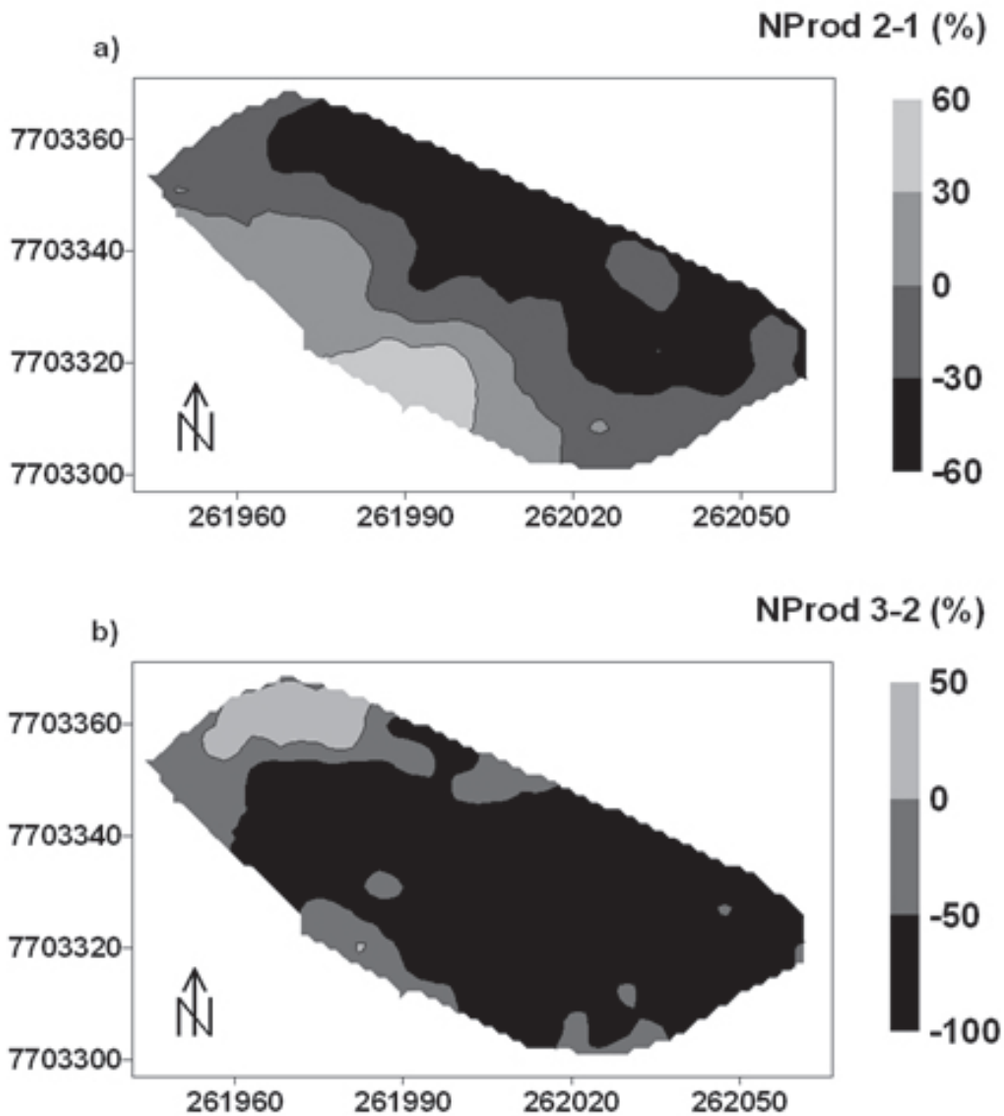

FIGURE 3 - Spatial variability of productivity levels between harvests 2-1 (a) and 3-2 (b).

TABLE 1 - Percentage of positive and negative values in the productivity maps (Nprod) between different harvests.

	Harvest 2-1 (%)		Harvest 3-2 (%)	
Attribute	Values (+)	Values (-)	Values (+)	Values (-)
Nprod	23.3	76.7	6.5	93.5

Nprod: productivity levels

The analysis showed 76.7% for harvest 2-1 (Figure 3a), indicating a productivity inversion in the area between these harvests. Thus, the areas with lower altitudes in harvest 1 showed higher productivity. For harvest 3-2, the $Nprod_{3-2}$ (Figure 3b) most of the area also showed negative values, concentrated in intervals from -50 to -100% of productivity reduction compared with the previous year, in the central part of the area.

The maps demonstrate positive and negative variability of productivity in different regions and between different harvests, indicating higher and lower productivity compared with previous harvests. This analysis allows visualizing regions that did not maintain the same productivity level from one harvest to another. Oliveira et al. (2010) showed that the mapping of the nutritional status of conilon coffee plants allowed visualizing different regions in the cultivation area, providing differentiated criteria for soil and leaf fertilization.

The interpretation of a harvest map for future localized management should take into account the consistent sources of variation, since there is hardly any control over transitory factors (QUEIROZ et al., 2004).

It is also known that in years of high load and high production in the coffee crop, there is a depletion of the plant in the next harvest. This is related to the fact that the plant is not able to balance the stages of fruit development and vegetative growth in its phenological cycle, and thus, may lead to reduced productivity.

Precipitation is another factor that may be related to the reduced productivity in the study area, since it influences the phenological stages of the coffee plant cycle. Damatta et al. (2007) worked with growth and development aspects of the coffee crop and found that two reproductive stages of the coffee plant can be affected by the occurrence of droughts: the floral bud development and grain formation. The monthly rainfall during the different harvests is shown in Table 2.

Bud development occurs between May and August.

Higher precipitation was observed in May for harvest 2, June for harvest 2, July for harvest 1 and August for harvest 1. In the first two harvests, precipitation was higher and better distributed in the months of floral bud development (May-August, harvests 1 and 2), when compared to harvest 3 (May-August harvest 3). This indicates that in the third harvest, this fact may have influenced the development of flower buds and consequently, productivity. According to Berlato, Farenzena and Fontana (2005), climate instability will strongly influence the temporal variability of crop productivitys.

In the coffee plant, flower bud development has been related to moderate internal water deficit and climatic factors such as temperature, photoperiod and water availability, which are directly related to floral induction (THOMAZIELLO; OLIVEIRA; TOLEDO FILHO, 1997).

The temporal variability observed between the harvests may be related to several factors as the ones we have mentioned. However, Ferrão et al. (2007) have stated that the productive branches (orthotropic and plagiotropic) suffer from aging (depletion) after a number of harvests, with low production rates. This may also contribute to obstruct sunlight passage into the plant, which also reflects reduced production.

Therefore, among the current practices used for crop management of the conilon coffee, pruning is one of the most important, eliminating old and unproductive branches (orthotropic and plagiotropic) and restoring the balance between leaf area and total dry mass of the plant (DAMATTA et al., 2007).

After the determination of Nprod between harvests 2-1 and 3-2, the different class levels were weighed according to the respective occupied areas. Productivity indexes were then determined (YI), with YI2-1 of -18 % and YI3-2 of -57.1 %, providing from the methodology of spatial and temporal analysis a new vision in reduced productivity between the harvests.

TABLE 2 - Monthly rainfall (mm) during the three harvests of canephora coffee.

Harvest	Aug	Set	Oct	Nov	Dec	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul
						254	264	256	89	28*	35*	71*
1	45*	61	90	126	361	174	291	397	33	126**	68**	33**
2	22**	101	37	241	218	44	134	287	125	14***	13***	4***
3	10***	78	67	267	198	237	100	62	46	25	19	7

*, **, *** Bud development of the first, second and third harvest, respectively.

The presence of lower productivity levels in the Nprod 3-2 map (-50 to -100%) explains the lower productivity index (YI3-2). There was a productivity reduction greater than 50.0% in harvest 3 when compared with harvest 2.

Productivity maps will be useful only to the extent that the information on intrinsic field factors can be correlated. However, in this study we did not seek to define a cause and effect relationship between various factors and productivity. Rather we have worked on a methodology to determine a loss and gain index between the harvests, considering the spatial and temporal dependence.

Therefore, mainly in the coffee crop, it is not simple to establish comparisons of productivity between the harvests, since it depends on the biennality, cultivar, cultural practices, soil fertility, planting density and weather conditions, all of which vary from year to year (SILVA; TEODORO; MELO, 2008).

4 CONCLUSION

1. The productivity in the three harvests has spatial and temporal variability.

2. Quantitative analysis using maps allows the observation that the productivity levels show alternate loss and gain regions between the different harvests.

3. The use of the map algebra methodology, which considers the spatial and temporal distribution in the studied area, allowed the determination of productivity reduction indices between the different harvests, providing the following values: -18% between the second and first harvest and of -57% between the third and second harvest.

5 AKNOWLEDGEMENTS

The authors thank the financial support by FAPES and CNPq in the development of this research.

6 REFERENCES

BARBOSA, D. H. et al. Estabelecimento de normas DRIS e diagnóstico nutricional do cafeeiro arábica na região noroeste do Estado do Rio de Janeiro. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 36, n. 6, p. 1717-1722, nov./dez. 2006.

BERLATO, M. A.; FARENZENA, H.; FONTANA, D. C. Associação entre El Nino Oscilação Sul e a produtividade do milho no Estado do Rio Grande do Sul. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 40, n. 5, p. 423-432, maio 2005.

CAMBARDELLA, C. A. et al. Field-scale variability of soil properties in Central Iowa soils. **Soil Science Society America Journal**, Madison, v. 58, p. 1501-1511, 1994.

CARVALHO, L. G. et al. A regression model to predict coffee productivity in Southern Minas Gerais, Brazil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 8, n. 2/3, p. 204-211, 2004.

DAMATTA, F. M. et al. Ecophysiology of coffee growth and production. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, Piracicaba, v. 19, n. 4, p. 485-510, 2007.

FERRÃO, R. G. et al. **Café Conilon**. Vitória: INCAPER, 2007. 702 p.

FERRAZ, G. A. S. et al. Agricultura de precisão no estudo de atributos químicos do solo e da produtividade de lavoura cafeeira. **Coffee Science**, Lavras, v. 7, n. 1, p. 59-67, 2012.

GOMES, F. P. **Curso de estatística experimental**. 12. ed. Piracicaba: Nobel, 1987.

GREGO, C. R.; VIEIRA, S. R. Variabilidade espacial de propriedades físicas de solo em uma parcela experimental. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, n. 2, p. 169-177, 2005.

LIMA, J. S. S. et al. Métodos geoestatísticos no estudo da resistência do solo à penetração em trilha de tráfego de tratores na colheita de madeira. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 32, n. 5, p. 931-938, 2008.

LIMA, J. S. S.; OLIVEIRA, R. B.; SILVA, S. A. Spatial variability of particle size fractions of an Oxisol cultivated with conilon coffee. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 59, n. 6, p. 739-745, 2012.

LIMA, J. S. S.; SILVA, S. A.; SILVA, J. M. Variabilidade espacial de atributos químicos de um latossolo vermelho-amarelo cultivado em plantio direto. **Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 44, n. 1, p. 16-23, 2013.

MILANI, L. et al. Unidades de manejo a partir de dados de produtividade. **Acta Scientia Agronômica**, Maringá, v. 28, n. 4, p. 591-598, 2006.

MIRANDA, N. O. et al. Variabilidade espacial da qualidade de frutos de melão em áreas fertirrigadas. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 23, n. 2, p. 242-249, 2005.

MOLIN, J. P. Definição de unidades de manejo a partir de mapas de produtividade. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 22, n. 1, p. 83-92, 2002.

