ISSN 1809-6875

COFFEE SCIENCE

Volume 11 , Número 4, 2016

BIOMETRIA E TROCAS GASOSAS EM MUDAS CLONAIS DE CAFEEIRO SUBMETIDAS A DIFERENTES SUBSTRATOS

Erilene Romeiro Alves[1], Raquel Schmidt[2], Riziely Moreira[3], Jairo Rafael Machado Dias[4], Emanuel Maia[5]

(Recebido: 31 de outubro de 2015; aceito: 03 de junho de 2016)

RESUMO: Objetivou-se avaliar a biometria e as trocas gasosas de mudas de *Coffea canephora* submetidas a diferentes substratos, em cinco períodos de avaliação. O experimento foi realizado em Rolim de Moura, Rondônia. Foi conduzido no esquema de parcela subdividida no tempo, composto pela combinação de três substratos (solo, composto orgânico e substrato comercial) com cinco períodos de avaliação (25, 50, 75, 100, 125) dias após plantio das estacas e paralelamente aos 75, 100 e 125 DAE entre as 9 e 11 horas, avaliou-se as trocas gasosas foliares. O substrato orgânico é uma alternativa favorável, apresentando-se superior nas características biométricas comparativamente ao solo e substrato comercial na formação de mudas clonais em cafeeiros canéfora durante a fase de formação no viveiro. Os diferentes substratos utilizados neste estudo não foram capazes de promover alterações nas trocas gasosas nas mudas clonais de cafeeiros.

Termos para indexação: *Coffea canephora*, crescimento vegetativo, viveiro, transpiração.

BIOMETRY AND GAS EXCHANGE IN CLONAL CUTTINGS COFFEE SUBMITTED TO DIFFERENT SUBSTRATES

ABSTRACT: *Aimed to evaluate the biometry and leaf gas exchange of Coffea canephora seedlings submitted to different substrates, in five evaluation periods. The experiment was carried out in Rolim de Moura, Rondônia. It was conducted in a split plot scheme in time, composed by the combination of three substrates (soil, organic compost and commercial substrate) with five assessment periods (25, 50, 75, 100, 125) days after planting the cuttings and parallel 75 , 100 and 125 DAE between 9 and 11 hours, we evaluated the leaf gas exchange. The organic substrate is a favorable alternative, presenting higher in biometric characteristics compared to the soil and commercial substrate in the formation of clonal coffee canephorus seedlings during the formation stage in the nursery. Different substrates used in this study were not able to make changes in gas exchange in the clonal seedlings of trees.*

Index terms: *Coffea canephora, vegetative growth, nursey, transpiration.*

1 INTRODUÇÃO

A cafeicultura expressa significativa fração na economia brasileira, em razão de sua participação na receita cambial, transferência de renda aos outros setores da economia e contribuição à formação de capital no setor agrícola do país, além da expressiva capacidade de absorção de mão-de-obra e fixação do homem no meio rural (SERRANO; SILVA; FORMENTINI, 2011).

O sistema de produção de mudas cafeeiras clonais (*Coffea canephora)* é o passo primordial para aumentar a produtividade do setor e a produção dessas mudas com qualidade é a base para o estabelecimento de uma lavoura vigorosa e produtiva (BRAUN et al., 2007). Na produção dessas mudas clonais de cafeeiro, utilizam-se tradicionalmente saquinhos de polietileno e tubetes, como recipientes. E, como substrato, a mistura de esterco bovino com terra de subsolo complementada com fertilizantes químicos (DIAS; MELO, 2009).

O substrato é o meio no qual as plantas em fase de viveiro desenvolvem-se podendo ser de origem vegetal, animal ou mineral, sendo constituído por uma parte sólida como, partículas minerais e orgânicas, e pelo espaço poroso, que é ocupado por água ou ar (BRAUN et al., 2009), sendo responsável pela sustentação das mudas, aporte de água, oxigênio e nutrientes e suas características são resultantes da interação do clima e de organismos vivos que atuam sobre o

[1]Universidade Estadual Paulista/UNESP - Faculdade de Ciências Agronômicas - Rua José Barbosa de Barros nº 1780 - Fazenda Lageado - 18.610-307 - Botucatu - SP - erilene.romeiro@hotmail.com
[2]Viveiro Ouro Verde - Linha 65 km 23 s/n - 76.954-000 - Alta Floresta D'Oeste-RO - schmidt_raquel@hotmail.com
[3]Rua Rio Verde, 4769 - Centro - 76.940-000 - Rolim de Moura-RO - riziely@hotmail.com
[4]Universidade Federal de Rondônia/UNIR - Departamento de Agronomia - Campus de Rolim de Moura- Av Norte Sul, 7300 Bairro Nova Morada -76.940-000 - Rolim de Moura - RO - jairorafaelmdias@hotmail.com
[5]Universidade Federal de Rondônia/UNIR- Departamento de Engenharia Florestal - Campus de Rolim de Moura- Av Norte Sul

material de origem. A adição do adubo orgânico ao substrato melhora as características físicas, químicas e biológicas, além de fornecer macro e micronutrientes de forma gradual (LIMA et al., 2007; MAIA et al., 2008).

A adição de insumos orgânicos auxilia no desenvolvimento das mudas de *C. canephora* quando comparado a o substrato comercial com fertilizantes de liberação lenta, como observado por Silva et al. (2010) testando bagaço de cana e outros insumos concluíram que os materiais orgânicos proporcionaram melhores condições para as mudas de cafeeiro canéfora. De modo geral o uso de substratos alternativos é uma estratégia econômica para esse primeiro ciclo de formação, além de gerar mudas vigorosas (CORRÊA; BULL; MAUAD, 2010).

Contudo, outras variáveis interferem no crescimento vegetativo do cafeeiro, visto que, por exemplo, a taxa de crescimento da parte aérea do cafeeiro varia sazonalmente, em virtude das condições climáticas (RONCHI; DAMATTA, 2007). Estes mesmos autores destacaram a falta de informações sobre a taxa de crescimento de todas as etapas, desde as mudas de café canéfora até a fase de produção e a importância de se realizar estes estudos para se aperfeiçoar o manejo das fertilizações, das podas e da irrigação.

As condições adversas do ambiente e dos diferentes substratos, como a retenção de água, disponibilidade de nutrientes e o crescimento das plantas, podem gerar efeitos distintos nas reações fisiológicas das plantas. Assim, como observado por Silva et al. (2015), em que o estresse hídrico proporcionou menores taxas fotossintéticas em plantas de berinjelas. Esses efeitos ocasionam distúrbios nas trocas gasosas da planta, como a elevação ou diminuição da transpiração da planta, ou como captação do CO_2.

A região amazônica possui condições ambientais distintas da maior parte do Brasil, sendo caracterizadas com maiores taxas de umidade e temperaturas (RONDÔNIA, 2012). Essas duas variações juntas podem resultar em taxas de respiração maiores em plantas cultivadas. Porém, ainda não há na literatura citação de efeitos dessas combinações em mudas clonais de cafeeiros canéfora na região.

Embora se utilize diferentes substratos na produção de mudas cafeeiras, informações expressivas para a fisiologia e qualidade das mudas ainda são escassas, principalmente para identificar o efeito sobre o uso dos materiais orgânicos na formação de mudas oriundas de segmentos de vegetais, no caso das mudas clonais o uso de estacas dos ramos ortotrópicos.

Neste sentido, objetivou-se com este trabalho avaliar a biometria e as trocas gasosas de mudas clonais em cafeeiros, produzidas a partir de diferentes substratos, em cinco períodos de avaliação. Assim como observar a qualidade dessas mudas na Região da Amazônia Sul Ocidental onde tem-se condições climáticas e materiais genéticos distintos dos testados.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa de vegetação na linha 180, km 10, lado sul no município de Rolim de Moura, localizada na região da Zona da Mata do Estado de Rondônia, cujas coordenadas geográficas são: 11º49’36,1”S latitude e 61°48’49,3”W longitude com altitude média de 240 m acima do nível do mar. Nesta região, predomina clima tropical quente e úmido com estação seca bem definida (junho a setembro) e com chuvas intensas nos meses de novembro a abril. A precipitação média anual é de 2.250mm, umidade relativa do ar em torno de 85% no período chuvoso. As temperaturas médias anuais são em torno de 28ºC, sendo que as temperaturas médias mínimas são de 24ºC e de máximas são de 32ºC (MARIALVA, 1999).

O experimento foi conduzido no esquema de parcela subdividida no tempo, composto pela combinação de três substratos (solo de mata, composto orgânico e substrato comercial) com cinco períodos de avaliação (25, 50, 75, 100, 125) dias após o plantio das estacas. Os substratos formaram as parcelas principais e os períodos de avaliação as subparcelas. A unidade experimental foi composta por sete sacos de polietileno contendo uma estaca viável por recipiente. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com quatro repetições.

Para a realização do experimento foram utilizadas mudas de café conillon (*Coffea canephora),* as estacas foram coletadas de uma única planta (matriz) com bom estado fitossanitário e nutricional proveniente de lavoura propagada por sementes da propriedade rural onde foi conduzido o experimento. Após a retirada dos ramos da planta mãe estes foram levados para casa de vegetação. As estacas foram selecionadas com aproximadamente 5 a 7 cm e um par de folhas reduzidas a 1/3, sendo retiradas de tecido adulto de ramos ortotrópicos de cafeeiro canéfora. Depois de coletadas e preparadas, as estacas foram tratadas

com uma solução, constituída pelo fungicida do grupo Mancozeb (2,4 mLL^{-1}) (DIAS et al., 2012).

Os substratos utilizados foram: i) Solo; ii) Composto orgânico constituído por resíduos de graxaria (Organosuper®) e esterco bovino com serrapilheira, EB+S (1:1) e, iii) Substrato comercial Vivatto® composição de casca de pinus, moinha de carvão vegetal, vermiculita, fertilizante mineral, turfa e espuma fenólica, utilizando-se como recipientes sacos de polietileno com volume de 572 cm^3, que após o plantio das estacas foram mantidos em viveiro coberto com sombrite, com 50% de interceptação de luminosidade.

As características do solo apresentaram os seguintes valores médios: pH de 4,2; P de 4,2 mg dm^{-3}; Ca, Mg, K e carbono orgânico, respectivamente, de 3,0, 0,3, 1,3 e 28,1 cmolc dm^{-3} antes do preparo do substrato. No preparo dos substratos, utilizou-se 2kg de calcário dolomítico (PRNT 90%), 3kg de superfosfato simples e 0,5 kg de cloreto de potássio para cada metro cúbico da mistura (MARCOLAN et al., 2009). As irrigações foram realizadas diariamente por aspersão, mantendo sempre a capacidade de campo do substrato para todos os tratamentos. Realizou-se controle nutricional e fitossanitário das mudas quando necessárias, de acordo com as recomendações propostas para esta cultura (BRAUN et al., 2007).

Aos 25, 50, 75, 100 e 125 dias após o estaqueamento (DAE), avaliou-se: altura de planta, área foliar, número de raízes, comprimento de raízes, massa seca da parte área e das raízes. Para aferir a altura das plantas e comprimento das raízes utilizou-se régua milimetrada, a área foliar foi estimada por meio de medidas lineares, conforme proposto por Partelli et al. (2006) e a matéria seca, após a secagem em estufa de circulação forçada de ar (70 ± 2 ºC), foi aferida com auxílio de balança de semi-analítica. Paralelamente, aos 75, 100 e 125 DAE, entre as 9 e 11 horas, avaliou-se as trocas gasosas foliares, com auxílio de um analisador de gás infravermelho portátil (LCi-SD ADC BioScientific), sob radiação e concentração de CO2 ambiente, e entre as características, determinou-se: fotossíntese líquida (A, µmol m-2 s-1), transpiração (E, mol m-2 s-1), condutância estomática (gs, mol m-2 s-1) concentração interna de CO2 (CI, µmol mol-1), eficiência instantânea de uso da água (A E-1) e eficiência intrínseca de uso da água (A gs-1). Procedeu-se as aferições das respectivas variáveis aos 75, 100 e 125 DAE, como critério, que as folhas analisadas estavam totalmente expandidas.

Os dados obtidos foram submetidos ao teste de Shapiro-Wilk ($p \leq 0,05$), a fim de aferir a normalidade, seguido pela análise de variância. Foram ajustados modelos de regressão para os períodos de avaliação, quando o efeito foi significativo pelo teste F, ao nível de 5% de probabilidade. Utilizou-se, também, o teste de Tukey ($p \leq 0,05$), para as comparações entre as médias dos substratos.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Apenas as características, altura de planta e número de raízes variaram de modo independente, não havendo interação significativa entre substratos e período de avaliação. Para as demais características as variações biométricas ocorreram de modo dependente (Tabela 1).

Foram encontrados alguns coeficientes acima de 20 % nas avaliações, como constatado nas Tabelas 1, 3 e 4, apesar do experimento ter sido realizado em casa de vegetação, o que reduz as variações ambientais, mas não a variabilidade da espécie. Comparativamente, Dantas et al. (2009) observaram em consenso com outros autores que o coeficiente de variação (CV), depende da variável em estudo, podendo ser considerado muito alto quando os valores estiverem acima de 90%. Coeficientes de variação semelhantes também foram observados por Covre et al. (2013) para as características volume de raiz (61%) e área superficial de raiz (39%) quando avaliaram o desenvolvimento inicial de 13 genótipos de cafeeiros canéfora e em outras características como acúmulo de nutrientes nas mudas.

Os substratos promoveram efeitos lineares e positivos para altura de planta (Figura 1). Os resultados indicam que o substrato alternativo proporcionou crescimentos satisfatórios, em relação ao convencional (Tabela 2).

Quando comparado apenas o tipo de substrato para as características altura de planta e número de raízes, o substrato comercial apresentou valores inferiores em relação aos demais (Tabela 2). Para característica número de raízes o substrato orgânico e o solo, não apresentaram diferença significativa entre eles (Tabela 2). O uso de materiais orgânicos proporciona melhor estrutura aos substratos, influenciando diretamente no volume de raízes das mudas (SILVA et al., 2013). Efeito inverso foi observado por Dias e Melo (2009), ao constatarem que com crescimento da concentração de esterco bovino como fonte orgânica, proporcionalmente menor foi a relação parte aérea/raiz em mudas de cafeeiro.

No entanto, o fornecimento de esterco bovino de qualidade depende da região e manejo das pastagens e da decomposição que se encontra a fonte orgânica.

De forma semelhante, para as demais características biométricas o substrato orgânico promoveu efeitos lineares e positivos para área foliar (Figura 2C), massa seca da parte aérea (Figura 2E) e massa seca de raízes (Figura 2F), com exceção do comprimento de raízes (figura D) em que efeitos dos diferentes substratos mantiveram-se parecidos. Estes resultados corroboram aqueles obtidos por Silva et al. (2010), os quais verificaram que o substrato comercial mostrou-se inferior para produção de mudas a partir de semente em cafeeiro canéfora independentemente do recipiente utilizado.

De forma geral, os resultados obtidos neste trabalho são justificados pela lenta decomposição do composto orgânico, que disponibilizam os nutrientes às plantas de forma gradual no decorrer do período da formação das mudas, uma vez que parte destes está sendo imobilizada pelos microorganismos presentes na matéria orgânica (BRITO et al., 2008).

Apesar da liberação lenta dos nutrientes pela matéria orgânica, por ser dependente da taxa de mineração dos microrganismos presentes no material em decomposição, o composto orgânico destaca-se entre os demais substratos. Pereira (2011) relata ainda que a baixa taxa de mineralização da matéria orgânica traz, como benefícios, maior permanência do nutriente na zona de absorção radicular e maior distribuição do sistema radicular no substrato.

TABELA 1 - Resumo da análise de variância para altura de planta (AP), área foliar (AF), número de raízes (NR), comprimento de raiz (CR), massa seca da parte aérea (MSPA) e massa seca de raiz (MSR) em mudas de cafeeiro canéfora, a partir de diferentes substratos e períodos de avaliação.

Fontes de Variação	GL	AP	AF	NR	CR	MSPA	MSR
		Quadrados médios					
Substratos (S)	2	313**	163**	157,6**	876,9**	198,2**	23,5**
Resíduo-S	9	2	0,4	2,2	2,3	0,2	0,1
Tempo (T)	4	22,6**	15,9**	6,8**	42,4**	11,4**	2,4**
Int. S x T	8	3,1^{ns}	11,4**	1,9^{ns}	18,2**	6,7**	1,3*
Resíduo (T)	36	2,4	1,9	1,2	4,5	1,5	0,4
CV-S (%)	-	20,6	11,2	30,6	15,1	10,9	19,5
CV-T (%)	-	22,5	23,1	23,1	21,0	29,5	32,3

^{ns}, * e ** = não significativo, significativo ao nível de 5 e 1% de probabilidade, respectivamente pelo teste F. CV-S: coeficiente de variação dos substratos ; CV-T: coeficiente de variação do tempo.

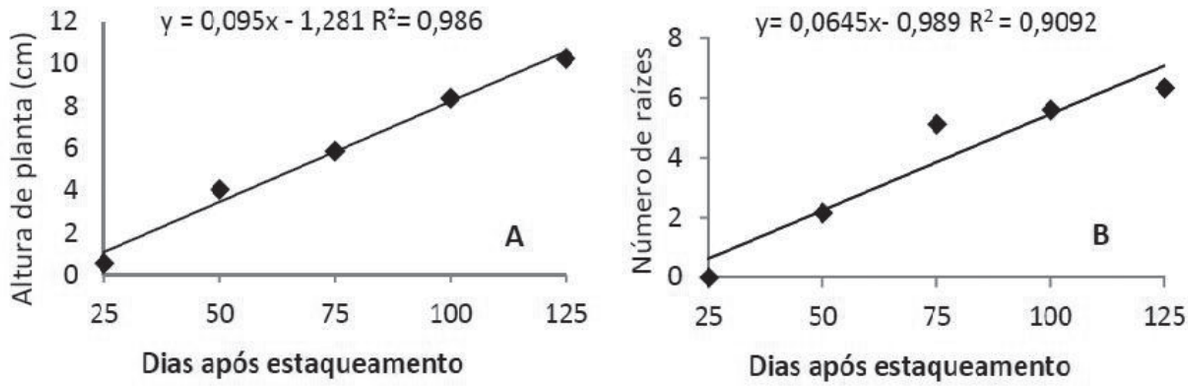

FIGURA 1 - Equação de regressão para altura da mudas (A) e número de raízes (B) em mudas cafeeiras *(Coffea canephora)* produzidas em diferentes substratos e avaliadas aos 25, 50, 75, 100 e 125 dias após o estaqueamento.

TABELA 2 - Valores médios relativos à altura de planta (AP) e número de raízes (NR) nos diferentes substratos utilizados aos 125 dias após o estaqueamento.

Substratos	AP (cm)	NR (planta)
Comercial	1,85 c	0,62 b
Orgânico	9,76 a	5,18 a
Solo	5,91 b	5,74 a
CV%	24,10	24,30

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

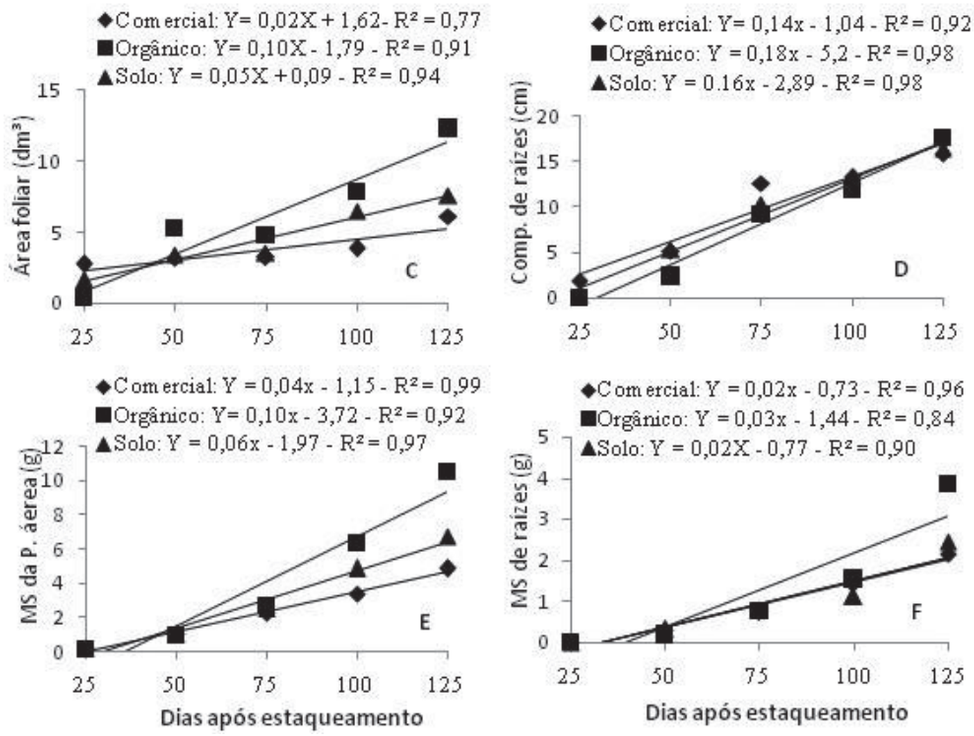

FIGURA 2 - Equação de regressão para área foliar (C), comprimento de raízes (D), massa seca da parte aérea (E) e massa seca de raízes (F) em mudas cafeeiras *(Coffea canephora*) produzidas em diferentes substratos e avaliadas aos 25, 50, 75, 100 e 125 dias após o estaqueamento.

Avaliando o comprimento das raízes de mudas seminais em cafeeiro arábica produzidas em sacos de polietileno, Silva et al. (2012), com adição de 45% de húmus de mata em substrato comercial, obtiveram resultados superiores, quando comparado a proporção de esterco bovino e cama de frango para produção de mudas.

Em relação à massa seca da parte aérea Silva et al. (2012) verificaram que a adição de 45% de cama de frango ao substrato comercial foi suficiente para promover melhores resultados em relação à adição de esterco bovino e húmus de mata nas proporções de 30% e 60%, respectivamente ao substrato comercial para formação de mudas a partir de sementes de cafeeiro arábica, com 210 dias de idade.

Quanto à massa seca de raízes os resultados encontrados neste trabalho são divergentes dos observados por Braun et al. (2009) que obtiveram resultados superiores utilizando substrato comercial mais solo ao invés de substrato caseiro constituído por esterco bovino, solo e areia e substrato comercial misturado de matéria orgânica de origem vegetal e vermiculita expandida e

substratos constituídos de palha de café e solo na produção de mudas a partir de estacas do cafeeiro conilon.

Na avaliação final, realizada aos 125 DAE, são apresentados os resultados do desenvolvimento e qualidade das mudas produzidas, observando-se que o substrato orgânico promoveu desempenho superior para área foliar e massa seca da parte aérea, comparativamente aos demais substratos (Tabela 3).

Lana et al. (2002), em trabalho avaliando diferentes substratos e fertilizantes de liberação lenta na produção de mudas do cafeeiro em saquinhos, concluem que o substrato comercial foi superior ao substrato convencional (15% de cama de frango, 15% de esterco de curral, 70% de solo) com relação a dimensão da área foliar.

Resultados diferentes foram observados Marana et al. (2008) em estudos da qualidade e crescimento de mudas cafeeiras utilizando substrato comercial e vermicomposto com doses de fertilizante de liberação lenta na produção de mudas, observando que mudas produzidas com substrato comercial foram superiores nas características avaliadas.

O estudo das características biométricas em diferentes substratos é relevante para se obter informações sobre qual substrato tem a capacidade de produzir mudas de melhor qualidade. Os resultados obtidos no presente estudo indicam que as mudas produzidas em substrato orgânico foram mais vigorosas em relação às demais para a maioria das variáveis biométricas analisadas como, altura de planta, área foliar e massa seca da parte aérea.

Os substratos utilizados na formação das mudas cafeeiras não influenciaram nas respostas fisiológicas, sendo a única exceção à transpiração (E). Com relação às épocas de avaliação, independentemente do período, não houve diferença significativa ($p \leq 0,05$). De modo semelhante, os substratos e o tempo variaram de modo independente, não havendo interação significativa (Tabela 4).

Com evolução do tempo, as taxas de transpiração permaneceram iguais (Figura 3). As taxas de transpiração apresentam relação com o desenvolvimento das mudas, nesse sentido quanto maior o incremento de área foliar espera-se maiores taxas de transpiração, induzindo o aumento na assimilação líquida de CO_2 com a captação e assimilação do CO_2 e promovendo a perda de água para o ambiente em função da abertura dos estômatos (TAIZ; ZEIGER, 2009). Esse fator não foi observado nesse estudo, onde a evolução do tempo e o desenvolvimento das mudas não causaram efeitos significativos.

Observou-se que o substrato orgânico apresentou maior transpiração, no entanto, não diferiu significativamente do substrato comercial e solo (Tabela 5). Resultado distinto foi observado por Nogueira, Alburquerque e Silva Junior (2003) na produção de mudas de mangabeira, pois neste caso, observaram que mudas formadas a partir do substrato constituído pelo solo em condições naturais apresentam maior taxa transpiratória comparativamente às mesmas plantas cultivadas com substrato orgânico (mistura de húmus).

Lacerda et al. (2012), avaliando substratos para produção de mudas de couve manteiga, observaram que quando as plantas são cultivadas em substrato constituído por fibra de coco a transpiração ocorre com maior frequência em contraste as plantas semeadas em substrato constituído por esterco bovino. Os mesmos autores relatam que esses resultados demonstram que o substrato fibra de coco proporciona um incremento na atividade fisiológica em plantas de couve manteiga devido a maior retenção de umidade e disponibilidade dos nutrientes para as plantas quando comparado a ao esterco bovino, proporcionando melhores condições de desenvolvimento da planta.

TABELA 3 - Área foliar (AF), comprimento de raízes (CR), massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca de raízes (MSR) em mudas de cafeeiro canéfora aos 125 dias após o estaqueamento submetido a diferentes substratos.

Substratos	AF (dm^2)	CR (cm)	MSPA (g)	MSR (g)
Comercial	6,08 b	15,83 a	4,83 b	2,16 a
Orgânico	12,28 a	17,60 a	10,48 a	3,83 a
Solo	7,62 b	16,46 a	6,71 ab	2,44 a
CV%	23,19	14,69	29,80	45,05

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

TABELA 4 - Resumo da análise de variância para fotossíntese líquida (A), transpiração (E), condutância estomática (g_s) concentração interna de CO_2 (C_I), eficiência instantânea de uso da água ($A\ E^{-1}$) e eficiência intrínseca de uso da água ($A\ g_s^{-1}$) durante a formação de mudas de cafeeiro canéfora submetidas a diferentes substratos.

Fontes de Variação	GL	A	E	g_s	C_I	$A\ E^{-1}$	$A\ g_s^{-1}$
		Quadrados médios					
Substratos (S)	2	$1{,}038^{ns}$	7,046*	$1{,}485^{ns}$	2251,06ns	$0{,}052^{ns}$	$15{,}827^{ns}$
Resíduo-S	9	0,712	1,627	0,827	805,13	0,042	6,093
Tempo (T)	2	$0{,}013^{ns}$	$0{,}730^{ns}$	$0{,}140^{ns}$	$25{,}55^{ns}$	$0{,}007^{ns}$	$8{,}472^{ns}$
Int. S x T	4	$0{,}084^{ns}$	$0{,}509^{ns}$	$0{,}118^{ns}$	$205{,}76^{ns}$	$0{,}008^{ns}$	$6{,}667^{ns}$
Resíduo (T)	18	0,183	0,593	0,058	76,39	0,019	11,870
CV-S (%)	-	57,15	32,32	69,96	7,9	17,79	63,34
CV-T (%)	-	29	19,51	18,51	2,43	12	88,41

^{ns}, * e ** = não significativo, significativo ao nível de 5% e 1% de probabilidade, respectivamente pelo teste F.

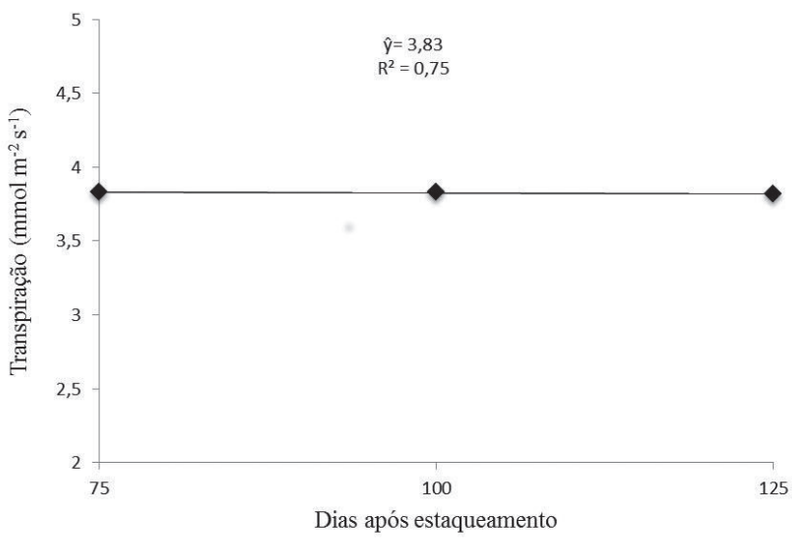

FIGURA 3 - Equação de regressão para transpiração em mudas cafeeiras (Coffea canephora) avaliadas aos 75, 100 e 125 dias após o estaqueamento.

TABELA 5 - Transpiração (mmol m-2 s-1) de mudas cafeeiras (Coffea canephora) submetidas a diferentes substratos.

Substratos	Transpiração (E)
Orgânico	4,79 a
Solo	3,30 b
Comercial	3,75ab

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

4 CONCLUSÕES

O substrato orgânico é uma alternativa favorável, apresentando-se superior nas características biométricas comparativamente ao solo de mata e substrato comercial na formação de mudas clonais em cafeeiros canéfora durante a fase de formação no viveiro.

Os diferentes substratos utilizados neste estudo não foram capazes de promover alterações nas trocas gasosas nas mudas clonais de cafeeiros.

5 REFERÊNCIAS

BRAUN, H. et al. Desenvolvimento inicial do café conillon (*coffea canephora* pierre) em solos de diferentes texturas com mudas produzidas em diferentes substratos. **Idesia**, Arica, v. 27, n. 3, p. 35-40, sept./dic. 2009.