OLIVEIRA, R. B. et al. Spatial variability of the nutritional condition of canephora coffee aiming specific management. **Coffee Science**, Lavras, v. 5, n. 3, p. 190-196, 2010.

QUEIROZ, D. M. et al. Uso de técnicas de agricultura de precisão para a cafeicultura de montanha. In: ZAMBOLIM, A. (Ed.). **Efeitos da irrigação sobre a qualidade e produtividade do café**. Viçosa, MG: UFV, 2004. p. 77-108.

RENA, A. B. et al. Fisiologia do cafeeiro em plantios adensados. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE CAFÉ ADENSADO, 1., 1996, Londrina. **Anais...** Londrina: Instituto Agronômico do Paraná, 1996. p. 73-85.

SILVA, C. A.; TEODORO, R. E. F.; MELO, B. Produtividade e rendimento do cafeeiro submetido a lâminas de irrigação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, n. 3, p. 387-394, mar. 2008.

SILVA, F. M. et al. Spatial variability of chemical attributes and productivity in the coffee cultivation. Ciência Rural, Santa Maria, v. 37, n. 2, p. 401-497, mar./abr. 2007.

SILVA, S. A. et al. Lógica fuzzy na avaliação da fertilidade do solo e produtividade do café conilon. Ciência Agronômica, Fortaleza, v. 41, n. 1, p. 9-17, 2010.

SILVA, S. A.; LIMA, J. S. S.; ALVES, A. I. Estudo espacial do rendimento de grãos e porcentagem de casca de duas variedades de coffea arabica l. visando a produção de café de qualidade. Bioscience Journal, Uberlândia, v. 26, n. 4, p. 558-565, 2010.

THOMAZIELLO, R. A.; OLIVEIRA, E. G.; TOLEDO FILHO, J. A. Cultura do café. 3. ed. Campinas: Instituto Agronômico, 1997. 75 p.

VIEIRA, S. R. et al. Spatial variability of soil chemical properties after coffee tree removal. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v. 33, p. 1507-1514, 2009.

WEILL, M. A. M. et al. Avaliação de fatores edafoclimáticos e do manejo na produção de cafeeiros (*Coffea arabica* L.) no oeste Paulista. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, n. 4, p. 891-901, 1999.

MODELOS DE PREDIÇÃO DA FERRUGEM DO CAFEEIRO (*Hemileia vastatrix* Berkeley & Broome) POR TÉCNICAS DE MINERAÇÃO DE DADOS

Cesare Di Girolamo Neto[1], Luiz Henrique Antunes Rodrigues[2], Carlos Alberto Alves Meira[3]

(Recebido: 4 de outubro de 2013; aceito: 17 de dezembro de 2013)

RESUMO: A ferrugem é a principal doença do cafeeiro, podendo gerar perdas significativas na produção, caso medidas de controle não sejam adotadas. Modelos de alerta de doenças agrícolas são capazes de gerar informações para aplicações de defensivos somente quando necessário, reduzindo gastos por parte do produtor e impactos ambientais. Objetivou-se, neste trabalho, desenvolver, comparar e selecionar modelos de alerta baseados em técnicas de mineração de dados para a predição da ferrugem do cafeeiro, em anos de alta e baixa carga pendente de frutos. Foram utilizados dados obtidos em lavouras de café em produção, ao longo de 13 anos (1998-2011). Vinte e três atributos foram considerados como variáveis independentes (preditoras) e, como variável dependente, a taxa de progresso mensal da ferrugem do cafeeiro, obtida a partir de dados de incidência da doença. Os atributos mais importantes do conjunto de dados foram filtrados por métodos de seleção de atributos e a modelagem foi realizada por meio de quatro técnicas de mineração de dados: máquinas de vetores suporte, redes neurais artificiais, árvores de decisão e florestas aleatórias. Para anos de alta e baixa carga pendente de frutos, as melhores taxas de acerto foram 85,3% e 88,9%, respectivamente. Outras medidas de desempenho como sensitividade e especificidade também apresentaram valores altos e equilibrados. Os modelos desenvolvidos neste trabalho fornecem melhores subsídios para o monitoramento da doença, em anos de alta carga pendente de frutos do que outros modelos existentes, além de prover uma possibilidade de monitoramento, em anos de baixa carga pendente de frutos.

Termos para indexação: Alerta de doenças, florestas aleatórias, máquinas de vetores suporte, redes neurais artificiais, árvores de decisão.

WARNING MODELS FOR COFFEE RUST (*Hemileia vastatrix* Berkeley & Broome) BY DATA MINING TECHNIQUES

ABSTRACT: *Coffee rust can cause severe yield losses if control measures are not taken. Warning models are capable of generating useful information regarding to the application of fungicides, decreasing economic losses and environmental impacts. The aim of this study was to develop, compare and select warning models developed by data mining techniques in order to predict the coffee rust in years of high and low fruit load. For 13 years (1998-2011), data was collected from an automatic weather station. The independent variables were 23, obtained from the weather station, and the dependent variable was the monthly progress rate for the coffee rust, which was generated by the values of disease incidence. The most important features were refined by feature selection techniques, and the modeling was performed using four data mining techniques: support vector machines, artificial neural networks, decision trees and random forests. For high fruit load years the best accuracy was 85.3% and for low fruit load years it was 88.9%. Other performance measures like recall and specificity also had high and balanced values. The warning models developed on this study provide further information for monitoring the disease on high fruit load years than other models previously developed, and also provide a possibility for the monitoring on years of low fruit load.*

Index terms: *Predictive models, random forest, support vector machines, artificial neural networks, decision trees.*

1 INTRODUÇÃO

O café possui grande importância econômica para o Brasil, uma vez que o País é responsável por cerca de 37% da produção mundial e suas exportações representam um lucro de US$ 5,7 bilhões/ano (United States Department of Agriculture - USDA, 2013). A ferrugem do cafeeiro, causada pelo fungo *Hemileia vastatrix* Berk. & Br., tem alto potencial de dano e pode causar perdas de até 50% na produção, caso medidas de controle não sejam adotadas (ZAMBOLIM et al., 2002). Pela bienalidade do cafeeiro, a doença é mais agressiva em anos de alta carga pendente de frutos do que em anos com baixa carga pendente de frutos.

Estas observações evidenciam a importância de pesquisas capazes de gerar informações que possam ser utilizadas para fornecer suporte ao controle da doença, o que pode ser realizado por modelos de predição ou alerta. Um modelo dessa natureza procura antecipar quando uma doença pode atingir um nível crítico (HARDWICK, 2006).

[1]Universidade Estadual de Campinas/UNICAMP - Faculdade de Engenharia Agrícola (FEAGRI) - Cx. P. 6011 - Campinas SP 13083-875 - cesare.neto@gmail.com
[2]Universidade Estadual de Campinas/UNICAMP - Faculdade de Engenharia Agrícola (FEAGRI) - Cx. P. 6011 - Campinas - SP 13083-875 - lique@feagri.unicamp.br
[3]Embrapa Informática Agropecuária - Cx. P. 6041 - Campinas - SP - 13083-886 - carlos.meira@embrapa.br

Uma predição correta pode evitar aplicações desnecessárias de defensivos agrícolas, reduzindo gastos por parte do produtor na compra e na mão de obra para sua aplicação, além de diminuir impactos ambientais.

A partir da divulgação no meio científico da mineração de dados, por Fayyad, Piatetsky-Shapiro e Smyth (1996), tem-se notado um aumento no número de modelos de alerta desenvolvidos por meio dessa metodologia. Nesse sentido, Batchelor, Yang e Tschanz (1997) avaliaram a severidade da ferrugem asiática da soja, por meio de redes neurais artificiais; Paul e Munkvold (2004, 2005) utilizaram, respectivamente, árvores de decisão e redes neurais artificiais para predizer a severidade da cercosporiose do milho, em estágios avançados de cultivo; Molineiros et al. (2005) utilizaram árvores de decisão para modelar epidemias de giberela do trigo; Souza et al. (2013) utilizaram árvores de decisão para avaliar as condições de ocorrência da cercosporiose, em lavouras convencionais e orgânicas de café.

A epidemia da ferrugem do cafeeiro foi estudada por Pinto et al. (2002), com o uso de redes neurais artificiais, e por Meira, Rodrigues e Moraes (2008), por meio de árvores de decisão. Posteriormente, para determinar a taxa de progresso mensal da ferrugem do cafeeiro, para lavouras com alta carga pendente de frutos, Meira, Rodrigues e Moraes (2009) desenvolveram modelos de alerta em árvores de decisão e Cintra et al. (2011), modelos de alerta em árvores de decisão fuzzy. Outras técnicas também foram utilizadas para a modelagem da ferrugem do cafeeiro, como redes neurais artificiais fuzzy, desenvolvidas por Alves et al. (2010); máquinas de vetores suporte, induzidas por Luaces et al. (2011); florestas aleatórias, que também foram mencionadas no trabalho de Cintra et al. (2011); e redes bayesianas, geradas por Pérez-Ariza, Nicholson e Flores (2012).

A escolha pelo uso de uma ou outra técnica de modelagem requer a análise do problema em questão. Árvores de decisão possuem representação simbólica e interpretável, facilitando compreender quais as variáveis e suas interações que conduzem ao fenômeno estudado (HAN; KAMBER; PEI, 2011). A principal vantagem das redes neurais artificiais é resolver problemas que requerem solução complexa (HAYKIN, 2009), enquanto que as máquinas de vetores suporte podem gerar modelos com melhor taxa de acerto do que as redes neurais artificiais (LEE; TO, 2010).

As florestas aleatórias evitam sobreajuste (overfitting) e são pouco sensíveis a ruídos (BREIMAN, 2001).

Objetivou-se, neste trabalho, desenvolver, comparar e selecionar modelos baseados em técnicas distintas de mineração de dados, para a predição da taxa de progresso mensal da ferrugem do cafeeiro, em anos de alta e baixa carga pendente de frutos, buscando melhorar o desempenho em relação a modelos já existentes.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Os dados utilizados neste trabalho foram coletados, referindo-se ao acompanhamento mensal da incidência da ferrugem do cafeeiro, em uma fazenda experimental da Fundação PROCAFÉ. Essa fazenda está localizada na cidade de Varginha/MG, latitude sul de 21º 34' 00'', longitude oeste de 45º 24' 22'' e altitude de 940 m. Foram coletados registros, entre outubro de 1998 até outubro de 2011, totalizando 13 safras agrícolas. As lavouras selecionadas tinham idade entre 6 e 20 anos, sendo quatro em espaçamento largo (3,5 m entrelinhas e 0,7 m entre plantas – densidade média de 4.000 plantas/ha) e quatro adensadas (2,5 m entrelinhas e 0,5 m entre plantas – densidade média de 8.000 plantas/ha). Para cada espaçamento, havia duas lavouras com alta carga pendente de frutos (acima de 30 sacas beneficiadas/ha) e duas com baixa carga (abaixo de 10 sacas beneficiadas/ha). Em cada par de lavouras, uma foi da cultivar Catuaí (Vermelho e Amarelo) e a outra da cultivar Mundo Novo. Não houve controle da doença durante o ano agrícola. O período de colheita foi entre junho e agosto. O processo de amostragem foi realizado ao final de cada mês, como recomendado por Chalfoun (1997).

Além dos dados referentes à doença, foram obtidos dados meteorológicos, como temperatura (média, máxima e mínima), precipitação pluviométrica, umidade relativa do ar e velocidade do vento. Esses dados foram registrados a cada 30 minutos por uma estação meteorológica automática, presente na fazenda experimental.

A taxa de progresso mensal da ferrugem do cafeeiro (TP) foi definida como a variável dependente, também chamada de atributo meta. Essa taxa consiste no aumento, diminuição ou manutenção do nível de incidência da doença entre dois meses subsequentes, calculada pela diferença entre a incidência em um mês e a incidência no mês anterior. Seus valores foram mapeados em um atributo de origem binária, sendo que a classe '1' indica TP maior ou igual a 5 p.p. (pontos percentuais), e a classe '0' indica TP inferior a 5 p.p. O valor de 5 p.p. foi baseado em Meira, Rodrigues e Moraes (2009).

As variáveis independentes, ou atributos preditivos, foram criadas a partir do nível horário, forma em que os dados meteorológicos foram coletados, e passaram por transformações, chegando a um nível que permitiu a integração desses atributos com o atributo meta. A construção dos atributos preditivos iniciou-se tratando cada dia como um dia eventual de infecção. Considerando o período de incubação do fungo, estimado pela equação de Moraes et al. (1976), cada dia foi associado ao mês de avaliação da incidência da ferrugem para o qual, possivelmente, contribuiu com o aparecimento de novos sintomas da doença (MEIRA; RODRIGUES; MORAES, 2008). O conjunto de dias associado a uma taxa de infecção foi denominado de período de infecção (PINF).

No nível diário, além de médias e somatórias das variáveis meteorológicas, foram calculados valores estimados de molhamento foliar prolongado (mínimo de 6 horas), uma vez que a germinação dos uredósporos de *H. vastatrix* só ocorre se a folha estiver molhada. O número de horas contínuas com alta umidade relativa do ar (maior ou igual a 90%) foi utilizado como medida indireta de molhamento foliar. O molhamento ocorre geralmente de um dia para o outro, então foi considerado o intervalo entre 12h de um dia até 12h do dia seguinte (dia epidemiológico). Os períodos de molhamento foliar foram analisados na extensão total e na fração noturna (das 20h às 8h). A temperatura média durante o período de molhamento também foi considerada, uma vez que é o fator principal que determina o percentual de germinação dos esporos e de penetração enquanto a superfície da folha está molhada (KUSHALAPPA; AKUTSU; LUDWIG, 1983). Os dias com precipitação maior ou igual a 1 mm foram considerados chuvosos, seguindo o mesmo critério usado pelos autores.

Para completar o conjunto de dados foram criados atributos especiais. Tais atributos reuniram condições diárias de molhamento foliar, luminosidade e temperatura, durante o período de molhamento foliar, com relação ao processo de infecção. A partir das correlações da Tabela 1, cada dia foi classificado como desfavorável, favorável ou muito favorável para a infecção por *H. vastatrix*, associado a um índice numérico. Um atributo especial considerou o acúmulo dos índices numéricos, ao longo dos dias do PINF.

O conjunto de dados utilizado na modelagem totalizou 612 registros, sendo que alguns registros foram eliminados devido a falhas na estação meteorológica. Esse conjunto foi dividido em dois, um para anos de alta carga pendente de frutos e outro para anos de baixa carga pendente de frutos. O conjunto para baixa carga pendente de frutos apresentava cerca de 20% dos registros relativos à classe 1 (TP superior a 5 p.p.), mostrando a necessidade de utilização de um método de balanceamento de classes. Foi utilizado o método chamado "Smote+Tomek" (BATISTA; PRATI; MONARD, 2004), o qual deixou cada classe com cerca de 50% dos registros.

Modelos também foram induzidos com o conjunto de dados não balanceado.

O conjunto de alta carga pendente já estava originalmente balanceado.

TABELA 1 - Classificação de um dia como favorável ou não para a infecção por *Hemileia vastatrix,* a partir de condições de infecção e seus respectivos índices numéricos.

Temperatura (T) [ºC] Molhamento foliar* (MF) e luminosidade	Desfavorável (T < 15 ou T > 29)	Pouco favorável (15 ≤ T < 18 ou 27 < T ≤ 29)	Favorável (18 ≤ T < 21 ou 24 < T ≤ 27)	Muito favorável (21 ≤ T ≤ 24)
Desfavorável (MF noturno** < 4 ou MF < 6)	Desfavorável 0	Desfavorável 0	Desfavorável 0	Desfavorável 0
Pouco favorável (MF noturno ≥ 4 e MF ≥ 6)	Desfavorável 0	Desfavorável 0***	Favorável 1***	Favorável 2***
Favorável (MF noturno ≥ 8 e MF ≥ 12)	Desfavorável 0	Favorável 1	Favorável 2	Muito favorável 3
Muito favorável (MF noturno ≥ 8 e MF ≥ 18)	Desfavorável 0	Favorável 2	Muito favorável 3	Muito favorável 4

* Molhamento foliar foi medido pelo número de horas contínuas com umidade relativa maior ou igual a 90%; ** MF noturno foi considerado das 20:00 h às 8:00 h e MF total foi considerado no dia epidemiológico, entre 12:00 h de um dia e 12:00 h do dia seguinte; *** Caso MF noturno ≥ 8 ou MF ≥ 12, incrementa-se 0,5 no índice.

Antes da modelagem, foram ainda realizadas seleções de atributos de forma subjetiva e objetiva. A maneira subjetiva consistiu na seleção de atributos de acordo com a complexidade e dificuldade de obtenção dos mesmos. O primeiro conjunto (C1) reuniu todos os atributos. O segundo conjunto (C2) conteve atributos meteorológicos mais simples e de ampla disponibilidade, como temperatura, precipitação e umidade relativa, além dos atributos relativos ao molhamento foliar. O terceiro conjunto (C3) teve os mesmos atributos de C2, com exceção dos atributos relacionados ao molhamento foliar. A outra forma de seleção foi por meio de métodos objetivos, quando um algoritmo de seleção é utilizado para filtrar o conjunto de dados. Cinco métodos amplamente conhecidos na área de mineração de dados foram utilizados: CFS, InfoGain, GainRatio, Chi-quadrado (Chi2) e Wrapper (WITTEN; FRANK; HALL, 2011). Os métodos de seleção de atributos foram aplicados ao conjunto C1. As informações sobre os atributos e conjuntos de dados estão na Tabela 2.

O software utilizado na indução dos modelos foi o WEKA, versão 3.7.9 (HALL et al., 2009). Foram utilizadas as seguintes técnicas de modelagem: árvores de decisão, redes neurais artificiais, florestas aleatórias e máquinas de vetores suporte.

A indução por máquinas de vetores suporte foi feita com a utilização da biblioteca LIBSVM (CHANG; LIN, 2011).

A avaliação dos modelos ocorreu por meio de suas medidas de desempenho, derivadas de uma matriz de acertos e erros, chamada matriz de confusão. Medidas como taxa de acerto, taxa de erro, sensitividade e especificidade foram utilizadas para avaliação dos modelos. A sensitividade é a porcentagem de exemplos positivos que foram classificados corretamente, já a especificidade é a porcentagem de exemplos negativos que foram classificados corretamente. As medidas de desempenho foram geradas por meio de uma validação cruzada em 10 partes (WITTEN; FRANK; HALL, 2011).

Gráficos do tipo ROC (do inglês Receiver Operating Characteristic) também foram utilizados para avaliar e selecionar os modelos. Um modelo de classificação é representado por um ponto no espaço ROC (FAWCETT, 2006). Ao se analisar um grupo de modelos no espaço ROC, pode-se notar a presença de um "envelope externo convexo" (PRATI; BATISTA; MONARD, 2008). Os modelos que se encontram nos "vértices" desse envelope são modelos considerados ótimos, já os que não fazem parte do envelope têm desempenho inferior e podem ser descartados (FAWCETT, 2006).

TABELA 2 - Lista e significado de cada um dos atributos presentes nos respectivos conjuntos de dados utilizados na indução dos modelos de alerta.

Natureza	Nome	Medida	Significado	Conjunto
Espacial	LAVOURA	-	Lavoura ADENSADA ou LARGA.	C1,C2,C3
Meteorológico	TMAX_PINF	ºC	Média das temperaturas máximas diárias no período de infecção (PINF).	C1,C2,C3
Meteorológico	TMIN_PINF	ºC	Média das temperaturas mínimas diárias no PINF.	C1,C2,C3
Meteorológico	TMED_PINF	ºC	Média das temperaturas médias diárias no PINF.	C1,C2,C3
Meteorológico	UR_PINF	%	Umidade relativa do ar média diária no PINF.	C1,C2,C3
Meteorológico	MED_PRECIP_PINF	mm	Média das precipitações pluviais diárias no PINF.	C1,C2,C3
Meteorológico	PRECIP_PINF	mm	Precipitação pluvial acumulada no PINF.	C1,C2,C3
Meteorológico	DCHUV_PINF	dias	Número de dias chuvosos (precipitação ≥ 1 mm) no PINF.	C1,C2,C3
Meteorológico	TMAX_PI_PINF	ºC	Média das temperaturas máximas diárias no período de incubação (PI) para os dias do PINF.	C1,C2,C3
Meteorológico	TMIN_PI_PINF	ºC	Média das temperaturas mínimas diárias no PI para os dias do PINF.	C1,C2,C3

Continua ...

TABELA 2 Cont.

Meteorológico	TMED_PI_PINF	ºC	Média das temperaturas médias diárias no PI para os dias do PINF.	C1,C2,C3
Meteorológico	NHUR90_PINF	h	Média diária do número de horas com UR ≥ 90% no PINF.	C1,C2
Meteorológico	THUR90_PINF	ºC	Temperatura média diária durante as horas com UR ≥ 90% no PINF.	C1,C2
Meteorológico	NHNUR90_PINF	h	Média diária do número de horas noturnas com UR ≥ 90% no PINF.	C1,C2
Meteorológico	SMT_NHUR90_PINF	h	Somatório de NHUR90 no PINF.	C1
Meteorológico	SMT_NHNUR90_PINF	h	Somatório de NHNUR90 no PINF.	C1
Meteorológico	VVENTO_PINF	km/h	Velocidade média diária do vento no PINF.	C1
Meteorológico	SMT_VVENTO_PINF	km/h	Média do somatório da velocidade do vento de cada dia do PINF.	C1
Meteorológico	MED_INDPLUVMAX_PINF	mm/h	Média do índice pluviométrico* médio no PINF.	C1
Especial	ACDINF_PINF	-	Acumulado da condição diária de infecção no PINF, isto é, o somatório dos índices de condição diária de infecção no PINF.	C1
Especial	DMFI_PINF	dias	Número de dias muito favoráveis à infecção no PINF.	C1
Especial	DFMFI_PINF	dias	Número de dias favoráveis e muito favoráveis à infecção no PINF.	C1
Especial	DDI_PINF	dias	Número de dias desfavoráveis à infecção no PINF.	C1

* O índice pluviométrico é uma medida de intensidade das chuvas, calculada por meio do intervalo de tempo entre aumentos na precipitação.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os modelos apresentados nesta seção são responsáveis por emitirem alertas sobre o aumento da incidência da ferrugem do cafeeiro, sendo que um alerta é emitido quando houver um aumento igual ou superior a 5 p.p. (pontos percentuais), na taxa de progresso mensal da ferrugem do cafeeiro (TP). Esse alerta é a informação que pode dar suporte à tomada de decisão, por parte do produtor, quanto à adoção de medidas de controle e o melhor momento para implementá-las.