BRAUN, H. et al. Produção de mudas de café 'conilon' propagadas vegetativamente em diferente níveis de sombreamento. **Idesia**, Arica, v. 25, n. 3, p. 85-91, sept./dic. 2007.

BRITO, L. M. et al. Transformação da matéria orgânica e do nitrogênio durante a compostagem da fração sólida do chorume bovino. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 5, p. 1959-1968, set./out. 2008.

CORRÊA, J. C.; BÜLL, L. T.; MAUAD, M. Nutrição, crescimento e pegamento a campo em mudas de café formadas em diferentes tipos de substratos. **Agrarian**, Dourados, v. 2, n. 4, p. 49-62, abr./jun. 2009.

COVRE, A. M. et al. Crescimento e desenvolvimento inicial de genótipos de café Conilon. **Revista Agro@mbiente On-line**, Boa Vista, v. 7, n. 2, p. 193-202, maio/ago. 2013.

DANTAS, B. F. et al. Taxas de crescimento de mudas de catingueira submetidas a diferentes substratos e sombreamentos. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 33, n. 3, p. 413-423, jun. 2009.

DIAS, J. R. M. et al. Enraizamento de estacas de cafeeiro imersas em extrato aquoso de tiririca. **Coffee Science**, Lavras, v. 7, n. 3, p. 259-266, set./dez. 2012.

DIAS, R.; MELO, B. Proporção de material orgânico no substrato artificial para a produção de mudas de cafeeiro em tubetes. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 33, n. 1, p. 44-152, jan./fev. 2009.

LACERDA, F. H. D. et al. Substrato e concentração de nutrientes na solução nutritiva na produção de couve manteiga. **Revista Verde**, Mossoró, v. 7, n. 4, p. 51-58, out./dez. 2012.

LANA, R. M. Q. et al. Utilização de diferentes substratos e de fertilizantes de libertação lenta na produção de mudas do cafeeiro em saquinhos. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 49, n. 286, p. 577-586, 2002.

LIMA, E. F. S. et al. Fontes e doses de matéria orgânica na composição do substrato para produção de muda de mamoneira. **Revista Brasileira de Oleaginosas e Fibrosas**, Campina Grande, v. 11, n. 2, p. 77-83, maio/ago. 2007.

MAIA, S. S. S. et al. Influência da adubação orgânica e mineral no cultivo do bamburral (*Hyptis suaveolens* (L.) Poit.) (*Lamiaceae*). **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 3, n. 4, p. 327-331, out./dez. 2008.

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, jan./fev. 2008.

MARCOLAN, A. L. et al. **Cultivo dos cafeeiros Conilon e Robusta para Rondônia**. Porto Velho: EMBRAPA Rondônia; EMATER-RO, 2009. 72 p.

MARIALVA, V. G. **Diagnóstico socioeconômico:** Jí-Paraná. Porto Velho: SEBRAE-RO, 1999. 76 p.

NOGUEIRA, R. J. M. C.; ALBUQUERQUE, M. B. de; SILVA JUNIOR, J. F. Efeito do substrato na emergência, crescimento e comportamento estomático em plântulas de mangabeira. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 25, n. 1, p. 15-18, abr. 2003.

PARTELLI, F. L. et al. Produção e desenvolvimento radicular de plantas de café 'Conilon' propagadas por sementes e por estacas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 6, p. 949-954, jun. 2006.

PEREIRA, D. C. **Decomposição e mineralização de adubos orgânicos acondicionados e capsula porosa**. 2011. 115 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2011.

RONCHI, C. P.; DAMATTA, F. M. Aspectos fisiológicos do café conilon. In: FERRÃO, R. G. et al. (Ed.). **Café conilon**. Vitória: INCAPER, 2007. cap. 4, p. 93-120.

RONDÔNIA. Secretaria de Estado do Desenvolvimento Ambiental. **Boletim climatológico de Rondônia, ano 2010**. Porto Velho, 2012. 34 p.

SERRANO, L. A. L.; SILVA, V. M. da; FORMENTINI, E. A. Uso de compostos orgânicos no plantio do cafeeiro conilon. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 58, n. 1, p. 100-107, jan./fev. 2011.

SILVA, A. P. da et al. Mudas de café em substratos e ambientes protegidos diferente. **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 33, n. 4, p. 589-600, ago. 2013.

SILVA, C. J. et al. Produção de mudas de cafeeiro com adição de material orgânico em substrato comercial. **Revista Verde**, Mossoró, v. 7, n. 2, p. 137-148, abr./jun. 2012.

SILVA, F. G. da et al. Trocas gasosas e fluorescência da clorofila em plantas de berinjela sob lâminas de irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 19, n. 10, p. 946-952, set. 2015.

SILVA, J. I. et al. Desenvolvimento de mudas de *Coffea canephora* Pierre ex a. froehner em diferentes combinações de substrato e recipiente. **Coffee Science**, Lavras, v. 5, n. 1, p. 38-48, jan./abr. 2010.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 4. ed. Porto Alegre: Artmed, 2009. 819 p.

COLLETOTRICHUM ON COFFEE TREES IN SOUTH OF MINAS GERAIS - BRAZIL: PHYSIOLOGICAL, MOLECULAR AND PATHOGENIC DESCRIPTION

Cecilia Armesto[1], Fernanda Gonçalves Martins Maia[2], Fernando Pereira Monteiro[3], Mário Sobral de Abreu[4]

(Recebido: 10 de novembro de 2015; aceito: 23 de maio de 2016)

ABSTRACT*:* Fungi of the genus *Colletotrichum* spp. are cosmopolitan and are responsible for disease in many plants of agronomic importance. In coffee crops, three species have been described: *Colletotrichum acutatum*, *Colletotrichum kahawae* and *Colletotrichum gloeosporioides*. In Brazil were only reported the species *C. acutatum* and *C. gloeosporioides*, which symptoms are attributed as antracnoses, dieback and blister spot. This study evaluates the population of *Colletotrichum* spp. through morpho-physiological, genetic and pathogenic characteristics, in several coffee plantations in the southern of Minas Gerais. All isolates showed similar morphological and physiological characteristics, being identified as *C. gloeosporioides*. The best medium for mycelial growth was agar-malt extract with pH 5.5 and for spore production oat-agar medium with pH 6.5. When inoculated on berries, all isolates were pathogenic with variable levels of aggressiveness, but only 57% of these were pathogenic for hypocotyls. Three isolates, I-9, I-24 and I-26, were identified featuring the highest rates of aggressiveness in berries and hypocotyls.

Index terms: Aggressiveness, anthracnose, blister spot.

COLLETOTRICHUM EM CAFEEIROS DO SUL DE MINAS GERAIS - BRASIL: DESCRIÇÃO MORFO-FISIOLÓGICA, MOLECULAR E PATOGÊNICA

RESUMO**:** *Fungos do gênero Colletotrichum spp. são cosmopolitas, sendo responsáveis por doenças em diversas plantas de importância agronômica. Na cultura do café três espécies foram descritas: Colletotrichum acutatum, Colletotrichum kahawae e Colletotrichum gloeosporioides. No Brasil ocorrem somente as espécies C. acutatum e C. gloeosporioides, as quais são atribuídos sintomas como: antracnoses, seca de ponteiro e mancha manteigosa O presente trabalho foi realizado com o objetivo de avaliar a população dos isolados de Colletotrichum spp. através de características morfo-fisiológicas, patogênicas e genéticas, em diversas lavouras cafeeiras do sul do estado de Minas Gerais. Todos os isolados apresentaram características morfo-fisiológicas semelhantes, sendo identificados como da espécie C. gloeosporioides. O melhor meio para crescimento micelial foi meio extrato de malte ágar com pH5,5. Já para produção de esporos destacou-se o meio aveia-ágar com pH 6,5. Os isolados quando inoculados em frutos apresentaram-se todos patogênicos, com níveis de agressividade variáveis, porem quando inoculados em hipocótilos verificou-se que apenas 57% destes foram patogênicos. Três isolados, I-9, I-24 e I-26, foram identificados apresentando os maiores índices de agressividade em frutos e hipocótilos.*

Termos para indexação**:** *Agressividade, antracnose, mancha manteigosa*.

1 INTRODUCTION

Coffee is one of the most important activities in Brazil and have a large representation in the global economy. Brazil is the world's largest coffee producer and second biggest consumer of the product and has an coffee crop estimated at 2.3 million hectares. There are around 287 thousands of producers, which are distributed in 15 states: Acre, Bahia, Ceará, Espírito Santo, Goiás, Federal District, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Pará, Paraná, Pernambuco, Rio de Janeiro, Rondônia and São Paulo (BRASIL, 2016). The crop production and the benefited sacks of coffee in 2016 are estimated at 49,126.10 and 51,943.90, respectively.

The development of the sustainable coffee production in Brazil depends of the profitability for producers, the minimum amount that will guarantee their permanence in the activity. The profit is dependent of the stable cultivation systems that provide longer life for the crops and frequent productions. Highly productive cultivars adapted to each edaphoclimatic conditions and cropping system, and resistant to pests and disease, are the main components of the coffee sustainability.

The incidence of microorganisms between pre and post harvest has emerged as a limiting factor to quality production, which filamentous fungi are the biggest factor responsible for damage to coffee culture. The most known fungal diseases that affect the production are rust (*Hemileia vastatrix*), Cercospora leaf spot

[1,3,4]Universidade Federal de Lavras/UFLA - Departamento de Fitopatologia/DFP -Laboratório de Diagnose - 37.200-000 - Lavras/MG - cecirpj@hotmail.com, monteirofp1985@gmail.com, msabreu@ufla.br
[2]Universidade Federal de Uberlândia - Instituto de Ciências Agrarias -Uberlândia/MG - feagrosal@yahoo.com.br

(*Cercospora coffeicola*), Phoma leaf spot (*Phoma* spp.), anthracnose and blister spot, the latter being attributed to *Colletotrichum* spp. complex.

Colletotrichum species occur in all producing regions of the world, and are known three species related to coffee plants: *C. kahawae* - geographically restricted species to Africa, *C. gloeosporioides* and *C. acutatum*. In Brazil predominates species known as *C. gloeosporioides*, which is associated with a complex of diseases and symptoms throughout the plant: anthracnose with irregular and large patches, color brown to grayish, occurring commonly on edge leaves; die-back; brown blight and blister spot, which presents light green spots oily appearance on leaves and fruit (ABREU; FERREIRA; MARTINS, 2008).

The occurrence of *Colletotrichum* spp. is serious in coffee regions in Brazil and can cause significant losses in culture (ABREU; FERREIRA; MARTINS, 2008). Although, the importance of the *C. gloeosporioides* in coffee plantation in Brazil is still very questionable, due to the difficulty in inducing certain symptoms in controlled conditions, as the example of the blister spot (FERREIRA; ABREU; PEREIRA, 2009), and according Menezes (2006) for *Colletotrichum* spp. complex, it is desirable the integration of morphological and non–morphological methods to identify species and strains below the species level.

It is necessary to elucidate the fungus relationship with the coffee crop in Brazil, determining the species of *Colletotrichum* spp. usually associated with coffee. Therefore, the present work had as objective, the identification of *Colletotrichum* species isolated from coffee plants, through genetic characteristics and physiological studies which may be associated with pathogenicity.

2 MATERIALS AND METHODS

The experiments were carried out at the Plant Pathology Department of the Federal University of Lavras (UFLA) – Lavras, Minas Gerais, Brasil.

Collection and preservation of *Colletotrichum* spp.

Leaves, branches and berries of coffee plants with symptoms of blister spot, anthracnose and dieback were collected, in different cities in the southern of Minas Gerais state (Table 1). The samples were placed in paper bags and then taken to the Diagnosis Lab-Department of Plant Pathology/UFLA. Sections of infected tissue were made on young lesions, which were superficially disinfected, for one minute, with alcohol 50% and 1% sodium hypochlorite and washed in distilled water. These sections were transferred to Petri dishes containing agar culture medium (AA) and incubated for seven days in a growth chamber at 25°C with 12 hour photoperiod. After the fungal growth, medium with the mycelial fragments were removed and carried under the microscope for the identification of the pathogen by the description of Sutton (1992). After identification, fragments of colonies were transferred to new plates to obtain purification and single spore cultures to preserved into microtubes.

Morpho-physiological characterization:

Mycelial growth was evaluated in: MEA (Malt Extract Agar); PDA (Potato Dextrose Agar); GYA (Glucose Yeast Agar); OA (Oat Agar). From the pure cultures of different isolates, mycelial discs of 6 mm diameter removed and deposited in the center of each Petri dish containing the different media. The incubation conditions were 25°C and photoperiod of 12 hours for seven days. The mycelial growth was evaluated by the average growth rate Index (AGRI), according to Souza, Souza and Mendes-Costa (2007), for 15 days.

Color of colonies was assessed by expression of the coloring of the aerial mycelium. For mycelial growth and formation of acervuli, colonies were observed for ten days, on the different culture media, incubated at 25°C and 12 hour photoperiod. Shape and size of conidia was obtained by measuring the length and width of 50 randomly selected conidia held on Zeiss microscope coupled to a camera, and measured by means of AxionVision 4.8 program. For determination of sporulation was prepared a spore suspension adjusted to 10^6 conidia.mL^{-1} in Neubauer chamber, obtaining an average of five readings at the microscope for each replicates of treatments. The experimental design was completely randomized in a factorial design with three replicates (represented by a plate), in which the evaluated factors were isolated. The culture media used for growth and sporulation at different pH, were those that had the best AGRI and promoted production of cultures spores. After the culture media selection the pH levels were adjusted for 4.5, 5.5, 6.5 and 7.0. Into cultures were deposited mycelial disks, and they were incubated at 25°C with a photoperiod of 12 hours for ten days. The mycelial growth was evaluated by the average growth rate Index (AGRI) and sporulation. The experimental design was completely randomized in a factorial design.

TABLE 1 - Level of symptom observed in seedlings.

Category	Symptom
1	No visible reaction.
2	Superficial brown lesions.
3	Dark deep lesions.
4	Dark lesions with early bottlenecks.
5	Strong bottleneck.
6	Dead seedling.

Source: Varzea (1995).

Molecular analysis

DNA extraction was conducted from colonies at ten days of growth, according to the protocol provided by Promega® extraction kit - Wizard Genomic DNA Purification Kit (# A1120). DNA was quantified, and samples were diluted to the concentration of 10ng.μL^{-1}.

For molecular amplification by PCR were used specific primers for the genus *Colletotrichum* spp., to confirm by sequencing that all isolates belonged to that genus. Then, specific oligonucleotides for *C. gloeosporioides* and *C. acutatum* were used.

The identification of the genus was performed using pairs of oligonucleotide Cc1F1 (5'-ACCTAACTGTTGCTTCGGCG-3') and Cc2R1 (5´-AAATTTGGGGGTTTTACGGC-3') as Cullen et al. (2002). The reaction was performed according to protocol provided by Gotaq Green Master Mix kit - Promega® (# M7122). The program used by the thermocycler was a cycle of 1 minute at 94°C, 2 minutes at 65°C and 2 minutes at 72°C followed by a cycle of 1 minute at 94°C, 2 minutes at 63°C and 2 minutes at 72°C, finishing with 33 cycles of 1 minute at 94°C, 2 minutes at 61°C and 2 minutes at 72°C.

For the detection of *C. gloeosporioides* was used CgInt oligonucleotide (5'-GGCCTCCCGCCTCCGGGCGG-3') described by Mills, Sreenivasaprasad and Brown (1993) and for *C. acutatum*, CaInt2 oligonucleotides (5'-GGGGAAGCCTCTCGCGG-3 ') both with ITS4 (5'-TCCTCCGCTTATTGATATGC-3') described by Sreenivasaprasad et al. (1996). The reaction was performed according to protocol provided by Gotaq Green Master Mix kit - Promega® (# M7122). The program used was: one cycle of 30 seconds at 94°C, 45 seconds at 62°C and 90 seconds at 72°C followed by a cycle of 30 seconds at 94°C, 45 seconds at 60°C and 90 seconds at 72°C, ending 33 cycles of 30 seconds at 94°C, 45 seconds at 58°C and 90 seconds at 72°C.

Each PCR (25 µl) contained 25 ng of DNA, 1 µL each primer, and 12.5 µl Gotaq Green Master Mix kit - Promega® (# M7122). Amplifications were performed in a thermal cycler (Hybaid, Ashford, UK) programmed for 1 cycle of 5 min at 95°C, 25 cycles of 30 s at 94°C, 30 s at 62°C, and 2 min at 72°C, ending with 1 cycle of 7 min at 72°C. After amplification, PCRs products were applied in agarose gel 1%. As a control for the reactions it used an isolated *Cercospora* spp. and sterile water.

Pathogenicity in berries and hypocotyls

Green berries of Red Catuaí cultivar were sterilized superficially, dried and placed in plastic boxes with sterile sand for support. In each box were conditioned 20 berries (Figure 2C), in which each fruit was considered a replicate. For inoculation, berries were drilled with sterile needle and inoculated with suspension of 10^6 conidia.mL^{-1}, sterile water was used as a control. The plates were kept in climatic chamber with temperature of 25°C and photoperiod of 12 hours. Berries were evaluated for 15 days. Berries were characterized according to the presence or absence of symptoms. Absence: berry without necrotic lesion at the inoculation point; Presence: berry with initial dry and necrotic lesions, with circular aspect and the depressed center.

For hypocotyls of Red Catuaí cultivar, inoculation was performed by spraying suspensions at a concentration of 10^6 conidia.mL^{-1}. As a control was used hypocotyls inoculated with sterile water. The hypocotyls were placed in trays with substrate in a growth chamber with 12 hours photoperiod at 25°C for 20 days. The symptoms were evaluated according to a scale described by Varzea (1995)

(Table 1), and the interpretation of results was performed as McKinney (1923) index, adapted by Orozco Miranda et al. (2003), by calculating the intensity of the disease index (IDI). The experimental design was completely randomized in a factorial design with ten replicates, wherein each hypocotyl was considered a replicate.

Data analysis

Data were initially assessed by analysis of variance and F test, performed with the statistical program Sisvar (FERREIRA, 2000). The comparison between the averages when the F value was significant, was taken by Scott and Knott test (1974), 5%. Graphics were done through the demo version of the Sigma Plot 11.0 application (Systat Software Inc).

3 RESULTS AND DISCUSSION

Thirty-three isolates were obtained from blister spot lesions, dieback and anthracnose in coffee from cities in southern Minas Gerais (Table 2). Three persistent symptoms related to isolates were identified: dry leaf and stems, depressive concentric necrotic lesions on fruit and yellow circular stain/spot with greenish halo in leaves and berries. These symptoms confer with those reported by Abreu, Ferreira and Martins (2008) for this pathosystem.

All isolates had homogeneous growth at 25°C, where the dominant mycelial color of the colony was white-gray cotton-like, with the exception of isolate I-14 which exhibited the salmon color when grown on MEA, PDA and GYA (Table 3). When grown in OA medium all isolates were superficial and have white growth. All isolates were able to produce acervuli during the twenty days of observation, with the exception of I-5 and I-25, distinguishing itself from other tested isolates.

The conidia isolates exhibited straight, cylindrical shape with rounded apexes and average length of 11.621 µm and width of 4.05 µm (Table 3). Among 33 isolates, 68% had the conidia with 12.0-17.0 µm in length and 3.5-6.0 µm in width. These values are proposed for *C. gloeosporioides* according to Sutton (1992). In this study, we observed the differentiation of two types of conidia, those in which there is a predominance of single conidia with length greater than 10 µm and those with the predominance of single conidia with less than 7 µm in length. This may be related to the existence of different strains into the species, since the isolates showed smaller sizes of conidia were mostly related to plants showing symptoms of blister spot.

In relation to the speed of mycelial growth, was observed that the medium which had a higher carbon source to be metabolized by fungi, were the ones who promoted higher growth. The best performance observed was the MEA medium culture, with average growth of 2.85 µm, followed by PDA medium 2.15 µm (Figure 1). Conidia production was enhanced when the isolates were cultivated in OA, and each individual had different standard of sporulation (Figure 1).

According to the variance analysis the interaction was significant for isolated x culture medium with a coefficient of variation of 7.7. In comparing mean values of the AGRI (Table 3) in accordance with Scott-Knott test (0.05), we can observe the formation of groups 4 to PDA and GYA means, and 5 groups for MEA and OA means. According to the composition of the medium, isolates have differentiated on the mycelial growth rate and sporulation, and the medium that favored the best mycelial growth rate for a particular isolate was not necessarily the best medium to produce conidia.

The culture media rich in carbon and nitrogen may provide a larger vegetative growth of fungi, while those deficient in nitrogen can increase conidiogenesis (LOUREIRO et al., 2011). According Menezes (2006) nutrition of C/N has an effect on the physiological processes of fungi, especially those related to growth, production of conidia, germination and dry weight, allowing also differentiate between isolates *Colletotrichum* spp. according to their ability to use particular source of carbon and nitrogen. In general, many fungi use glucose, but other sugars can serve as a carbon source with biosynthetic purposes, some culture media are more favorable for the sporulation of fungi than others, because they have complex carbohydrates which are less suitable for the production of vegetative hyphae, but more suitable to the production of spores (DIAS NETO et al., 2010).

In this work, all isolates of *Colletotrichum* spp. had better mycelial growth performance when cultured at pH 5.5, while for sporulation, the best result was observed at pH 6.5 (Figure 1). The pH is an important parameter in the development of phytopathogenic fungi, since this may affect physiological activities of microorganisms, such as enzyme production, that may determine the virulence or aggressiveness efficiency.

Deshmukh et al. (2012) noted that *C.*

TABLE 2 - Identification of *Colletotrichum* spp. in the south of Minas Gerais / Brazil.

Isolate	Plant Part	Symptom	Disease	Place
I-1	Leaf	III	Blister Spot	Lavras
I-2	Leaf	III	Blister Spot	Piumhi
I-3	Stem	I	Dieback	Santo Antônio do Amparo
I-4	Berry	II	Anthracnose	Santo Antônio do Amparo
I-5	Stem	I	Dieback	Ouro Fino
I-6	Stem	I	Dieback	Lavras
I-7	Stem	I	Dieback	Boa Esperança
I-9	Leaf	III	Blister Spot	Poço Fundo
I-10	Berry	II	Anthracnose	Poço Fundo
I-11	Berry	III	Blister Spot	Poço Fundo
I-12	Leaf	III	Blister Spot	Turvolândia
I-13	Stem	I	Dieback	Patrocínio
I-14	Berry	III	Blister Spot	Araguari
I-15	Berry	II	Anthracnose	Araguari
I-16	Berry	II	Anthracnose	Araguari
I-17	Berry	II	Anthracnose	Teixeira
I-18	Stem	I	Dieback	Capelinha
I-19	Stem	I	Dieback	Cristais
I-20	Stem	I	Dieback	Campo Belo
I-21	Berry	II	Anthracnose	Paracatu
I-22	Stem	I	Dieback	Paracatu
I-23	Stem	I	Dieback	Paracatu
I-24	Stem	I	Blister Spot	Lavras
I-25	Stem	III	Blister Spot	Lavras
I-26	Berry	III	Blister Spot	Paraguaçu
I-27	Stem	III	Blister Spot	Paraguaçu
I-28	Stem	III	Blister Spot	Paraguaçu
I-29	Leaf	III	Blister Spot	Paraguaçu
I-30	Stem	I	Dieback	Ribeirão Vermelho
I-31	Leaf	III	Blister Spot	Ribeirão Vermelho
I-32	Berry	III	Blister Spot	Ribeirão Vermelho
I-33	Stem	III	Blister Spot	Ribeirão Vermelho
I-34	Stem	I	Dieback	Lavras

Symptoms: I - dry leaf and stems; II - concentric necrotic depressed lesions in berries; III - yellow circular spot with greenish halo on leaves and fruit.

TABLE 3 - Mycelial growth of *Colletotrichum* spp. isolates on different culture medium.

	Average Growth Rate Index - AGRI (mm.dia^{-1})			
Isolates	**MEA**	**PDA**	**OA**	**GYA**
I-1	2.72 Ad	2.29 Ba	1.63 Cb	1.65 Cc
I-2	3.02 Ac	2.12 Bc	1.80 Ca	1.85 Cc
I-3	2.65 Ad	2.05 Bc	1.71 Cb	1.71 Cc
I-4	3.08 Ac	2.36 Ba	2.05 Ca	2.02 Ca
I-5	2.59 Ad	1.72 Bd	1.76 Bb	1.61 Bc
I-6	3.02 Ac	2.20 Bb	1.94 Ba	2.07 Bb
I-7	3.04 Ac	2.24 Bb	1.91 Ca	2.04 Cb
I-9	2.34 Ae	2.16 Ab	1.81 Ba	1.86 Bc
I-10	2.50 Ae	2.26 Bb	1.72 Cb	1.81 Cc
I-11	2.75 Ad	2.38 Ba	1.81 Ca	1.87 Cc
I-12	2.66 Ad	1.84 Bd	1.62 Bb	1.75 Bc
I-13	2.66 Ad	1.99 Bc	1.77 Cb	1.71 Cc
I-14	2.44 Ae	1.84 Bd	1.87 Ba	1.89 Bb
I-15	3.15 Ac	2.19 Bb	2.15 Ba	2.02 Ba
I-16	2.82 Ad	2.36 Ba	1.70 Ca	1.91 Cc
I-17	2.71 Ad	2.06 Bc	1.78 Ca	1.84 Cc
I-18	2.80 Ad	2.13 Bb	0.92 Dd	0.17 Ce
I-19	2.84 Ad	2.29 Ba	1.71 Ca	1.94 Dc
I-20	2.94 Ac	2.12 Bb	1.70 Cc	1.48 Cc
I-21	2.65 Ad	2.03 Bc	1.86 Cb	1.73 Cb
I-22	3.09 Ac	2.43 Ba	0.98 Ca	1.86 Dd
I-23	2.95 Ac	2.45 Ba	1.87 Ca	2.08 Cb
I-24	2.74 Ad	1.66 Bd	1.70 Bb	1.69 Bc
I-25	2.34 Ac	1.82 Bb	0.32 Ca	0.16 Ca
I-26	2.49 Ae	2.25 Bd	1.66 Bb	1.60 Bc
I-27	3.02 Ac	2.16 Bb	1.81 Ca	1.94 Cc
I-28	3.06 Ac	2.23 Bb	1.76 Ba	1.92 Cc
I-29	3.23 Ab	2.35 Ba	1.63 Cb	1.63 Cc
I-30	2.82 Ad	2.26 Bb	1.73 Ca	1.99 Dc
I-31	3.07 Ac	2.25 Bb	1.77 Ca	1.89 Cc
I-32	2.28 Ae	1.76 Bd	1.53 Cc	1.35 Cc
I-33	3.50 Aa	2.34 Ba	1.93 Ca	2.00 Cb
I-34	2.72 Ad	2.22 Bb	1.89 Cb	1.79 Cb

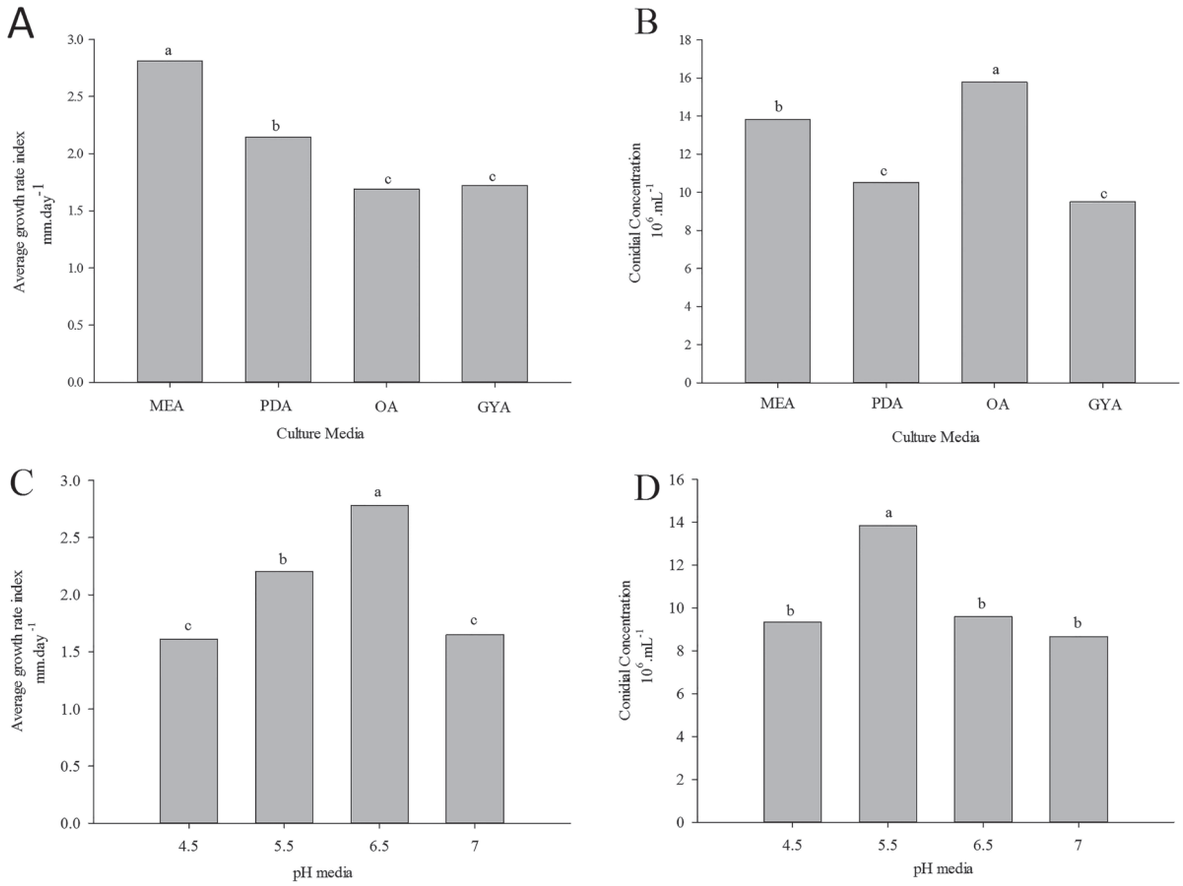

FIGURE 1 - Mycelial growth and sporulation of *Colletotrichum* spp. (A-B) Mycelial growth and sporulation influenced by the culture media used for the fungi cultivation. (C-D) Mycelial growth and sporulation of the fungi influenced by the pH of the culture media.

gloeosporioides sporulation occurred more frequently when grown at pH 5.0, 5.5 and 6.0, and pH 5.5 to 6.0 for the best out of mycelial growth, also verified that the worst growth and sporulation rates were obtained when grown at pH 7.0 and 8.0. Kumara and Rawal (2010) in they studies with *C. gloeosporioides* isolates obtained from papaya fruits have also found that the favorable pH range for growth and sporulation was 5.0 and 6.0. Yakoby et al. (2000) found that expression of the pelB gene of *C. gloeosporioides* occurs at pH values above 5,1 and the secretion of enzymes transcribed by this occurs only above pH 5.8.