A Figura 1 apresenta o gráfico ROC (Receiver Operating Characteristic) para modelos de alerta em anos de alta carga pendente de frutos. Os pontos numerados no gráfico representam o desempenho desses modelos. Dois modelos (22 e 28) estão presentes no envelope convexo e podem ser considerados modelos ótimos. As suas medidas de desempenho, as técnicas de modelagem e os métodos de seleção de atributos correspondentes estão apresentados na Tabela 3.

O que se busca em um modelo, em termos de medidas de desempenho, é uma alta taxa de acerto, aliada a altos e equilibrados valores de sensitividade e especificidade. Para a ferrugem do cafeeiro, uma predição correta de aumento da TP pode ser importante para indicar ou confirmar a necessidade de uma aplicação de fungicida, já um alarme negativo pode auxiliar na decisão de adiamento dessa aplicação. No caso de um esquema de controle com duas aplicações de fungicida, diminui-se o risco da ferrugem tardia quando a segunda aplicação puder ser adiada.

Dentre os modelos selecionados no envelope convexo para alta carga pendente de frutos, o que apresentou medidas de desempenho melhores, além de mais equilibradas, foi o modelo 28. O modelo 22 apresentou valores superiores de sensitividade em relação ao 28, entretanto, esse parâmetro não pode ser utilizado isoladamente para avaliar o desempenho de um modelo. O modelo 28, a princípio, desponta como o mais indicado para realizar a predição de aumento da TP.

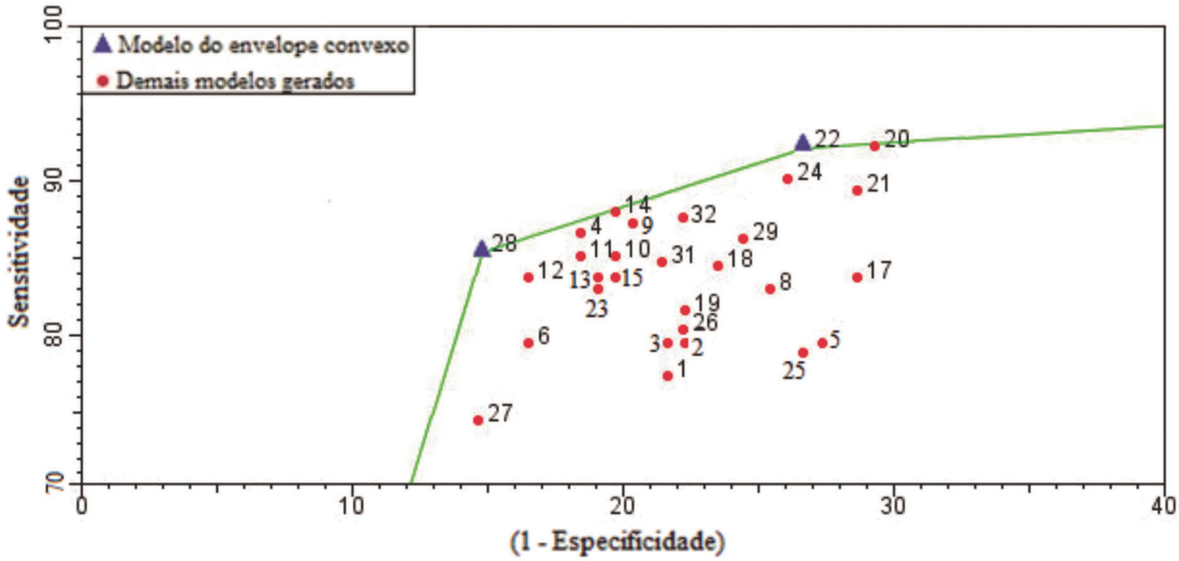

FIGURA 1 - Gráfico ROC com os pontos relativos ao desempenho dos 32 modelos desenvolvidos – numerados de acordo com a técnica de modelagem e método de seleção de atributos, destacando-se os selecionados no envelope convexo para anos de alta carga pendente de frutos.

TABELA 3 - Características construtivas e medidas de desempenho para modelos de alerta gerados para anos de alta e baixa carga pendente de frutos.

Modelos para alta carga pendente de frutos (Figura 1)					
Modelo	Técnica de modelagem	Seleção de atributos	Taxa de acerto (%)	Sensitividade (%)	Especificidade (%)
22	RNA	Chi^2	82,2	92,2	73,3
28	SVM	Wrapper	85,3	85,4	85,2
Modelos para baixa carga pendente de frutos (Figura 2).					
Modelo	Técnica de modelagem	Seleção de atributos	Taxa de acerto (%)	Sensitividade (%)	Especificidade (%)
25	RF	C1	88,9	86,3	89,9

RF = Florestas aleatórias (RF, do inglês Random Forests).
RNA = Redes neurais artificiais.
SVM = Máquinas de vetores suporte (SVM, do inglês Support Vector Machines).

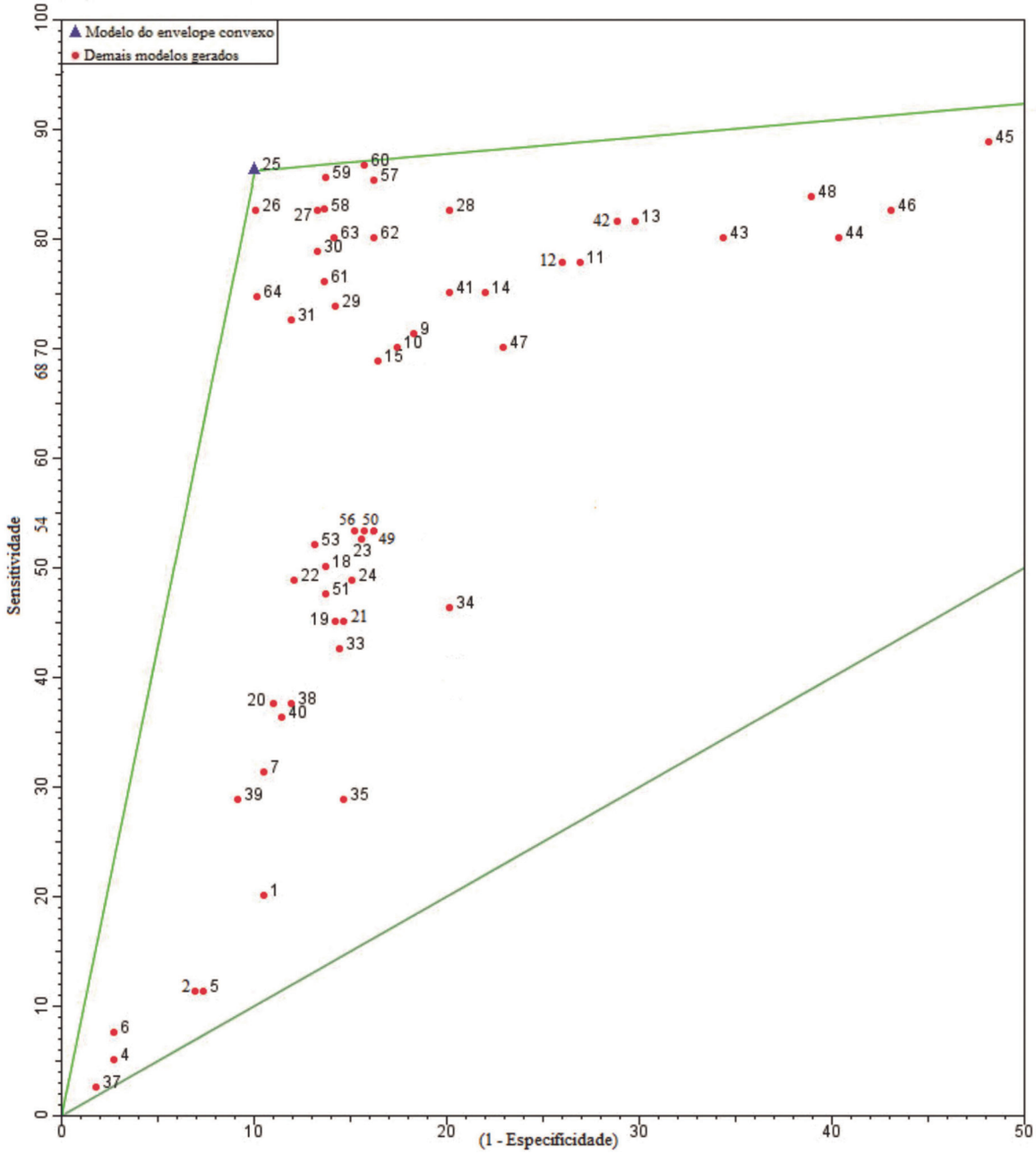

FIGURA 2 - Gráfico ROC com os pontos relativos ao desempenho dos 64 modelos desenvolvidos – numerados de acordo com a técnica de modelagem, método de seleção de atributos e balanceamento ou não de classes, destacando-se os selecionados no envelope convexo para anos de baixa carga pendente de frutos.

A Figura 2 apresenta o gráfico ROC, para modelos de alerta em anos de baixa carga pendente de frutos. Apenas um modelo (25) está presente no envelope convexo, sendo o modelo que pode ser considerado ótimo. As suas medidas de desempenho e informações construtivas estão apresentadas na Tabela 3.

Pela disposição da Figura 2, percebe-se uma grande discrepância de desempenho entre os modelos gerados por arquivos balanceados e não balanceados.Os modelos localizados abaixo da faixa de 54% de sensitividade foram gerados por conjuntos de dados não balanceados, o que indicou que eles classificaram, no máximo, pouco mais da metade dos exemplos positivos corretamente. Os demais modelos ficaram acima da faixa de 68% de sensitividade, desempenho de, no mínimo, 14 p.p. melhor, mostrando a superioridade dos modelos gerados por conjuntos balanceados.

Considerando os modelos gerados por arquivos balanceados, 14 deles ficaram mais próximos ao envelope convexo, ou fizeram parte dele. Esses modelos foram gerados pelas técnicas de máquinas de vetores suporte e florestas aleatórias, evidenciando o melhor desempenho médio dessas técnicas em relação às demais.

Para modelos de alerta com medidas de avaliação próximas, o conjunto de dados de treinamento pode ser usado na decisão de qual é o mais indicado para predizer a TP. Modelos com uma maior quantidade de atributos no seu conjunto de dados, além de atributos difíceis de serem calculados, têm sua aplicabilidade reduzida, justamente pela dificuldade de obtenção dos dados para gerá-los. Em contrapartida, modelos com poucos atributos podem ser considerados impróprios, pelo fato desses não apresentarem atributos relevantes às mais diversas condições de ocorrência e desenvolvimento da ferrugem do cafeeiro. Os atributos utilizados em cada um dos modelos estão na Tabela 4.

Ao menos um atributo especial foi utilizado por cada modelo da Tabela 4. A escolha deve estar relacionada à representatividade desses atributos com relação à doença, por reunirem diversas condições propícias ao seu desenvolvimento (luminosidade, temperatura e duração do período de molhamento foliar). Apesar de representativos, esses atributos são difíceis de serem calculados, o que pode dificultar a aplicabilidade dos modelos nos casos em que não haja disponibilidade suficiente de dados coletados para gerá-los.