The confirmation of *Colletotrichum* spp. genus was performed by the pair of oligonucleotide CCF1 / Cc2R1 specific to the genus, amplifying a fragment of 447 bp for all the isolates (Figure 2). For oligonucleotides CanIt2/ITS4, which identifies *C. acutatum*, no amplification was observed. All isolates were positive for the primers CgInt/ITS4, which amplify fragments of 450 bp, thus the evaluated isolated belonged to the species *C. gloeosporioides*. Freitas et al. (2011) also carried out the molecular identification of *Colletotrichum gloeosporioides* obtained from coffee, using the same primers.

C. gloeosporioides isolates obtained from coffee were capable of inducing symptoms in berries as well as in hypocotyls (Table 4). In both we observed variability in the induction of symptoms, because the material used (berry/hypocotyl), as the isolates tested.

The first symptoms of necrosis in coffee green berries caused by isolates of *C. gloeosporioides* were observed from the first evaluation, five days after inoculation, causing depressed moist necrotic lesions that progressed over time. In some berries it was possible to observe a mass formation of conidia on the lesions. All isolates inoculated in berries differ statistically at a significance level of 5% from the control. Small brownish lesions on the stem of hypocotyls

could be seen from the fifth day after inoculation, which evolved quickly throughout the stem, promoting the strangulation of seedling, with 12 days of evaluation. The isolates I-9, I-24 and I-26 were those with the highest disease intensity ratios when inoculated into seedlings and berries. None of the isolates showed index zero for berries, but in hypocotyls it was observed for various isolates. (Table 4). Isolates that showed the lowest disease indexes were I-28 and I-33 with 18 and 16% of IDI in berries and 0 in hypocotyls.

According to Ferreira et al. (2009), the mycelium of *Colletotrichum* spp. affects all the organs on coffee, systemically colonize the xylem tissue, the phloem, cortex and cells of endosperm thus causing death of branches, fruit and leaf drop mummification. The isolates in this work were more aggressive when inoculated into green berries, and all isolates showed symptoms of necrosis. In hypocotyls was observed that the number of isolates symptoms was reduced. Thus, berries can be considered more susceptible to *C. gloeosporiodes* than seedlings. Such difference may be due to composition of material. Fruits have high levels of starch (LAVIOLA et al., 2007) which may consists a nutritional source for pathogens.

The variability in the pathogenicity of *C. gloeosporioides* isolates was observed by other authors previously, showing that there is great diversity in the induction or incidence of symptoms in relation to the isolates tested (JULIATTI et al., 2006). This variability suggests that the genetic aspects of *Colletotrichum* spp., as well as *Coffea arabica* L., genotypes used, plant physiology and their nutritional condition, influence the symptoms, such as: more vigorous trees are less susceptible to the pathogen, adult plants in the fruit maturation state tend to show higher incidence of the fungus (SERA et al., 2005). Rampazo, Marçal and Leite Júnior (2007) also demonstrated that the specialization of the pathogenic isolates of *C. gloeosporioides,* since some isolates were not able to induce lesions, depending of the susceptibility of coffee cultivars.

In this work was not observed the typical symptoms of blister spot (Figure 2) due to rapid development of necrosis in the inoculated materials presented. Blister spot symptoms are difficult to reproduce in controlled conditions, but manifest with great intensity on the field. The expression of these symptoms may not only restricted to the pathogen, but also conditioning by nutritional factors and plant age. Martins-Maia et al. (2012) working with *Colletotrichum* spp. inoculation in coffee seedlings obtained plants without symptoms of blister spot, also had no success in the reproduction of specific symptoms. There is a need for studies that report the association of some factor that predisposes to this pathogen, linked to growing conditions, resistance or susceptibility of these plants, since within a coffee plantation attacked plants are observed with generalized disease and others that do not have the disease incidence.

TABLE 4 - Morphological characteristics of *Colletotrichum* spp. and aggressiveness level in green berries and hypocotyls.

Isolate	Color	Size of conidia (µm)	Shape of Conidia	IDI Berries	IDI Hypocotyls
I-1	grey	12.92x4.77	cylindrical	98.00 Ab	0.00 Ad
I-2	grayish white	12.60x4.80	cylindrical	95.00 Ab	0.00 Ad
I-3	grayish white	13.65x4.80	cylindrical	93.00 Ab	22.00 Ac
I-4	grayish white	11.19x4.80	cylindrical	91.66 Ab	000 Ad
I-5	white	12.63x4.58	cylindrical	76.66 Ac	0.00 Ad
I-6	grayish white	12.93x505	cylindrical	91.66 Ab	8.33 Ac
I-7	grey	12.81x5.00	cylindrical	88.33 Ab	0.00 Ad
I-9	grayish white	7.42x3.10	cylindrical	100.00 Aa	100.00 Aa
I-10	grayish white	15.73x5.00	cylindrical	9600 Ab	72.67 Ab
I-11	grayish white	7.13x5.01	cylindrical	95.00 Ab	16.33 Ac
I-12	white	16.32x4.46	cylindrical	95.00 Ab	10.33 Ac

I-13	grey	10.82x4.00	cylindrical	96.00 Ab	14.00 Ac
I-14	salmon	3.03x1.17	cylindrical	100.00 Aa	0.00 Ad
I-15	white	13.57x5.00	cylindrical	96.00 Ab	0.00 Ad
I-16	white	11.55x4.82	cylindrical	93.33 Ab	3.33 Ad
I-17	grayish white	15.02x5.00	cylindrical	90.00 Ab	0.00 Ad
I-18	grayish white	16.68x4.99	cylindrical	83.33 Ac	0.00 Ad
I-19	grayish white	11.93x4.84	cylindrical	85.00 Ac	20.33 Ac
I-20	white	14.45x4.94	cylindrical	70.00 Ac	0.00 Ad
I-21	grayish white	7.42x3.10	cylindrical	95.00 Ab	5.67 Ad
I-22	grayish white	10.73x4.64	cylindrical	88.33 Ab	0.00 Ad
I-23	white	7.42x3.10	cylindrical	93.33 Ab	10.66 Ac
I-24	grayish white	4.06x1.54	cylindrical	100.00 Aa	100.00 Aa
I-25	white	5.54x2.66	cylindrical	83.33 Ac	14.66 Ac
I-26	grayish white	16.36x4.31	cylindrical	100.00 Aa	100.00 Aa
I-27	grayish white	12.96x5.28	cylindrical	91.66 Ab	11.67 Ac
I-28	grayish white	10.32x3.57	cylindrical	91.66 Ab	0.00 Ad
I-29	grayish white	12.99x3.58	cylindrical	98.00 Ab	10.66 Ac
I-30	grayish white	12.45x4.08	cylindrical	96.00 Ab	5.00 Ad
I-31	grayish white	13.38x3.17	cylindrical	100.00 Aa	11.00 Ac
I-32	grayish white	12.08x4.07	cylindrical	96.00 Ab	0.00 Ad
I-33	grayish white	3.36x1.71	cylindrical	93.33 Ab	0.00 Ad
I-34	grayish white	11.49x2.59	cylindrical	93.33 Ab	13.33 Ac

Lowercase letters compare isolated within each mode of material evaluated and uppercase letters compare pathogenicity within each individual, at 5% probability by Scott-Knott test.

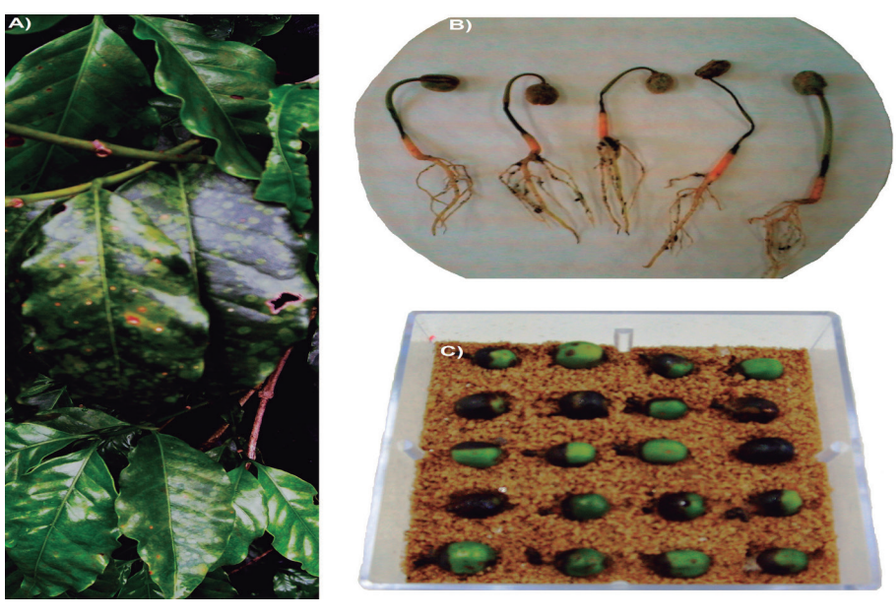

FIGURE 2 - Symptoms of diseases caused by *Colletotrichum* spp. (A) Blister spot symptoms on coffee leaves. (B) Symptoms in hypocotyls caused by *C. gloeosporioides* . (C) Symptoms in green berries caused by the isolate I-24.

4 CONCLUSIONS

In this study were obtained 33 isolates of *Colletotrichum* spp., which were identified as belonging to the species *C. gloeosporioides*. Malt extract agar (MEA) and oat agar (OA) medium culture are the most appropriate for mycelial growth and sporulation, respectively, and develops efficiently in the pH range between 5.5 and 6.5. Through the pathogenicity test was able to detect different levels of aggressiveness in berries as in hypocotyls, but the morphological and cultural characteristics are not sufficient to identify such variations among the isolates of *C. gloeosporiodes* related to coffee plants.

5 ACKNOWLEDGEMENTS

The State Funding Agency of Minas Gerais (FAPEMIG) and National Counsel of Technological and Scientific Development (CNPq) for project funding.

6 REFERENCES

ABREU, M. S.; FERREIRA, J. B.; MARTINS, F. G. Mancha manteigosa no contexto do complexo *Colletotrichum* em cafeeiros. In: SIMPÓSIO DE MANEJO DE PLANTAS: MANEJO FITOSSANITÁRIO DO CAFEERIO, 2008, Lavras. **Anais...** Lavras: UFLA, 2008. p. 105-126.

BRASIL. Ministério da Agricultura. **Vegetal:** culturas - café. Brasília, 2012. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/>. Acesso em: 3 maio 2016.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Indicadores da agropecuária**. Disponível em: <http://www.conab.gov.br>. Acesso em: 3 maio 2016.

CULLEN, D. W. et al. Detection of *Colletotrichum coccodes* from soil and potato tubers by conventional PCR and real-time quantitative PCR. **Plant Pathology**, London, v. 51, p. 281-92, 2002.

DESHMUKH, A. J. et al. *In vitro* effect of various nitrogen, carbon sources and pH regimes onthe growth and Sporulation of *Colletotrichum gloeosporioides* Penz. and Sacc causing anthracnose of Indian bean. **Journal of Biopesticides**, Palayamkottai, v. 5, n. 46, p. 46-49, 2012.

DIAS NETO, J. J. et al. Influência do meio de cultura na esporulação de magnaporthe grisea e da concentração de conídios na severidade da brusone do arroz. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 26, n. 2, p. 173-179, 2010.

FERREIRA, D. F. **Manual do sistema SISVAR para análises estatísticas**. Lavras: UFLA, 2000. 66 p.

FERREIRA, J. B.; ABREU, M. S.; PEREIRA, I. S. Análise da dinâmica, estrutura de focos e arranjo espacial da Mancha Manteigosa em campo. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 33, p. 24-30, 2009.

FERREIRA, J. B. et al. Aspectos morfológicos da colonização de *Colletotrichum gloeosporioides* em órgãos de plantas de cafeeiro e com sintomas de mancha manteigosa. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 33, n. 4, p. 956-964, jul./ago. 2009.

FREITAS, R. L. et al. *Colletotrichum gloeosporioides* e *C. boninense* associados à antracnose do café no Brasil**.** In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 7., 2011, Araxá. **Anais...** Araxá, 2011. 1 CD-ROM.

JULIATTI, F. C. et al. Agressividade e divergência genética por RAPD de isolados de *Colletotrichum gloeosporioides* coletados em lavouras cafeeiras de Minas gerais. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 22, p. 159-169, 2006.

KUMARA, K.; RAWAL, R. Influence of carbon, nitrogen, temperature and PH on the growth and sporulation of some Indian Isolates of *Colletotrichum gloeosporioides* causing Anthracnose disease of Papaya (*Carrica papaya* L). **Tropical Agricultural Research and Extension**, Sri Lanka, v. 11, p. 7-12, Apr. 2010.

LAVIOLA, B. G. et al. Alocação de fotoassimilados em folhas e frutos de cafeeiro cultivado em duas altitudes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, n. 11, p. 1521-1530, nov. 2007.

LOUREIRO, A. et al. Isoenzymatic characterization of *Colletotrichum kahawae* isolates with different levels of aggressiveness. **Tropical Plant Pathology**, Brasília, v. 36, n. 5, p. 287-293, 2011.

MARQUES, V. V. **Patogenicidade e variabilidade genética de *Colletotrichum* spp. em cafeeiro (*Coffea arabica* L.)**. 2008. 108 p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2008.

MARTINS-MAIA, F. G. et al. Pigments, total soluble phenols and lignin levels of coffeeSeedlings inoculated with *Colletotrichum gloeosporioides*. **Coffee Science**, Lavras, v. 7, n. 2, p. 152-159, maio/ago. 2012.

MCKINNEY, H. H. Influence of soil temperature and moisture on infection of wheat seedlings by *Helminthosporium sativum*. **Journal Agricultural Research**, Washington, v. 26, p. 195-217, 1923.

MENEZES, M. Aspectos biológicos e taxonômicos de espécies do gênero *Colletotrichum*. **Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agronômica**, Recife, v. 3, p. 170-179, 2006.

MILLS, P. R.; SREENIVASAPRASAD, S.; BROWN, A. E. Detection and differentiation of *Colletotrichum gloeosporioides* isolates using PCR. **FEMS Microbiology Letters**, Malden, v. 98, p. 137-143, 1992.

OROZCO MIRANDA, E. F. **Caracterização morfológica, molecular, bioquímica e patogênica de isolados de *Colletotrichum* spp. associados ao cafeeiro em Minas Gerais e comparação com *Colletotrichum kahawae***. 2003. 147 p. Tese (Doutorado em Fitopatologia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2003.