Os modelos 22 e 25 (Tabela 4) utilizaram os atributos de temperatura mínima (TMIN_PINF) e média (TMED_PINF). O primeiro desses atributos apresentou valor médio de 15 ºC, mas cerca de 35% de seus registros foram inferiores a 14 ºC, valor considerado limitante para a infecção de *H. vastatrix* (KUSHALAPPA; AKUTSU; LUDWIG, 1983). Já o segundo atributo conteve cerca de 20% dos seus registros entre 22 e 24 ºC, faixa considerada ótima para o desenvolvimento do fungo (ZAMBOLIM et al., 2002). O atributo de temperatura máxima (TMAX_PINF) foi utilizado apenas pelo modelo 25 e seu valor variou de 22 a 30 ºC, não superando a faixa considerada limitante para o desenvolvimento de *H. vastatrix* (KUSHALAPPA; AKUTSU; LUDWIG, 1983). Ao contrário da temperatura mínima, o atributo de temperatura máxima desse local não foi responsável por condições que inibissem o desenvolvimento do fungo na lavoura. Esses três atributos reunem condições importantes para o desenvolvimento da ferrugem do cafeeiro e são simples de serem calculados, sendo que não reduzem a aplicabilidade de um modelo.

Atributos relacionados à precipitação (MED_PRECIP_PINF, PRECIP_PINF, DCHUV_PINF) estiveram presentes em dois modelos (25 e 28) da Tabela 4. Eles forneceram subsídios para explicar a distribuição e intensidade das chuvas. Muitos dias chuvosos, com média de chuva diária e total mensal baixos, indicam chuvas prolongadas e com baixa intensidade; em contrapartida, poucos dias chuvosos, aliados a uma média de chuva diária e total mensal altos, representam chuvas curtas e de alta intensidade. Chuvas leves e constantes aumentam a umidade relativa, deixando água livre na superfície das folhas por mais tempo e levando a períodos de molhamento foliar prolongados, favorecendo a ocorrência das condições mínimas de molhamento foliar (6 horas contínuas) para o desenvolvimento do fungo (KUSHALAPPA; AKUTSU; LUDWIG, 1983). Além disso, chuvas leves e seus respingos são apontados como um dos principais fatores de disseminação do fungo dentro da própria planta (ZAMBOLIM et al., 2002). Já chuvas intensas podem conduzir a maior parte dos esporos para o chão (KUSHALAPPA; ESKES, 1989), além de não promoverem períodos longos de molhamento foliar. Todos esses atributos contêm condições importantes para o desenvolvimento da ferrugem e são de baixa complexidade, ou seja, não reduzem a aplicabilidade de um modelo.

TABELA 4 - Atributos do conjunto de dados para os modelos de alerta selecionados no envelope convexo, para anos de alta e baixa carga pendente de frutos.

	Modelos para alta carga		Modelos para baixa carga
Atributos	22	28	25
LAVOURA			*
TMAX_PINF			*
TMIN_PINF	*		*
TMED_PINF	*		*
UR_PINF			*
MED_PRECIP_PINF		*	*
PRECIP_PINF			*
DCHUV_PINF			*
TMAX_PI_PINF			*
TMIN_PI_PINF			*
TMED_PI_PINF			*
NHUR90_PINF			*
THUR90_PINF		*	*
NHNUR90_PINF			*
SMT_NHUR90_PINF			*
SMT_NHNUR90_PINF			*
VVENTO_PINF			*
SMT_VVENTO_PINF		*	*
MED_INDPLUVMAX_PINF			*
ACDINF_PINF	*		*
DMFI_PINF	*		*
DFMFI_PINF	*	*	*
DDI_PINF	*		*

* Atributo presente no modelo.

A ocorrência de períodos de molhamento foliar pode ser ainda mais esclarecida pelo atributo de umidade relativa (UR_PINF), o qual só esteve presente no modelo 25. Quanto maior a umidade relativa média, maior a tendência para a ocorrência de períodos de molhamento foliar. Esse é um atributo de baixa complexidade e serve como base para o cálculo dos atributos de medida indireta de molhamento foliar.

O atributo de temperatura no molhamento foliar (THUR90_PINF) esteve presente em dois modelos (25 e 28) da Tabela 4. A presença desse atributo, juntamente com as informações sobre o molhamento foliar, podem representar a condição ótima de desenvolvimento do fungo (8 horas de molhamento foliar e temperatura entre 22 a 24 ^{o}C).

Os atributos relacionados à medição indireta de molhamento foliar (NHNUR90_PINF e NHUR90_PINF) foram utilizados apenas no modelo 25. Esses atributos têm complexidade mediana, menor que a dos atributos especiais, mas maior que a de atributos de temperatura e pluviosidade.

Após a avaliação dos atributos do conjunto de dados e das medidas de desempenho, foi possível selecionar os modelos recomendados para realizar as predições da taxa de progresso da ferrugem do cafeeiro.

Para anos de alta carga pendente de frutos, notou-se que o modelo 28 foi o que obteve a melhor taxa de acerto, além de valores de sensitividade e especificidade elevados e equilibrados.

Assim, o modelo 28 classifica corretamente uma maior porcentagem de casos do que o modelo 22, além de ter altas porcentagens de acerto para as classes positiva e negativa. Com relação ao conjunto de dados, os dois modelos contaram com atributos especiais, os quais diminuem sua aplicabilidade. Assim, não houve simplicidade maior de um modelo sobre o outro, tornando o modelo 28 o recomendado para realizar a predição da TP, em anos de alta carga pendente de frutos.

Para os anos de baixa carga pendente de frutos, apenas um modelo foi selecionado no envelope convexo, o modelo 25. Em termos de medidas de desempenho, esse modelo é o mais eficiente para realizar predições da TP da ferrugem. Entretanto, ao analisar os atributos utilizados para gerá-lo, notou-se que ele utilizou o conjunto C1, com todos os atributos especiais, o que reduz a sua aplicabilidade. No caso de uma indisponibilidade de dados necessários para utilizar esse modelo, uma alternativa viável seria o uso do modelo 26. Esse modelo também foi gerado por florestas aleatórias e obteve valores da taxa de acerto (87,9%), da sensitividade (82,5%) e da especificidade (89,9%) muito próximos ou iguais aos do modelo 25. Seu conjunto de dados foi o C2, o qual não conteve atributos especiais, deixando-o relativamente mais simples do que o modelo 25.

A aplicabilidade destes modelos ainda está relacionada com sua abrangência. O seu uso deve ser limitado à região onde os dados foram coletados ou em regiões com condições climáticas similares. Regiões com diferentes climas podem apresentar condições meteorológicas que não foram representadas nos dados analisados e que podem condicionar o desenvolvimento da ferrugem de maneira diferente da capturada pelos modelos (MEIRA; RODRIGUES; MORAES, 2008).

Considerando-se apenas o modelo escolhido para anos de alta carga pendente de frutos (28), suas medidas de desempenho como taxa de acerto (85,3%), sensitividade (85,4%) e especificidade (85,2%) foram superiores às obtidas pelas árvores de decisão geradas por Meira, Rodrigues e Moraes (2009), onde esses valores foram 81,3%, 79,9% e 82,6%, respectivamente. A taxa de acerto do modelo 28 também foi superior em relação às árvores de decisão *fuzzy* desenvolvidas por Cintra et al. (2011), onde a melhor obteve como resultado o valor de 84,7%.

4 CONCLUSÕES

Os melhores modelos foram gerados pelas técnicas de máquinas de vetores suporte e florestas aleatórias, sendo que o procedimento de balanceamento de classes ajudou na melhora da taxa de acerto. Os modelos de predição da taxa de progresso mensal da ferrugem do cafeeiro desenvolvidos neste trabalho fornecem melhores subsídios para o monitoramento da doença, em anos de alta carga pendente de frutos do que outros modelos existentes, além de prover uma possibilidade de monitoramento, em anos de baixa carga pendente de frutos.

5 AGRADECIMENTOS

Ao Consórcio Pesquisa Café e à CAPES pelo apoio financeiro. À fundação PROCAFÉ pelo fornecimento dos dados.

6 REFERÊNCIAS

ALVES, M. C. et al. A Soft computing approach for epidemiological studies of coffee and soybean rusts. International Journal of Digital Content Technology and its Applications, Sandy Bay, v. 4, n. 1, p. 149-154, Feb. 2010.

BATCHELOR, W. D.; YANG, X. B.; TSCHANZ, A. T. Development of a neural network for soybean rust epidemics. Transactions of the American Society of Agricultural Engineers, Saint Joseph, v. 40, n. 1, p. 247-252, 1997.

BATISTA, G. E. A. P. A.; PRATI, R. C.; MONARD, M. C. A study of the behavior of several methods for balancing machine learning training data. SIGKDD Explorations, New York, v. 6, n. 1, p. 20-29, June 2004.

BREIMAN, L. Random forests. Machine Learning Journal, Hingham, v. 45, p. 5-32, Jan. 2001.

CHALFOUN, S. M. Doenças do cafeeiro: importância, identificação e métodos de controle. Lavras: UFLA/FAEPE, 1997.

CHANG, C. C.; LIN, C. J. LIBSVM: a library for support vector machines. ACM Transactions on Intelligent Systems and Technology, New York, v. 2, n. 3, p. 1-27, Apr. 2011.

CINTRA, M. E. et al. The use of fuzzy decision trees for coffee rust warning in Brazilian crops. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON INTELLIGENT SYSTEMS DESIGN AND APPLICATIONS, 11., 2011, Córdoba. **Proceedings...** Córdoba: IEEE, 2011. p. 1347-1352.

FAWCETT, T. An introduction to ROC analysis. **Pattern Recognition Letters**, New York, v. 27, n. 8, p. 861-874, June 2006.

FAYYAD, U.; PIATETSKY-SHAPIRO, G.; SMYTH, P. From data mining to knowledge discovery in databases. **AI Magazine**, Palo Alto, v. 17, n. 3, p. 37-54, July 1996.

HALL, M. A. et al. The WEKA data mining software: an update. **SIGKDD Explorations**, New York, v. 11, n. 1, p. 10-18, June 2009.

HAN, J.; KAMBER, M.; PEI, J. **Data mining:** concepts and techniques. 3rd ed. San Francisco: M. Kaufmann, 2011. 703 p.

HARDWICK, N. V. Disease forecasting. In: COOKE, B. M.; JONES, D. G.; KAYE, B. (Ed.). **The epidemiology of plant diseases**. 2nd ed. Wageningen: Springer, 2006. p. 239-267.

HAYKIN, S. **Neural networks and learning machines**. 3rd ed. Englewood Cliffs: Prentice-Hall, 2009. 936 p.

KUSHALAPPA, A. C.; AKUTSU, M.; LUDWIG, A. Application of survival ratio for monocyclic process of *Hemileia vastatrix* in predicting coffee rust infection rates. **Phytopathology**, Saint Paul, v. 73, n. 1, p. 96-103, 1983.

KUSHALAPPA, A. C.; ESKES, A. B. Advances in coffee rust research. **Annual Review of Phytopathology**, Palo Alto, v. 27, p. 503-531, Sept. 1989.

LEE, M. C.; TO, C. Comparison of support vector machine and back propagation neural network in evaluating the enterprise financial distress. **International Journal of Artificial Intelligence & Applications**, Niskayuna, v. 1, p. 31-43, 2010.

LUACES, O. et al. Using nondeterministic learners to alert on coffee rust disease. **Expert Systems With Applications**, New York, v. 38, n. 11, p. 14276-14283, Jan. 2011.

MEIRA, C. A. A.; RODRIGUES, L. H. A.; MORAES, S. A. Análise da epidemia da ferrugem do cafeeiro com árvore de decisão. **Tropical Plant Pathology**, Brasília, v. 33, n. 2, p. 114-124, mar./abr. 2008.

MEIRA, C. A. A.; RODRIGUES, L. H. A.; MORAES, S. A. Modelos de alerta para o controle da ferrugem-do-cafeeiro em lavouras com alta carga pendente. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 44, n. 3, p. 233-242, mar. 2009.

MOLINEROS, J. E. et al. Modeling epidemics of fusarium head blight: trials and tribulations. **Phytopathology**, Saint Paul, v. 95, n. 6, p. S71, 2005.

MORAES, S. A. et al. Período de incubação de *Hemileia vastatrix* Berk. e Br. em três regiões do Estado de SP. **Summa Phytopathologica**, Piracicaba, v. 2, n. 1, p. 32-38, 1976.

PAUL, P. A.; MUNKVOLD, G. P. A model-based approach to preplanting risk assessment for gray leaf spot of maize. **Phytopathology**, Saint Paul, v. 94, n. 12, p. 1350-1357, 2004.

PAUL, P. A.; MUNKVOLD, G. P. Regression and artificial neural network modeling for the prediction of gray leaf spot of maize. **Phytopathology**, Saint Paul, v. 95, n. 4, p. 388-396, 2005.

PÉREZ-ARIZA, C. B.; NICHOLSON, A. E.; FLORES, M. J. Prediction of coffee rust disease using bayesian networks. In: EUROPEAN WORKSHOP ON PROBABILISTIC GRAPHICAL MODELS, 6., 2012, Granada. **Proceedings...** Granada: PGM, 2012. p. 259-266.

PINTO, A. C. S. et al. Descrição da epidemia da ferrugem do cafeeiro com redes neuronais. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 27, n. 5, p. 517-524, set./out. 2002.

PRATI, R. C.; BATISTA, G. E. A. P. A.; MONARD, M. C. Curvas ROC para avaliação de classificadores. **Revista IEEE América Latina**, São Paulo, v. 6, n. 2, p. 215-222, jun. 2008.

SOUZA, V. C. O. et al. Técnicas de extração de conhecimento aplicadas a modelagem de ocorrência da cercosporiose (*Cercospora coffeicola Berkeley & Cooke*) em cafeeiros na região sul de minas gerais. **Coffee Science**, Lavras, v. 8, n. 1, p. 91-100, jan./mar. 2013.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. **Coffee:** world markets and trade. Disponível em: <http://www.fas.usda.gov/psdonline/circulars/coffee.pdf>. Acesso em: 15 fev. 2013.

WITTEN, I. H.; FRANK, E.; HALL, M. A. **Data mining:** practical machine learning tools and techniques. 3rd ed. San Francisco: M. Kaufmann, 2011. 629 p.

ZAMBOLIM, L. et al. Epidemiologia e controle integrado da ferrugem-do-cafeeiro. In: ZAMBOLIM, L. (Ed.). **O estado da arte de tecnologias na produção de café**. Viçosa, MG: UFV, 2002. p. 369-449.

DOSES OF PHOSPHORUS ASSOCIATED WITH NITROGEN ON DEVELOPMENT OF COFFEE SEEDLINGS

Felipe Santinato[1], Gustavo Caione[2], Tiago Oliveira Tavares[3], Renato de Mello Prado[4]

(Recebido: 22 de novembro de 2012; aceito: 6 de março de 2014)

ABSTRACT: A greater supply of nitrogen in the substrate using organic compost for coffee (Coffea arabica L.) seedlings can increase the effects of phosphorus in the plant and thereby promoting growth of biomass, enhancing the growth of plants when they are transplanted into the growing environment. The objective was evaluate the effect of phosphorus levels higher than those usually recommended in the absence and presence of nitrogen supplementation in the preparation of substrate containing organic compound to produce coffee seedlings grown in bags. The experiment was installed at a nursery in Araxá city, Minas Gerais State, Brazil in may 2011, using substrate containing 70 % of soil samples and 30 % of cattle manure, with the addition of 1 kg m^{-3} of potassium chloride and 1 kg m^{-3} of dolomitic lime. We used coffee seedlings of Catuaí Vermelho cultivar IAC 144 grown in polyethylene bags (1694 cm^3). The experiment was installed in a completely randomized design with four replicates and 12 treatments in a 6 x 2 factorial scheme, with six levels of phosphorus (P): 0, 109, 218, 436, 872 and 1308 mg dm^{-3}, as triple superphosphate; and two levels of nitrogen (N): absence and 100 mg dm^{-3} in the form of urea. The biometric variables, seedlings quality indexes, soil P concentration as well as accumulation of N and P by plants were determined at 180 days after sowing. Through regression analysis to conclude that the application of phosphorus in the substrate enhanced the P concentration in soil and plant, reflecting in the growth and dry matter production of coffee seedlings, especially in the presence of nitrogen. The highest tested dose of phosphorus (1308 mg dm^{-3}) is the most appropriate dose for the production of coffee seedlings. The addition of nitrogen to the substrate containing cattle manure is important to supply the need of this nutrient in the seedlings.

Index terms: *Coffea arabica* L., phosphorus fertilization, Dickson index, seedling quality.

DOSES DE FÓSFORO ASSOCIADAS AO NITROGÊNIO NO DESENVOLVIMENTO DE MUDAS DE CAFEEIRO

RESUMO: *O aumento do suprimento de nitrogênio, na composição do substrato que utiliza composto orgânico, para produção de mudas de cafeeiro pode potencializar os efeitos da adubação fosfatada na planta. Objetivou-se avaliar o efeito de doses de fósforo maiores que as usualmente recomendadas, na ausência e na presença de suplementação nitrogenada no preparo de substrato contendo composto orgânico, para produção de mudas de cafeeiro cultivadas em sacolas. O experimento foi instalado em viveiro telado no município de Araxá, MG, utilizando substrato contendo 70% de amostras de solo e 30% de esterco bovino, com adição de 1 kg m^{-3} de cloreto de potássio e 1 kg m^{-3} de calcário dolomítico. Utilizaram-se mudas de café cultivar Catuaí Vermelho IAC 144, cultivadas em sacolas de polietileno (1694 cm^3). Os tratamentos foram em arranjo fatorial 6x2, tendo seis doses de fósforo: 0; 109; 218; 436; 872 e 1308 mg dm^{-3} de P, na forma de superfosfato triplo, na ausência e na presença de nitrogênio (100 mg dm^{-3}), na forma de ureia. O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado, com quatro repetições. Foram determinadas, aos 180 dias após a semeadura, as variáveis biométricas, índices de qualidade de mudas, teor de P no solo e o acúmulo de P e N pelas mudas. Através da análise de regressão, conclui-se que a aplicação de fósforo ao substrato aumenta a concentração de P no solo e na planta, refletindo em maior crescimento e matéria seca produzida, especialmente na presença da adubação nitrogenada. A maior dose de fósforo testada (1308 mg dm^{-3}) é a mais adequada para a produção de mudas de café. A adição de nitrogênio ao substrato, que contém esterco de gado, é importante para suprir a necessidade desse nutriente nas mudas.*

Termos para indexação: *Coffea arabica* L., *fertilizante fosfatado, índice de qualidade de Dickson, qualidade de muda.*

1 INTRODUCTION

The substrates for production of coffee (Coffea arabica L.) seedlings are usually made up of soil samples supplemented with organic compounds and mineral fertilizers. The proportion and quality of each one of them provides nutrient availability and favors adequate physical conditions for the plant (DIAS et al., 2009). One of the important nutrients for coffee is phosphorus, because it causes an increase in root development and plant vigor to ensure the formation of crops

[1]Universidade Federal de Viçosa/UFV - Campus Rio Paranaíba - Rodovia MG 230 - Km 7 - Cx. P. 22 - 38.810-000 Rio Paranaíba -MG - fpsantinato@hotmail.com
[2]Universidade do Estado de Mato Grosso - Campus de Alta Floresta - Av. Perimetral Rogério Silva s/n - Jd. Flamboyant Alta Floresta-MT - 78580-000 - gcaione@unemat.br
[3]UNESP - Univ. Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" - Campus de Jaboticabal - Departamento de Máquinas e Mecanização Agrícola - Via de Acesso Prof. Paulo Donato Castellane - s/n - 14884-900 - Jaboticabal - São Paulo - tiagoolitavares@hotmail.com
[4]UNESP - Univ. Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" - Campus de Jaboticabal - Departamento de Solos e Adubos Via de Acesso Prof. Paulo Donato Castellane - s/n - 14884-900 - Jaboticabal - São Paulo - rmprado@fcav.unesp.br

with high productivity and low rates of replanting.

However, phosphorous deficiency causes immediate disturbances in metabolism and development of plants (LAWLOR; CORNIC, 2002). Various studies indicate that the highest development of coffee seedlings occurs when using doses of 0.86 to 1.0 kg m^{-3} P_2O_5 (CUNHA et al., 2002). Increased availability of soil phosphorus in relation to the recommended promotes greater availability of energy as carbohydrate levels, reflecting in a best plant growth (SILVA et al., 2010).

The beneficial effect of phosphorus in plant development depends on the amount of nitrogen available to the plant, besides the suitable dose of this nutrient (PRADO, 2008). Normally in the production of coffee plants a simple organic compound, traditionally cattle manure, is used as a nitrogen source (CUNHA et al., 2006), so the quantities of N supplied may not be sufficient for a good response by the coffee, especially when using higher doses of phosphorus, since the beneficial effects of N in increasing the efficiency of fertilization are known (PRADO, 2008). In this sense, using 56 to 60 mg N dm^{-3} of the substrate for coffee seedlings production of Catuaí Vermelho cultivar gives greater dry matter in stems and leaves, in addition to increasing the leaf area (CARVALHO et al., 1978). Therefore, the objective was evaluate the effect of phosphorus levels higher than those usually recommended in the absence and presence of nitrogen supplementation in the preparation of substrate containing organic compound to produce coffee seedlings grown in bags.

2 MATERIALS AND METHODS

The experiment was conducted in the nursery at the Experimental Farm of Araxá Agriculture Cooperative, in the municipality of Araxá, Minas Gerais State, Brazil, 19º33'21'S and 46º58'08'' W, from May to December 2011. The average annual temperature is 20.4 ºC.

The substrate was prepared using 70 % of soil sample, 30 % of cattle manure, 1 kg m^{-3} of potassium chloride and 1 kg m^{-3} was added, as indicated by Matiello et al. (2010). The cattle manure is the most appropriate compound for the formation of coffee seedlings (ALMEIDA et al., 2011). We used samples from an Oxisol (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA, 2006), removed from a layer of 0.1 to 0.2 m depth and then sieved using 5 mm mesh. Subsequently, we made a mixture of soil and manure and held sampling and chemical analyses of the substrate, according to the methods proposed by Raij et al. (2001), getting the following results: pH ($CaCl_2$) = 6.3; M.O.= 28 g dm^{-3}; P-resina= 8 mg dm^{-3}; K^+ = 14.3 $mmol_c$ dm^{-3}; Mg^{+2} = 11 $mmol_c$ dm^{-3}; Ca^{+2} = 30 $mmol_c$ dm^{-3}; S = 18 mg dm^{-3}; Na = 1.4 $mmol_c$ dm^{-3}; (H+Al) = 23 $mmol_c$ dm^{-3}; CTC = 79.9 $mmol_c$ dm^{-3} and V = 71 %; B = 0.83 mg dm^{-3}; Fe = 29 mg dm^{-3}; Zn = 1.7 mg dm^{-3}; Cu = 1 mg dm^{-3}; Mn = 10.6 mg dm^{-3}.

For seedlings production, polyethylene bags (1694 cm^3) were used as containers, as indicated Vallone et al. (2010). The coffee cultivar used in the experiment was the Catuaí Vermelho IAC 144, from which two seeds per bag were used, which upon reaching the stage "orelha-de-onça" were thinned, keeping one plant per container.