RAMPAZO, L. G. L.; MARÇAL, V. V. M.; LEITE JÚNIOR, R. P. Caracterização patogênica de isolados de *Colletotrichum spp*. obtidos de cafeeiro e outras culturas no Estado do Paraná. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 2007, Brasília. **Anais...** Brasília: EMBRAPA Café, 2007. p. 5.

SERA, G. H. et al. Correlação entre a ocorrência de *Colletotrichum* spp. e outras características agronômicas em cafeeiros. **Bragantia**, Campinas, v. 64, n. 3, p. 435-440, 2005.

SOUZA, B. O.; SOUZA, E. A.; MENDES-COSTA, M. C. Determinação da variabilidade em isolados de *Colletotrichum lindemuthianum* por meio de marcadores morfológicos e culturais. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 4, p. 1000-1006, jul./ago. 2007.

SREENIVASAPRASAD, S. et al. PCR-based detection of *Colletotrichum acutatum* on strawberry. **Plant Pathology**, Saint Paul, v. 45, p. 650-655, 1996.

SUTTON, B. C. The genus *Glomerella* and its anamorph. In: BAILEY, J. A.; JEGUER, M. J. (Ed.). ***Colletotrichum*:** biology, pathology and control. London: CBA, 1992. p. 1-26.

VARZEA, V. M. P. **Variabilidade em *Colletotrichum* spp. de cafeeiro:** pesquisa de fontes de resistência ao *C. Kahawae*. 1995. 128 p. Dissertação (Mestrado em Investigador Auxiliar) - Instituto de Investigação Cientifica Tropical, Lisboa, 1995.

YAKOBY, N. et al. pH regulation of pectate lyase secretion modulates the attack of *Colletotrichum gloeosporioides* on avocado fruits. **Applied and Environmental Microbiology**, Washington, v. 6, p. 1026-1030, 2000.

VARIABILIDADE ESPACIAL DE ATRIBUTOS FÍSICOS: RELAÇÃO COM RELEVO, MATÉRIA ORGÂNICA E PRODUTIVIDADE EM CAFÉ CONILON

Diego Lang Burak[1], Danilo Andrade Santos[2], Renato Ribeiro Passos[3]

(Recebido: 10 de dezembro de 2015; aceito: 03 de junho de 2016)

RESUMO : Atributos do solo podem ser influenciados pelo relevo gerando zonas de produtividade homogêneas. Partindo-se dessa hipótese, foram identificados grupos de atributos do solo, sua variabilidade espacial, assim como sua relação com a produtividade e relevo, utilizando conjuntamente a Análise de Fatores (AF) e a geoestatistica. O estudo foi realizado em um Latossolo Vermelho-Amarelo cultivado com café Conilon no Estado do Espírito Santo. A AF permitiu agrupar no fator 1 (F1) atributos relacionados à agregação do solo que não apresentou relação com relevo e produtividade. Sua variabilidade espacial foi influenciada pelo manejo como demonstrado pela menor continuidade e dependência espacial na profundidade de 0 - 0,10 m e pelo efeito pepita puro na profundidade de 0,10 – 0,20 m. A partir do fator 2 (F2), obtidos das duas profundidades, consegue-se agrupar atributos do solo relacionados à retenção de água, destacando-se os teores de argila, a microporosidade e a umidade que aumentam conjuntamente em maior altitude e menor declive onde ocorrem zonas de maior produtividade. A maior continuidade e dependência espacial do F2 sugerem a influência do relevo na sua estrutura espacial.

Termo para indexação: Geoestatística, estatística multivariada, física do solo, substâncias húmicas.

SPATIAL VARIABILITY OF PHYSICAL PROPERTIES: RELATIONSHIP WITH RELIEF, ORGANIC MATTER AND PRODUCTIVITY IN CONILON COFFEE

***ABSTRACT* :** *Soil attributes may be influenced by the relief generating homogeneous productivity zones. From this hypothesis, we identified soil attribute groups, its spatial variability and relationship with productivity and relief by Factor Analysis (FA) and geostatistics methods. The study was conducted in a Oxisol cultivated with Conilon coffee in the State of Espírito Santo. The AF group in Factor 1 (F1) attributes related to soil aggregation was not associated with relief and productivity. Its spatial variability is influenced by management as showed by the lower spatial continuity and dependence in 0 – 0.10 m depth and by pure nugget effect in 0.10 – 0.20 m depth. From the factor 2 (F2), obtained in two depths, can be grouped soil attributes related to water retention, mainly the clay, microporosity and moisture which together increase at a higher altitude and lower slope where occur higher productivity areas. The spatial variability of F2 indicates greater continuity and spatial dependence, suggesting influence of relief in the spatial variation structure.*

Index terms: *Geoestatistical, multivariate analysis, soil physics, humic substances.*

1 INTRODUÇÃO

Componentes do solo, em especial as substâncias húmicas e as frações granulométricas, apresentam relação com propriedades físicas como a agregação, porosidade e retenção de água do solo (CARDUCCI et al., 2011; FONTANA et al., 2010; PASSOS et al., 2008). O manejo do solo e seu relevo podem influenciar na variabilidade espacial dessas propriedades e consequentemente na variação da produtividade em uma área. Cambardella et al. (1994) classificam as fontes de variabilidade espacial no solo como extrínsecas, quando relacionadas a atividades de manejo (aração e gradagem, rotação de culturas, uso de adubos e corretivos, manejo de restos culturais, entre outros) ou intrínsecas, quando relacionadas aos fatores de formação do solo (clima, material de origem, relevo, organismo e tempo). O relevo por sua vez condiciona processos de erosão, transporte e deposição que geram regiões com diferentes características (SANCHEZ et al., 2009), mesmo sob pequenas variações no declive (CEDDIA et al., 2009), seja sob atributos físicos ou químicos (SANCHEZ et al., 2005).

Por outro lado, a variação da produtividade em uma área é afetada por outros fatores como clima, diversidade genética e manejo, pragas, doenças, assim como pela interação desses fatores, tornando-os de difícil avaliação. Em consequência dessa variação, a produtividade dentro de uma área de produção agrícola pode ser dividida em zonas homogêneas que demandam um manejo específico (CAMBARDELLA et al., 1994; SILVA et al., 2010). A separação dessas zonas pode ser auxiliada pelo estudo da variabilidade espacial dos atributos do solo a partir da geoestatística (BOTTEGA et al., 2013; CAMPOS et al., 2014).

Diversos estudos com atributos do solo integram o uso da estatística multivariada com a estatística espacial (ALMEIDA; GUIMARÃES, 2016; BORŮVKA et al., 2007; RIBEIRO et al.,

[1,2,3]Universidade Federal do Espírito Santo - Centro de Ciências Agrárias e Engenharias - Campus Alegre - Departamento de Produção Vegetal - 29.500-000 - Alegre-ES - dlburak@hotmail.com, danilo_as@live.com, renatoribeiropassos@hotmail.com

2013; SILVA et al., 2010) como forma de melhor entender a relação entre relevo, atributos do solo e zonas homogêneas de produtividade. Trabalhos dessa natureza se direcionaram ao estudo da relação entre atributos químicos do solo e a produção do café Conilon (FERRAZ et al., 2012; SILVA et al., 2008, 2010), sendo mais escassos os que enfocam interação relevo e atributos físicos e sua consequência na produtividade (CARVALHO et al., 2013; SANCHEZ et al., 2013; SILVA; LIMA, 2013).

Contudo os atributos físicos do solo são determinantes para o adequado desenvolvimento de plantas, pois definem a distribuição dos sólidos e vazios do solo (FERREIRA, 2009) com consequências sobre fenômenos fundamentais à produtividade agrícola, tais como a dinâmica dos fluídos no solo, o crescimento de raízes, e inclusive o fornecimento de nutrientes às plantas (LETEY, 1985).

Diante do exposto e pressupondo que o relevo, representado por um segmento da paisagem localizado no terço superior e médio da encosta, influencia nos atributos do solo e na produtividade do café Conilon, o presente trabalho teve como objetivo identificar grupos de atributos do solo relacionados com a produtividade e relevo, a partir do estudo de sua variabilidade espacial utilizando conjuntamente a Análise de Fatores e a geoestatistica.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado na Fazenda Experimental Bananal do Norte, área pertencente ao Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural (INCAPER), no município de Cachoeiro de Itapemirim, Sul do Estado do Espírito Santo. Para a realização do estudo selecionou-se uma área de 0,89 ha, delimitada entre latitudes de 20°45’17,43”S e 20°45’17,73”S e longitudes de 41°17’11,26”W e 41°17’6,62”W, com cultivo da variedade clonal *Coffea canephora* Pierre ex A.Froehner var. Robusta Tropical - ‘Emcaper 8151’ desde 2001. A poda de produção com a distribuição de seus restos vegetais sobre o solo é realizada anualmente após a colheita (meados de junho) buscando manter, aproximadamente, 12.000 hastes por hectare na área experimental. O manejo da adubação é feito com aplicação de 130 gramas por planta do formulado 20-00-20 (uréia e cloreto de potássio) e uma aplicação de 80 gramas por planta de super fosfato simples. A calagem é realizada por planta anualmente no período entre agosto e outubro (após a colheita) sendo a dose calculada com base na análise de solo e na recomendação para o Estado do Espírito Santo (PREZOTTI et al., 2007). Esta mesma forma de manejo é realizada anualmente desde 2006, com os mesmos períodos de colheita, adubação e poda. O espaçamento da cultura é de 2,90 x 0,9 m, o manejo fitossanitário é regularmente realizado e a lavoura é conduzida sem irrigação.

Obteve-se informações da altitude a partir de GPS topográfico de alta precisão modelo GTR-1 nos pontos georreferenciados de coleta, totalizando 109 pontos para geração do Modelo Digital de Elevação, juntamente com curvas de nível de 2 metros para caracterização do relevo a partir da declividade e altitude (Figura 1).

Para checagem da classe de solo dentro da área de estudo, foram classificados dois perfis pedológicos segundo Lemos e Santos (1996) em duas posições do relevo: maior declividade (48,3%) e menor altitude (109 m) e menor declividade (1,2%) e maior altitude (117 m) (Figura 1b). A área apresenta vertente voltada para face de exposição norte/nordeste. Os dois perfis foram classificados como Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico com atributos semelhantes. Nos horizontes superficiais, o solo apresenta condições de melhor fertilidade pelo efeito de adubação e calagem usado na área. A amostragem do solo foi realizada em janeiro de 2010 em malha irregular (Figura 1a) na qual foram distribuídos pontos separados com distância variando entre 2,9 a 10 metros, representados por plantas de café georreferenciadas (GPS topográfico modelo GTR-1) totalizando 109 pontos onde se coletaram amostras de solos deformadas, indeformadas e preservadas no formato de torrões na profundidade de 0 – 0,10 e 0,10 – 0,20 m. As amostras deformadas foram retiradas em quatro locais no entorno de uma planta de café georreferenciada (40 a 50 cm do caule, na projeção da copa) com auxílio de enxadão para formação de uma amostra composta. Ao mesmo tempo, coletaram-se as amostras preservadas em torrões com auxílio do enxadão em quatro pontos de amostragem. Foi coletada também em cada ponto de amostragem, uma amostra indeformada com o auxilio de anéis de aço de bordas cortantes com dimensões médias de 4,3 cm de altura e 2,37 cm de raio (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA, 2011), que foram introduzidos no solo com auxílio de um amostrador tipo Uhland.

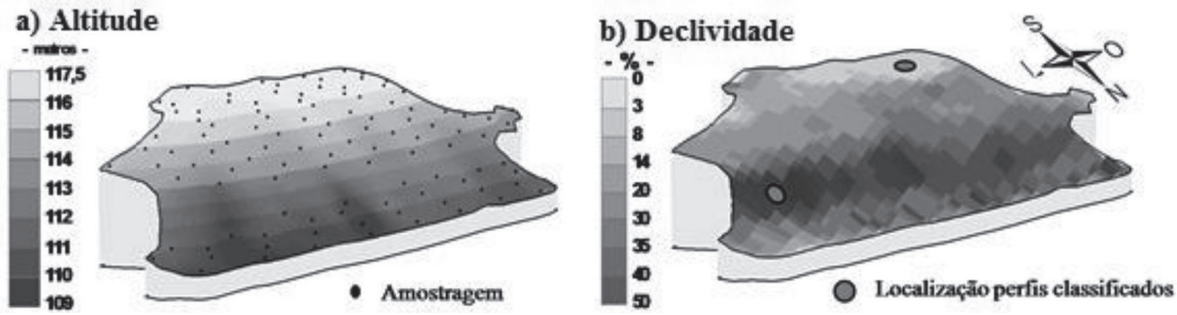

FIGURA 1 - Modelo Digital de Elevação da área de estudo com informações de altitude (a) e declividade (b), pontos de amostragem e localização dos perfis pedológicos, Fazenda Experimental Bananal do Norte, Cachoeiro de Itapemirim - ES.

A partir das amostras deformadas nas profundidades amostradas, avaliou-se os teores de carbono orgânico total do solo (COT) e carbono das frações ácidos fúlvicos (C-FAF), ácidos húmicos (C-FAH) e humina (C-HUH) separadas com base na sua solubilidade química diferencial, e determinação do teor de C orgânico das frações húmicas por dicromatometria com aquecimento externo com base nas recomendações de Mendonça e Matos (2005). Os teores de areia grossa, areia fina, silte e argila foram determinados nas amostras deformadas nas profundidades de 0 – 0,10 e 0,10 – 0,20 m, conforme procedimentos descritos em EMBRAPA (2011), com as seguintes modificações: separação após agitação lenta a 175 rpm durante 16 h em agitador orbital.

A partir das amostras indeformadas amostradas foram avaliadas a densidade do solo (Ds), microporosidade (MiP) e macroporosidade (MaP). Estas amostras foram saturadas com água destilada e submetidas a uma sucção de 6 kPa em uma mesa de tensão para retirada da água correspondente aos macroporos. A microporosidade (MiP) foi calculada pela diferença de peso entre amostras antes e após secagem a 105˚C com retirada da água dos macroporos. A partir da diferença de MiP com a porosidade total (Pt) foi obtida a macroporosidade (MaP).

A avaliação da resistência à penetração (RSP) foi feita nas profundidades de 0,0 - 0,10 e 0,10 – 0,20 m, a partir da média de 10 avaliações ao redor da planta de café (40 a 50 cm do caule) utilizando-se um penetrômetro de impacto evitando-se locais não representativos (formigueiros, cupinzeiros, galhos em decomposição, etc). Simultaneamente e próximo à determinação da RSP, coletaram três amostras de solo nas mesmas profundidades com auxílio de sonda amostradora para determinação da umidade do solo (Ug) pelo método termogravimétrico (EMBRAPA, 2011). A RSP e Ug foram coletadas em um único dia em condições de baixa umidade visto que 25 mm de precipitação ocorreram 12 dias antes da coleta (informações do pluviômetro da Fazenda Experimental Bananal do Norte - INCAPER, Cachoeiro de Itapemirim – ES).

Com as amostras preservadas em torrões nas profundidades de 0 – 0,10 e 0,10 – 0,20 m realizou-se a análise dos agregados pelo método de peneiramento úmido, de acordo com metodologia preconizada pela EMBRAPA (2011). Os resultados do diâmetro médio geométrico (DMG) e percentagem dos agregados em 2-4 mm (AG>2) e menor que 0,25 mm (AG<0,25) foram calculados de acordo com EMBRAPA (2011) a partir dos agregados separado nos diâmetro de: 0-0,25; 0,25-0,50; 0,50-1,0;1-2; e 2-4 mm.

O café foi colhido manualmente no mês de maio de 2010 e a produção foi avaliada em cinco plantas sendo a planta do centro a georreferenciada e a partir do espaçamento entre plantas, a produtividade foi expressa em sacas por hectare. Após secagem em terreiro (aproximadamente 12% de umidade), foram coletadas 10 amostras (aproximadamente 80 gramas para cada amostra) da produção total das 5 plantas para separação visual do café chocho (ou bóia) do café cereja e verde + verdoengo (fruto esverdeado não totalmente maduro). A produtividade foi expressa em sacas ha^{-1} de grão beneficiado (cereja e verde + verdoengo). Número de hastes por plantas variou de 2 a 5 na área amostrada. Com os resultados dos atributos avaliados foram feitas análises descritivas (média, mínimo, máximo, desvio padrão e coeficiente de variação). A distribuição normal foi avaliada pela assimetria, curtose e teste de normalidade Shapiro-Wilks. Quando a distribuição normal não foi alcançada foram

efetuadas transformações logarítmicas a fim de adequar os dados à distribuição normal. Foram realizadas também análises de correlação de Pearson e Análise de Fatores (AF). A partir do método dos Componentes Principais obtiveram-se os autovalores, autovetores, cargas fatoriais e grupos de variáveis inter-relacionadas. Foram selecionados os fatores com autovalor maior que 1 e então a rotação dos fatores pelo método ortogonal Varimax (HAIR et al., 2009).

Foram utilizados os escores da Análise de Fatores para análise dos semivariogramas e interpolação pela krigagem ordinária. Para avaliação do ajuste dos semivariogramas, utilizou-se a média do erro reduzido, a variância do erro reduzido, o coeficiente de regressão (ou coeficiente angular), intercepto em y (ou coeficiente linear) da validação cruzada e seus valores observados e estimados para análise de correlação de Pearson. Com valores do efeito pepita (C_0), variância estrutural (C_1), patamar ($C_0 + C_1$) dos semivariogamas selecionados, utilizou-se a relação percentual entre $C_1/(C_0 + C_1)$ para avaliação do grau de dependência espacial (GDE): dependência espacial fraca (< 25%); moderada (25% ≤ e < 75%) e forte (≥ 75%) (BIONDI; MYERS; AVERY, 1994).

Para a obtenção dos modelos de predição da produtividade a partir de atributos do solo como variáveis independentes foram ajustadas equações com uso da regressão linear múltipla "forward stepwise", com a inserção de variáveis independentes significativas a 5% de probabilidade, pelo teste F.

A Análise de Fatores e a regressão múltipla Stepwise foram realizadas com software R (R Development Core Team , 2006). A avaliação dos semivariogramas e da krigagemordinária foi realizada com o pacote de geoestatística GeoR do software R (R Development Core Team , 2006) e os mapas interpolados foram elaborados a partir do software ArcGIS (Environmental Systems Research Institute - ESRI, 2002).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise descritiva dos atributos nas profundidades de 0 – 0,10 e 0,10 – 0,20 m são apresentada nas Tabelas 1 e 2. As variáveis silte (Sil), microporosidade (MiP), umidade em base gravimétrica (Ug), resistência do solo à penetração (RSP), argila (AG) e principalmente o diâmetro médio geométrico (DMG), não apresentaram distribuição normal conforme constatados pelos valores de assimetria, curtose e pelo teste normalidade Shapiro-Wilks a 5% de significância (Tabela 1).

Os teores médios de COT nas duas profundidades (Tabela 1 e 2) estão acima do encontrado por Effgen et al. (2008) no terço superior (10,1 g kg^{-1}) e terço médio (9,8 g kg^{-1}) na profundidade de 0 - 0,20 m em cafeeiro sob condições pedoclimáticas semelhantes e manejo da adubação química, roçadas e capinas. Os valores médios da relação FAH/FAF foram próximos a 1 (Tabela 1 e 2) indicando o favorecimento do processo de humificação e os teores de argila variaram entre 25 e 73 dag kg^{-1} (Tabela 1 e 2) sendo tal amplitude condicionada pela variação no declive, semelhante ao observado por Ceddia et al. (2009) em área de 2,84 ha.

O sistema de manejo adotado na lavoura do nosso estudo melhor se relaciona com o manejo adubação química, roçada e capina do estudo de Effgen et al. (2012), o que pode estar relacionado com os valores relativamente baixos de RSP, observado em ambos, sob condições de umidade semelhantes (Tabelas 1 e 2) e inclusive sob classes de solos e condições texturais equivalentes.

Os valores de MaP observados por nosso estudo são em média superiores aos encontrados por Effgen et al. (2012), o que pode estar relacionamento as melhores condições química do solo para o desenvolvimento de raízes e consequente produção de bioporos em função da calagem anual presente no sistema de manejo do nosso estudo, porém ausente para o manejo que destacamos como semelhante em Effgen (2012).

A participação dos agregados maiores que 2 mm (AG>2) foi, aproximadamente, 50% do total de agregados nas duas profundidades. Nunes et al. (2010), encontraram valores semelhantes em cultivo de cafeeiro com 22 anos nas profundidade de 0 – 0,10 e 0,1 – 0,20 m, alcançado valores de 70% na profundidade de 0 – 0,10 m em cafeeiro no qual houve a deposição recente de restos vegetais da poda.

Para a melhor avaliação de grupos de variáveis inter-relacionadas e sua relação com relevo e produtividade foi realizada a Análise de Fatores (AF) (Tabela 3 e 4). O atributo C-FAH/C-FAF não foi inserido na Análise de Fatores pela alta colinearidade com C-FAH e C-FAF, que prejudicaria o desempenho da AF. Em relação aos resultados na profundidade de 0 – 0,10 m, foram avaliados os quatro primeiros fatores que explicaram 79,1% da variabilidade total dos dados (Tabela 3) e que apresentaram autovalores maiores que 1 (HAIR et al., 2009).

TABELA 1 - Análise descritiva[1] dos atributos do solo[2] na profundidade de 0 – 0,10 m e da produtividade do café Conilon, em um Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico típico, Cachoeiro de Itapemirim - ES.

Variável	Média ± DP	Mín	Máx	CV%	Cs	Ck	S-W[3]
COT (g kg^{-1})	15,0 ± 5,03	2,64	30,62	35	0,44	0,02	0,407
C-FAF (g kg^{-1})	2,55 ± 0,36	1,57	3,33	14	-0,25	0,08	0,412
C-FAH (g kg^{-1})	2,80 ± 0,61	1,43	4,23	22	-0,04	-0,16	0,284
C-HUH (g kg^{-1})	8,68 ± 1,51	4,94	11,8	17	-0,49	0,00	0,181
C-FAH/ C-FAF	1,09 ± 0,28	0,51	1,95	25	0,34	0,29	0,171
ArGR (dag kg^{-1})	34,1 ± 4,50	21,5	43,6	14	0,24	-0,01	0,284
ArF (dag kg^{-1})	11,8 ± 1,67	8,42	16,9	14	0,33	-0,07	0,485
Sil (dag kg^{-1})	5,45 ± 2,97	0,42	13,8	55	1,17	0,85	0,000
Arg (dag kg^{-1})	38,5 ± 4,95	25,8	52,1	10	-0,44	0,70	0,102
MiP (m^3m^{-3})	0,25± 0,02	0,19	0,36	8	0,24	4,71	0,000
MaP (m^3m^{-3})	0,26 ± 0,04	0,16	0,33	14	0,24	0,24	0,165
Ds (kg dm^{-3})	1,25 ± 0,05	1,13	1,39	4	-0,27	0,01	0,305
Ug (dag kg^{-1})	23,7 ± 2,27	17,6	35,6	9	-0,18	4,52	0,001
RSP (MPa)	2,45 ± 0,31	1,42	3,06	11	-0,35	2,10	0,000
DMG (mm)	1,48 ± 0,20	1,08	2,14	13	0,37	0,43	0,311
AG>2 (%)	53,5 ± 8,81	32,1	82,3	17	0,28	0,48	0,513
AG<0,25 (%)	8,7 ± 2,13	2,67	15,9	24	0,73	2,61	0,001
Prod (sacas ha^{-1})	36,7 ± 14,6	10,7	74,3	38	0,36	0,37	0,274

[1]DP – desvio padrão Mín – valor mínimo; Máx – valor máximo; CV% - coeficiente de variação; Cs – coeficiente de assimetria; Ck – coeficiente de curtose; S-W – teste de normalidade Shapiro-Wilks [2] COT - carbono orgânico total; C-FAF - carbono orgânico da fração ácidos fúlvicos; C-FAH - carbono orgânico da fração ácidos húmicos; C-HUH - carbono orgânico da fração humina; ArG - areia grossa; ArF - areia fina; Arg - argila; Ds - densidade do solo; Pt - porosidade total; MiP - microporosidade; MaP- macroporosidade; Ug - umidade em base gravimétrica; RSP - resistência do solo à penetração; DMG - diâmetro médio geométrico dos agregados; AG>2,0 - percentagem de agregados entre 4 e 2 mm; AG<0,25 - percentagem de agregados menor que 0,250; e [3] Valor do p-value do teste de normalidade Shapiro-Wilks em que: se $p \leq 0,05$ (5% de probabilidade) rejeita-se a H_0, ou seja, os dados não tem distribuição normal

TABELA 2 - Análise descritiva [1] dos atributos do solo [2] na profundidade de 0,10 – 0,20 m em um Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico típico, Cachoeiro de Itapemirim - ES.

Variável	Média ± DP	Mín	Máx	CV%	Cs	Ck	S-W[3]
COT (g kg^{-1})	10,1 ± 4,06	1,99	20,3	40	0,26	-0,23	0,398
C-FAF (g kg^{-1})	2,43 ± 0,37	1,54	3,48	15	0,47	0,50	0,073
C-FAH (g kg^{-1})	2,68 ± 0,96	1,05	5,59	36	0,27	-0,30	0,092
C-HUH (g kg^{-1})	6,99 ± 1,11	4,22	9,90	16	-0,26	0,34	0,089
C-FAH/ C-FAF	1,13 ± 0,49	0,43	3,05	43	0,70	1,31	0,054
ArGR (dag kg^{-1})	30,1 ± 4,70	16,3	41,0	16	-0,21	0,44	0,317
ArF (dag kg^{-1})	11,6 ± 1,41	7,50	15,0	12	-0,02	0,08	0,549
Sil (dag kg^{-1})	5,81± 4,65	0,40	26,8	80	2,30	6,09	0,000

Continuação tabela 2

Arg (dag kg^{-1})	55,4 ± 6,71	30,3	73,3	13	-0,38	1,57	0,019
MiP (m^3m^{-3})	0,26± 0,02	0,18	0,32	9	-0,48	2,65	0,000
MaP (m^3m^{-3})	0,25± 0,05	0,15	0,37	18	0,08	-0,23	0,987
Ds (kg dm^{-3})	1,28± 0,07	1,03	1,58	5	0,54	3,74	0,001
Ug (dag kg^{-1})	24,2 ± 2,63	14,6	36,0	10	-0,72	4,07	0,102
RSP (MPa)	3,06 ± 0,71	1,83	5,01	23	0,28	-0,37	0,018
DMG (mm)	0,47 ± 0,20	0,26	1,62	43	4,03	19,6	0,000
AG>2 (%)	48,34 ± 9,51	19,6	68,5	20	-0,15	0,44	0,000
AG<0,25 (%)	16,14 ± 3,49	5,91	23,4	22	-0,40	0,14	0,000

(1)DP – desvio padrão Mín – valor mínimo; Máx – valor máximo; CV% - coeficiente de variação; Cs – coeficiente de assimetria; Ck – coeficiente de curtose; S-W – teste de normalidade Shapiro-Wilks (2) COT - carbono orgânico total; C-FAF - carbono orgânico da fração ácidos fúlvicos; C-FAH - carbono orgânico da fração ácidos húmicos; C-HUH - carbono orgânico da fração humina; ArG - areia grossa; ArF - areia fina; Arg - argila; Ds - densidade do solo; Pt - porosidade total; MiP - microporosidade; MaP- macroporosidade; Ug - umidade em base gravimétrica; RSP - resistência do solo à penetração; DMG - diâmetro médio geométrico dos agregados; AG>2,0 - percentagem de agregados entre 4 e 2 mm; AG<0,25 - percentagem de agregados menor que 0,250; e (3) Valor do p-value do teste de normalidade Shapiro-Wilks em que: se $p \leq 0,05$ (5% de probabilidade) rejeita-se a H_0, ou seja, os dados não tem distribuição normal

Na profundidade de 0,0 - 0,10 m, o fator 1 reteve 32,5% da variabilidade total dos dados originais e as maiores cargas fatoriais negativas estiveram relacionadas aos atributos C-FAF, DMG e AG > 2,00 e a maior carga fatorial positiva foi atribuída ao AG < 0,25 (Tabela 3). A Arg e o COT tiveram cargas negativas pouco expressivas no fator 1 (Tabela 3) e a maior carga negativa relacionada ao C-FAF demonstra a importância das substâncias húmicas na estabilidade dos agregados (FONTANA et al., 2010; PASSOS et al., 2008). A partir dessas observações pode-se nomear o fator 1 como "fator agregação do solo" (Tabela 3). Os escores associados ao fator 1 (fator agregação) não apresentaram correlações significativas com atributos do relevo e com a produtividade (Tabela 3).

O grupo dos atributos Ug, Arg, MiP e RSP tiveram maiores cargas negativas no fator 2 (26,3% da variância explicada), enquanto carga fatorial positiva foi observada para as variáveis ArGR e MaP (Tabela 2). O grupo de variáveis relacionada com fator 2, Ug, Arg, MiP e a RSP, indica a influência da argila no aumento da microporosidade e da umidade no solo. O teor de argila tem sido destacado como principal responsável pela retenção de água em solos mais intemperizados (CARDUCCI et al., 2011). Carvalho et al. (2013) observou, em malha amostral, que regiões com maiores teores de argila coincidem com os maiores teores de umidade observados. A mesma carga fatorial negativa para RSP e Ug , associada com a carga fatorial também negativa para o teor de argila com o fator 2 demonstram forte relação entre estes atributos.

Pode-se nomear o fator 2 como "fator retenção de água no solo", o qual obteve correlações significativas e de grau moderado, com produtividade e altitude. Os escores atribuídos ao fator 2 tiveram correlações negativas com a produtividade e altitude e positiva com declive, ou seja, locais onde a velocidade de escoamento superficial é maior devido ao declive mais acentuado, existe maior presença da fração areia grossa (CEDDIA et al., 2009), que por sua vez retém pouca água por forca capilar, limitante para a produtividade em manejo não irrigado, além de não favorecer o processo de agregação do solo. O fator 3 (13,1% da variação explicada) e o fator 4 (7,3% da variação explicada) tiveram menor participação na variação dos dados e apresentaram correlação não significativa com produtividade e atributos do relevo (Tabela 3).