The seedlings were grown in nursery, covered with a polypropylene screen with 50% shade (TATAGIBA; PEZZOPANE; REIS, 2010), and irrigated with micro-sprinklers flow of 75 L h^{-1}. The control of major pests and diseases was done according to recommendations proposed by Matiello et al. (2010).

The experiment was installed in a completely randomized design with four replicates and 12 treatments in a 6 x 2 factorial scheme, with six levels of phosphorus (P): 0, 109, 218, 436, 872 and 1308 mg dm^{-3}, as triple superphosphate (41% P_2O_5); and two levels of nitrogen (N): absence and 100 mg dm^{-3} in the form of urea (44% N). Each plot was composed of eight seedlings, with the six central being considered as useful for evaluations.

All assessments were performed at 180 days after sowing, when the seedlings age is considered suitable for planting (MATIELLO et al., 2010).

The following biometric characteristics were studied: 1) shoot height from apical to stem measured with a millimeter ruler; 2) root length also measured with a millimeter ruler; 3) stem diameter, measured using a caliper with an accuracy of 0.01 mm; 4) number of leaves; 5) root dry matter; 6) shoot dry matter and; 7) dry matter of the whole plant. To determine root and shoot dry matter, material was taken to the kiln with forced circulation temperature from 60 to 70 ° C until obtaining a constant weight.

Based on the results of biometric analysis, Dickson Quality Index (DQI) was obtained by calculating DQI = [TDM / (SH / SD) + SDM / RDM)] (DICKSON et al., 1960), where TDM: total dry matter; SH: shoot height, SD: stem diameter, SDM: shoot dry matter; RDM: root dry matter.

A chemical analysis of the plant material was performed determining the content of nitrogen and phosphorus in the dry matter of the shoot. Based on the results of the levels of these nutrients and dry matter of shoots per bag, the accumulation of nitrogen and phosphorus by plants was calculated.

The analytical determinations were performed according to the methodology described by Malavolta, Vitti and Oliveira (1997).

After collecting plants for their assessments, there was the determination of phosphorus in the soil of the bags, following the methodology described by Raij et al. (2001).

Data were subjected to analysis of variance by F test ($P < 0.05$) and regression analysis for significant effects using the statistical program SISVAR® (FERREIRA, 2011).

The coefficients of the parameters of each model were tested, picking up significant models, with higher coefficient of determination.

3 RESULTS AND DISCUSSION

The application of phosphorus resulted in increased linear fit with the content of the element in the soil, both in the absence and in the presence of nitrogen (Figure 1a), resulting in a higher accumulation of nutrient in plant also linearly (Figure 1b).

It is noted that in the presence of nitrogen there was synergistic effect for the accumulation of phosphorus in the plant, with higher accumulation of phosphorus in plant tissue in relation to the application of doses of the nutrient in the absence of nitrogen.

For nitrogen accumulation, there was also positive interaction between nutrients, because with increasing doses of phosphorus in the presence of nitrogen, there was a linear increase in the accumulation of the nutrient, which was not observed in the absence of nitrogen application (Figure 1c).

It adds up the slope of the phosphorus doses used in the preparation of the substrate providing increased nutrient accumulation by 87 % for each mg of P applied, when associated with the application of 100 mg dm^{-3} of nitrogen in relation to absence of N addition (Figure 1b), for the presence of N increases the absorption of P by the plant (PRADO, 2008). The interaction of P and N in plant tissue has been widely studied by many authors (FIALHO et al., 2012; GONTIJO et al., 2007; RONCHI et al., 2003).

The presence of the nitrogen increases the amount of lateral roots increased absorptive capacity of phosphorus (SILVA; DELATORRE, 2009). The effect could be increased with the use of a urease inhibitor in nitrogen fertilizer (GARCIA et al., 2011).

Appropriate doses and the balance between N and P to interfere in the metabolic processes of plants promote greater expansion of the cells (POOTER, 1990), stimulates protein production, fast cell division and differentiation, resulting in increased vegetative growth (HOQUE et al., 2004).

The application of phosphorus resulted in a linear increase in plant height (Table 1) and dry matter accumulation in the whole plant (Table 1), both in the absence and in the presence of nitrogen. For stem diameter, the doses of phosphorus promoted linear and quadratic increases in the absence and presence of the element, respectively (Figure 2b).

However, in the presence of nitrogen the response of seedling height, stem diameter and dry matter of the whole plant was higher in relation to the application of phosphorus doses in the absence of nitrogen. It is observed for most of the analyzed variables that the use of 100 mg dm^{-3} to prepare the N substrate for coffee seedlings potentiated the effect of phosphorus doses due to improved plant nutrition (Figure 1 b, c).

The effect of using phosphorus fertilization of coffee seedlings in increasing plant height is widely reported in the literature (GONÇALVES et al., 2009; POZZA et al., 2007). The combination of P and N enhanced the seedling height in 41 % compared to treatment only fertilized with phosphorus (Figure 2a). The importance of phosphorus in increasing the stem diameter of coffee plants was also confirmed by Marana et al. (2008) and Melo, Mendes and Guimarães (2003) using different substrates.

It appears that there was an increase with linear adjust on Dickson Quality Index according to the doses of phosphorus in the presence of nitrogen application, however there was no effect of this index in the absence of N fertilization (Figure 2d).

Note that the use of phosphorus associated with the application of N to increase this index induced improvement in seedlings, especially on quality as reported (FOCHO et al., 2011).

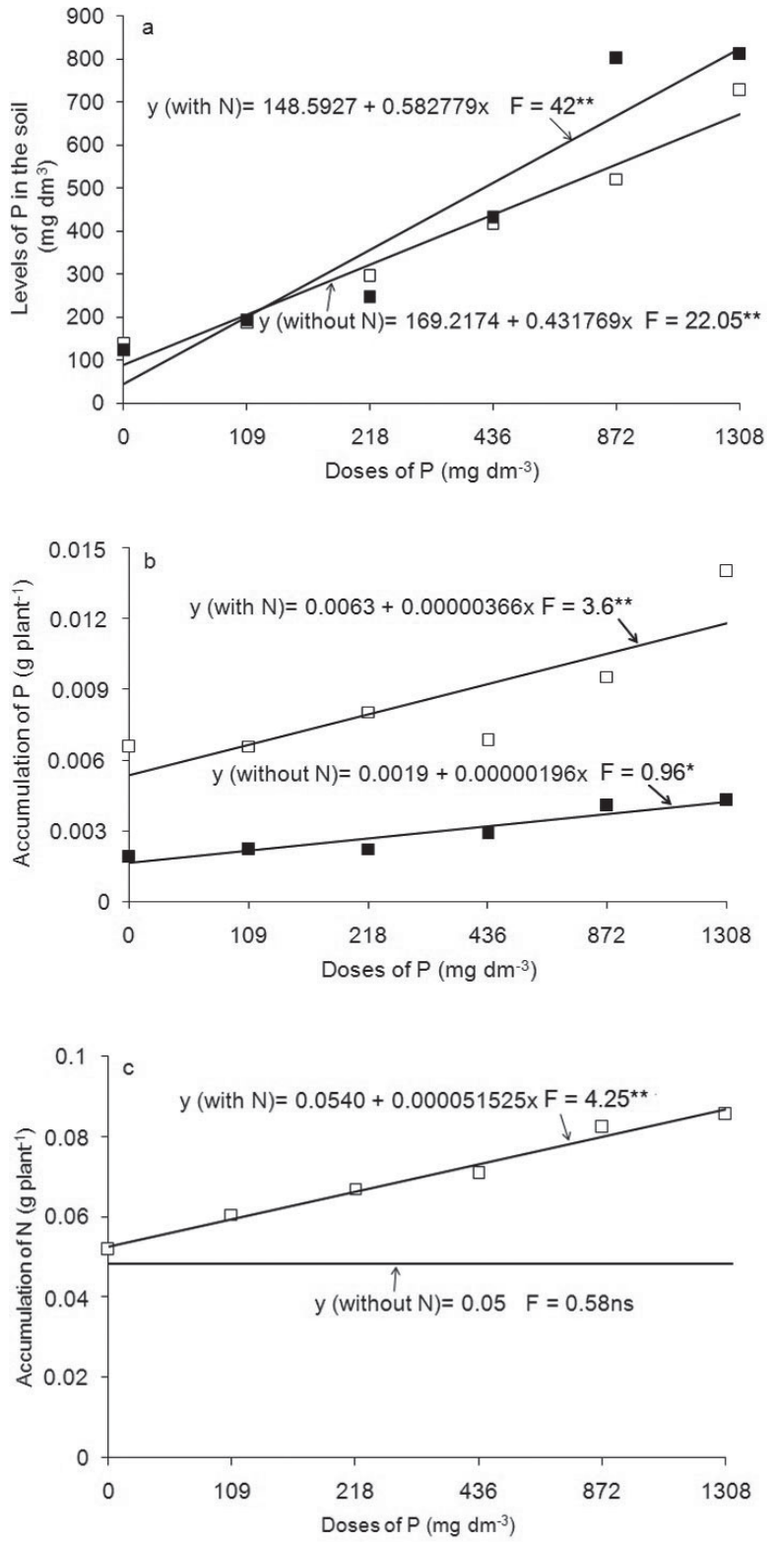

FIGURE 1 - Levels of phosphorus in soil (a), accumulation of phosphorus (b) and accumulation of nitrogen (c) of coffee seedlings, in response to doses phosphorus, with and without nitrogen. F = value of test F and $F_{(a,b)}$ = deviation value regression. ^{ns},* e **: No significant, significant at 5% probability and significant at 1% probability by the test F, respectively.

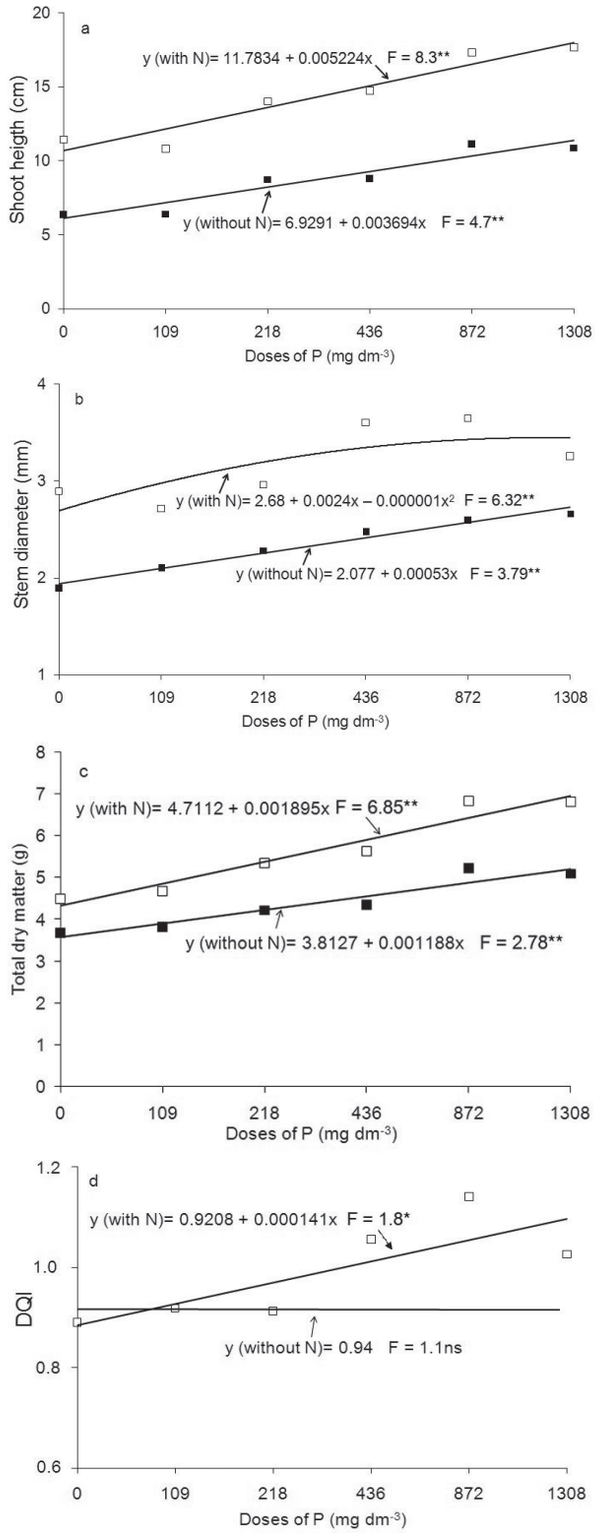

FIGURE 2 - Shoot height (a), stem diameter (b), total dry matter (c) and Dickson Quality Index (DQI) (d) of coffee seedlings, in response to doses of phosphorus, with and without nitrogen. F = value of test F and $F_{(a,b)}$ = deviation value regression. ^{ns},* e **: No significant, significant at 5% probability and significant at 1% probability by the test F, respectively.

According to Caione, Lange and Schoninger (2012) working with seedlings of Trema micrantha (L.) Blume and Schizolobium amazonicum, Ducke respectively, found that the seedlings with higher Dickson Quality Index showed desirable variables for obtaining high-quality seedlings, which were expressed at higher values of stem diameter, dry matter of shoot, of root and of the whole plant, and lower values of the shoot / root ratio as well as of the shoot height / stem diameter.

The application of phosphorus resulted in increased linear increase in root and shoot dry matter, both in the absence and in the presence of nitrogen (Table 1).

Pozza et al. (2007) and Silva et al. (2010), who used lower doses of P in the production of coffee seedlings, obtained lower values for dry matter of shoot and root in relation to the values obtained in this work. The effect of phosphorus on increasing production of dry matter of coffee seedlings was also observed by Gonçalves et al. (2009) testing high doses of P. Related to the dry matter of the whole plant, it can be seen by the slope an increase of 59 % for each mg of added P in the presence of N relative to its absence (Figure 2 c).

Phosphorus application without N increased with quadratic adjustment the number of leaves reaching a maximum value at a dose of 856.6 mg dm^{-3} of P, however with the association of N increase was linear. The increase in the number of leaves with the phosphorus doses were also observed by Pozza et al. (2007), demonstrating the importance of the nutrient supply in the substrate.

TABLE 1 - Shoot height (SH), stem diameter (SD), total dry matter (TDM), dry matter of roots (RDM), dry matter of shoot (SDM), number of leaves (LN), relationship between shoot height with stem diameter (SH/SD), shoot height with shoot dry matter ratio (SH/SDM), dry matter of the shoot with dry matter of roots (SDM/RDM) and dry matter of roots with dry matter of the shoot (RDM/SDM) of coffee seedlings, in response to doses phosphorus, with and without nitrogen.

N	Variable	Equation	F	R^2	$F_{(4;33)}$
Absence	Shoot height	6.9291 + 0.003694x	19.08**	0.81	0.541^{ns}
Presence	Shoot height	11.7834 + 0.005224x	38.16**	0.85	0.984^{ns}
Absence	Stem diameter	2.077 + 0.00053x	15.32**	0.81	0.197^{ns}
Presence	Stem diameter	$2.68 + 0.0024x - 0.000001x^2$	13.86**	0.81	$*2.035^{ns}$
Absence	Total dry matter	3.8127 + 0.001188x	12.5**	0.85	0.192^{ns}
Presence	Total dry matter	4.7112 + 0.001895x	30.17**	0.89	0.286^{ns}
Absence	Dry matter of roots	1.9057 + 0.000659x	12.4**	0.85	0.247^{ns}
Presence	Dry matter of roots	2.1791 + 0.00081x	18.74**	0.93	0.178^{ns}
Absence	Dry matter of shoot	1.9113 + 0.000524x	7.79**	0.81	0.319^{ns}
Presence	Dry matter of shoot	2.5317 + 0.001086x	33.5**	0.86	0.412^{ns}
Absence	Number of leaves	$7.678 + 0.0137x - 0.000008x^2$	12.65**	0.85	$*1.794^{ns}$
Presence	Number of leaves	12.8005 + 0.002665x	11.8**	0.73	0.417^{ns}
Absence	SH/SD	3.3530 + 0.000728x	9.18**	0.64	1.279^{ns}
Presence	SH/SD	4.0010 + 0.001018x	17.9**	0.75	1.718^{ns}
Absence	SH/SDM	3.6208 + 0.000751x	15.46**	0.75	0.373^{ns}
Presence	SH/SDM	-	0.2^{ns}	-	0.8^{ns}
Absence	SDM/RDM	-	0.1^{ns}	-	1.148^{ns}
Presence	SDM/RDM	-	0.69^{ns}	-	0.377^{ns}
Absence	RDM/SDM	-	0.68^{ns}	-	1.452^{ns}
Presence	RDM/SDM	-	0.45^{ns}	-	0.148^{ns}

** and ns = statistically significant (P<0,05) and statistically insignificant, respectively.

* = $F_{(3;33)}$

It is noted that the application of phosphorus resulted in a linear increase of the ratio SH/SD, both in the absence and in the presence of nitrogen, however in the presence of N this relationship showed higher rates. This result indicates the nitrogen promoted greater seedling growth in height than in diameter, like the fact observed by Marana et al. (2008). The application of phosphorus resulted in a linear increase in the ratio SH/SDM in the absence of N and, in the presence of nitrogen there was no significant effect. For the indexes SDM/RDM and RDM/SDM there was also no significant difference between treatments (Table 1).

4 CONCLUSIONS

The application of phosphorus in the organic compound with the addition of N enhance P concentration in soil and plant, as well as showing in the growth and production of dry matter of coffee seedlings and especially in the presence of nitrogen. The higher dose of phosphorus is the most suitable for the production of coffee seedlings. The addition of nitrogen to the substrate containing cattle manure is important to supply the need of this nutrient in the seedlings.

5 REFERENCES

ALMEIDA, S. L. S. et al. Adição de resíduos orgânicos ao substrato para produção de mudas de café em tubete. **Revista Agroambiental**, Pouso Alegre, v. 3, n. 2, p. 9-13, 2011.

CAIONE, G.; LANGE, A.; SCHONINGER, E. L. Crescimento de mudas de *Schizolobium amazonicum* (Huber ex Ducke) em substrato fertilizado com nitrogênio, fósforo e potássio. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 40, n. 94, p. 213-221, 2012.

CARVALHO, M. M.; DUARTE, G. S.; RAMALHO, M. A. P. Efeito da decomposição de substrato, no desenvolvimento de mudas de cafeeiro (*Coffea arabica* L.). **Ciência e Prática**, Lavras, v. 2, n. 1, p. 20-34, 1978.

CUNHA, A. M. et al. Efeitos de diferentes substratos sobre o desenvolvimento de mudas de *Acaciá* sp. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 30, n. 2, p. 207-214, 2006.

DIAS, R. et al. Fontes e proporção de material orgânico para a produção de mudas de cafeeiro em tubetes. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 33, n. 3, p. 758-764, maio/jun. 2009.

DICKSON, A. et al. Quality appraisal of white spruce and white pine seedling stock in nurseries. **Forest Chronicle**, Mattawa, v. 36, p. 10-13, 1960.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Brasília, 2006. 412 p.

ERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, nov./dez. 2011.

FIALHO, C. M. T. et al. Teor foliar de nutrientes em plantas daninhas e de café cultivadas em competição. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 30, n. 1, p. 65-73, 2012.

FOCHO, D. A. et al. Effects of organic and inorganic fertilizers on early growth characteristics of Khaya ivorensis chev (Afican mahogany) in nursery. **African Journal of Plant Science**, Cameroon, v. 5, n. 12, p. 722-729, 2011.

GARCIA, A. L. A. et al. Efeito da ureia com inibidor de uréase no crescimento de mudas de cafeeiro (*Coffea arabica* L.). **Coffee Science**, Lavras, v. 6, n. 1, p. 1-7, 2011.

GONÇALVES, S. M. et al. Faixas críticas de teores foliares de macronutrientes em mudas de cafeeiro (*coffea arabica* L.) produzidas em tubetes. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 33, n. 3, p. 743-752, maio/jun. 2009.

GONTIJO, R. A. N. et al. Faixas críticas de teores foliares de micronutrientes em mudas de cafeeiro (*Coffea arabica* L.). **Coffee Science**, Lavras, v. 2, n. 2, p. 135-141, 2007.

HOQUE, A. T. M. R. et al. Effect of inorganic fertilizers on initial growth performance of Michelia champaca Linn. Seedling in Nursery. **Journal Biology Science**, New York, v. 4, p. 489-497, 2004.

LAWLOR, D. W.; CORNIC, G. Photosynthetic carbon and associated metabolism in relation to water deficits in higher plants. **Plant, Cell and Environment**, Oxford, v. 25, p. 275-294, 2002.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas:** princípios e aplicações. 2. ed. Piracicaba: POTAFÓS, 1997. 319 p.

MARANA, J. P. et al. Índices de qualidade e crescimento de mudas de café produzidas em tubetes. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n. 1, p. 39-45, 2008.

MATIELLO, J. B. et al. **Cultura do café no Brasil:** manual de recomendações. Varginha: Fundação Prócafé, 2010. 542 p.

MELO, B.; MENDES, A. N. G.; GUIMARÃES, P. T. G. Tipos de fertilizações e diferentes substratos na produção de mudas de cafeeiro (*Coffea arabica* L.) em tubetes. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 19, n. 1, p. 33-42, 2003.

POOTER, H. C. Leaf area ratio net assimilation rate of 24 wild species diferring in relative growth rate. **Journal of Ecology**, London, v. 18, p. 553-559, 1990.

POZZA, A. A. A. et al. Efeito do tipo de substrato e da presença de adubação suplementar sobre o crescimento vegetativo, nutrição Mineral, custo de produção e intensidade de cercosporiose em mudas de cafeeiro formadas em tubetes. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 3, p. 685-692, maio/jun. 2007.

PRADO, R. de M. **Nutrição de plantas**. São Paulo: UNESP, 2008. 407 p.

RAIJ, B. van et al. (Ed.). **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: IAC, 2001. 284 p.

RONCHI, C. P. et al. Acúmulo de nutrientes pelo cafeeiro sob interferência de plantas daninhas. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 21, n. 2, p. 219-227, 2003.

SILVA, A. A.; DELATORRE, C. A. Alterações na arquitetura de raiz em resposta à disponibilidade de fósforo e nitrogênio. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lages, v. 8, n. 2, p. 152-163, 2009.

SILVA, L. et al. Fotossíntese, relações hídricas e crescimento de cafeeiros jovens em relação à disponibilidade de fósforo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 45, n. 9, p. 965-972, set. 2010.

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.

VALLONE, H. S. et al. Efeito de recipientes e substratos utilizados na produção de mudas de cafeeiro no desenvolvimento inicial em casa de Vegetação, sob estresse hídrico. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 34, n. 2, p. 320-328, mar./abr. 2010.

ISSN 1809-6875