Pela Análise de Fatores na profundidade de 0,10 – 0,20 m, observou-se uma menor retenção da variação total dos dados pelos quatro primeiros fatores (68%) (Tabela 4) em comparação à profundidade de 0 – 0,10 m (79%) (Tabela 3). No primeiro fator, (explicando 30,0% da variância total) o DMG, AG>2 e AG<0,25 se sobressaem podendo ser relacionada à variação da agregação do solo. Pode-se destacar uma carga fatorial significante com o C-FAH e carga fatorial fraca do COT no fator 1 (Tabela 4), indicando a participação da matéria orgânica na agregação do solo (FONTANA et al., 2010; PASSOS et al., 2008), que não apresenta relação com a produtividade (Tabela 4).

TABELA 3 - Variância explicada pelos fatores após o método de rotação ortogonal Varimax e cargas fatoriais dos atributos na profundidade de 0 – 0,10 m em um Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico típico cultivado com café Conilon, Cachoeiro de Itapemirim - ES.

	Fator 1	Fator 2	Fator 3	Fator 4	
Autovalores	5,20	4,20	2,10	1,16	
Variância (%)	32,5	26,3	13,1	7,3	Comunalidade
Variância Acumulada (%)	32,5	58,8	71,9	79,1	
Variáveis[1]		Cargas Fatoriais[2]			
COT	-0,47	0,14	0,11	**0,54**	0,544
C-FAF	**-0,72**	-0,16	-0,12	0,42	0,735
C-FAH	-0,42	0,14	0,04	0,17	0,227
C-HUH	-0,18	0,15	0,04	**0,63**	0,453
ArGR	-0,17	**0,60**	**-0,58**	-0,25	0,788
ArF	0,25	0,09	-0,43	0,17	0,284
Sil	0,06	-0,09	0,19	**0,61**	0,420
Arg	-0,38	**-0,74**	0,42	-0,07	0,873
MiP	0,02	**-0,66**	0,23	0,01	0,490
MaP	0,05	**0,84**	-0,41	-0,05	0,879
DS	0,11	-0,22	**-0,74**	-0,07	0,613
Ug	-0,09	**-0,52**	0,02	0,26	0,347
RSP	0,14	**-0,51**	**0,52**	-0,05	0,553
DMG	**-0,98**	0,10	0,00	0,04	0,972
AG>2	**-0,89**	0,10	-0,04	0,07	0,809
AG<0.25	**0,83**	-0,03	-0,01	0,07	0,695
		Correlação de Pearson[3]			
Produtividade	0,12	-0,52	0,18	0,05	
Altitude	0,13	-0,64	0,19	0,15	
Declividade	-0,19	0,37	0,17	-0,21	

[1]Idem Tabela 1; [2] Cargas fatoriais maior igual a 0,5 são significantes (Hair et al., 2009) [3] Correlação dos escores dos fatores com Produtividade, Altitude e Declividade. Significativo a 5% de probabilidade em negrito

TABELA 4 - Variância explicada pelos fatores após o método de rotação ortogonal Varimax e cargas fatoriais dos atributos na profundidade de 0,10 – 0,20 m em um Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico típico cultivado com café Conilon, Cachoeiro de Itapemirim - ES**.**

	Fator 1	Fator 2	Fator 3	Fator 4	
Autovalores	4,8	3,6	1,4	1,1	
Variância (%)	30,0	22,5	8,8	6,9	Comunalidade
Variância Acumulada (%)	30,0	52,5	61,3	68,1	
Variáveis[1]		Cargas Fatoriais[2]			
COT	-0,42	-0,21	0,06	-0,15	0,247
C-FAF	0,14	0,10	0,05	**0,57**	0,357

Continuação tabela 4

C-FAH	**-0,54**	0,14	-0,27	0,48	0,615
C-HUH	-0,20	-0,13	-0,27	-0,15	0,152
ArGR	-0,05	**0,81**	-0,17	-0,22	0,736
ArF	-0,22	**0,66**	0,05	0,09	0,495
Sil	-0,12	0,04	0,01	**-0,58**	0,353
Arg	0,13	**-0,73**	0,12	**0,50**	0,814
MiP	-0,11	-0,43	**-0,74**	-0,18	0,777
MaP	0,10	-0,02	**0,92**	-0,12	0,871
DS	-0,02	0,27	**-0,62**	0,37	0,595
Ug	-0,02	**-0,62**	-0,21	-0,07	0,434
RSP	0,24	-0,49	-0,08	0,19	0,340
DMG	**-0,90**	-0,28	0,14	0,05	0,911
AG>2	**-0,87**	0,26	-0,14	-0,05	0,847
AG<0.25	**0,88**	-0,17	0,06	-0,05	0,809
		Correlação de Pearson[3]			
Produtividade	0,13	0,19	0,15	0,10	
Altitude	-0,09	**-0,23**	0,05	0,04	
Declividade	0,17	0,02	-0,07	-0,06	

[1]Idem Tabela 1; [2] Cargas fatoriais maior igual a 0,5 são significantes (Hair et al., 2009) [3] Correlação dos escores dos fatores com Produtividade, Altitude e Declividade. Significativo a 5% de probabilidade em negrito

O fator 2 na profundidade de 0,10 – 0,20 m, explicando 22,5% da variação total, apresenta tendência semelhante do fator 2 na profundidade de 0 – 0,10 m, onde maiores cargas positivas são relacionadas a ArGR e negativas com a Arg e Ug demonstrando a relação entre teores de argila e umidade do solo nas duas profundidades avaliadas que são maiores em locais de maior altitude. A resistência a penetração (RSP) apresentou relação mais fraca com teores de argila. Os fatores 3 e 4, explicando conjuntamente 14,5% da variação dos dados, são relacionados a atributos sem relação com produtividade e relevo.

A análise geoestatística foi conduzida utilizando-se escores fatoriais atribuídos às amostras dos quatro primeiros fatores (Tabela 5) e valores de produtividade do cafeeiro (Tabela 1). Os coeficientes de assimetria desses escores variaram entre -0,11 a 0,27, de curtose entre -0,17 e 0,20 e o teste de normalidade Shapiro-Wilks não significativo confirmam a sua distribuição normal.

O semivariograma da produtividade ajustou-se ao modelo exponencial. Somente o fator 1 e 2, na profundidade de 0 – 0,10 m, e fator 2 na profundidade 0,10 – 0,20 m, puderam ser ajustados aos modelos teóricos dos semivariogramas (Tabela 5). Para os demais fatores não foi possível descrever a variabilidade espacial por meio de semivariogramas indicando que a variabilidade aleatória é superior à espacialmente estruturada (WEBSTER; OLIVER, 2007).

Os alcances indicam a distância na qual existe a continuidade espacial, de característica inerente ao atributo avaliado. O "fator agregação do solo" (fator 1) apresentou menor valor de alcance e menor grau de dependência espacial em comparação ao "fator retenção de água no solo" (fator 2) na profundidade de 0 – 0,10 m (Tabela 5). Em geral, a menor continuidade espacial, ou seja, menores valores de alcance podem ser atribuídos a fatores extrínsecos relacionados ao manejo do solo e a maior continuidade espacial e a maior dependência espacial podem ser atribuídas a fatores intrínsecos relacionados aos fatores de formação do solo (relevo, por exemplo) (CAMBARDELLA et al., 1994). Além disso, maiores valores de efeito pepita podem indicar um efeito mais aleatório da variabilidade espacial. De fato, o fator 2 (profundidade de 0 – 0,10 e 0,10 – 0,20 m) apresentou maior valor de alcance e maior grau de dependência espacial (GDE) em relação ao fator 1 (profundidade de 0 – 0,10 m) (Tabela 5).

TABELA 5 - Modelos teóricos e parâmetros estimados dos semivariogramas experimentais ajustados aos valores de escores dos quatro primeiros fatores em estudo e a estatística da validação cruzada em um Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico típico cultivado com café Conilon, Cachoeiro de Itapemirim – ES

Var	Mod [1]	Parâmetros [2]				Validação Cruzada [3]				
		C_o	$C_o + C_1$	GDE	A	Var	Média	a[4]	b[4]	r^2
PROD	EXP	585	1784	67	27	1.010	0.010	2,84	0,92	0.42
Profundidade de 0 – 0,10 m										
Fator 1	GAU	0,254	1,041	76	8,6	1,012	0,016	0,06	0,74	0,28
Fator 2	EXP	0,098	0,936	90	46	0,982	0,008	-0,01	0,79	0,48
Fator 3	EPP	------	------	------	------	------	------			------
Fator 4	EPP	------	------	------	------	------	------			------
Profundidade de 0,10 – 0,20 m										
Fator 1	EPP	------	------	------	------	------	------			------
Fator 2	EXP	0,118	0,981	88	23	1,015	0,009	0,01	0,89	0,53
Fator 3	EPP	------	------	------	------	------	------			------
Fator 4	EPP	------	------	------	------	------	------			------

[1] Modelos - EXP = exponencial; GAU = gaussiano; EPP = efeito pepita puro. [2] Co = efeito pepita; Co+C1= patamar; a = alcance; GDE = grau de dependência espacial (C1/(Co + C1)) x 100 (BIONDI; MYERS; AVERY, 1994). [3]Validação cruzada feita com a média do erro reduzido e a variância do erro reduzido e coeficiente de correlação entre dados observados e estimado da validação cruzada. [4] a = coeficiente linear , b = coeficiente angular da regressão.

Na área de estudo, o principal aporte de material orgânico é oriundo de restos vegetais das podas de produção deixados no solo e da senescência das folhas dos cafeeiros. Contudo, apesar de deixados nas entrelinhas da lavoura o material orgânico pode ser mobilizado, devido ao escoamento superficial favorecido pelo relevo mais declivoso. Tal fato possivelmente favoreceu a distribuição mais aleatória ou de menor continuidade espacial dos atributos relacionados com a matéria orgânica (fator agregação do solo), característica inerente a fatores extrínsecos da variabilidade espacial relacionado ao manejo dos restos culturais (CAMBARDELLA et al., 1994). Os fatores 3 e 4 nas duas profundidades apresentaram efeito pepita puro (EPP), indicando que a variabilidade aleatória contribui de forma mais importante que a variabilidade espacialmente estruturada.

Na Figura 2 é apresentada a distribuição espacial dos fatores que se ajustaram a semivariogramas (Tabela 5) permitindo a interpolação por meio da krigagem ordinária. De forma geral, o padrão de distribuição espacial do fator 1 na profundidade 0 – 0,10 m (fator agregação) não assemelha-se à distribuição espacial da produtividade. A distribuição espacial do fator 2 (fator retenção de água no solo) na profundidade de 0 – 10 m (Figura 2) indica que escores negativos predominam em menor altitude e maior declive. Uma mesma tendência ocorre para o fator 2 na profundidade de 0,10 – 0,20 m: em locais em maiores altitudes são encontrados maior valor de umidade e maior teor de argila.

A distribuição espacial da produtividade indica que os maiores valores ocorrem onde a declividade é menor e altitude maior (Figura 2). Nesses locais encontram-se os maiores valores das variáveis argila, microporosidade e umidade do solo, relacionados ao fator 2 nas duas profundidade avaliadas (Figura 2).

Dentre os atributos com maior contribuição no fator 2 (ArG, Arg, MiP, MaP, Ug e RSP) e melhor correlação com a produtividade (Tabela 2), destaca-se o teor de argila (Função 1). Observou-se que 18% da variação da produtividade pode ser explicada pelo teor de argila na profundidade de 0 – 0,10 m (Função 1). Os demais atributos não tiveram uma contribuição significativa para aumento do poder de predição da função, ou seja, com a inclusão de outros atributos a contribuição no poder preditivo da equação foi pouco significativa.

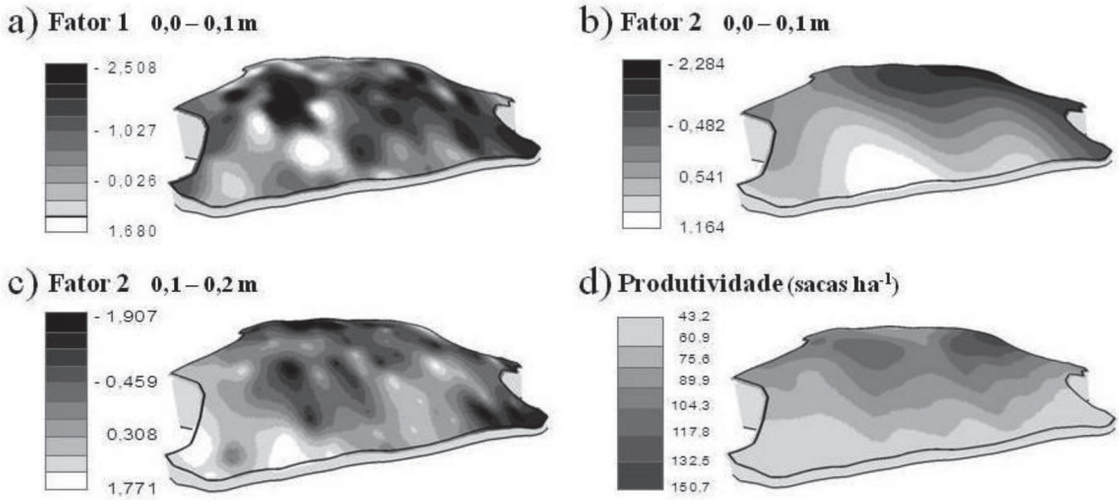

FIGURA 2 - Distribuição espacial dos escores fatoriais referente ao fator 1 (fator agregação do solo) (a) e fator 2 (fator retenção de água no solo) na profundidade de 0 - 0,1 m (b) e 0,1 - 0,2 m (c) e produtividade do café (d) em um Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico típico cultivado com café Conilon, Cachoeiro de Itapemirim - ES.

$$\text{Prod}\left(\text{sc ha}^{-1}\right) = -20{,}03 + 1{,}11\text{Arg}^{p<0{,}01} \quad R^2 = 0{,}18$$

Alguns trabalhos têm sugerido uma relação entre o teor de argila e produtividade dos cafeeiros, corroborando as observações do presente estudo. Sanchez et al. (2013), trabalhando com estatística espacial e análise de componentes principais, observaram que áreas sob maior conteúdo de argila e ferro proporcionaram maior produtividade do cafeeiro e inclusive melhor qualidade de bebida. Silva e Lima (2013) também encontraram maior correlação do teor de argila com a produtividade em cafeeiro. Já Carvalho et al. (2013) observaram que a produtividade tendia a ser maior em locais onde os teores de argila eram menores.

A relação entre atributos físicos do solo e produtividade agrícola é complexa devido a amplitude de fatores envolvidos. Ainda que os atributos físicos do solo sejam parte importante para o desenvolvimento e produtividade agrícola (LETEY, 1985), sobretudo condicionando processos de desenvolvimento de raízes e nutrição mineral, é importante ressaltar que a produtividade de plantas cultivadas é dependente de outros fatores (diversidade genética, propriedades químicas do solo, pragas, doenças) (FERRÃO et al., 2007).

Deve-se destacar a baixa precipitação mensal ocorrida em janeiro (30 mm) e fevereiro (119 mm) de 2010, época de granação, o que pode ter resultado em menor produtividade da colheita realizada em maio, principalmente nos locais com menor teor de argila e menor umidade visto que não é realizada irrigação na área de estudo.

Ressalta-se ainda que dentre a complexa interação entre os fatores envolvidos, a face de exposição tem papel preponderante, podendo afetar a variabilidade das observações, já que encosta voltadas para o equador recebem maior quantidade de luz solar (AGUILAR; HERRERO; POLO, 2010), seja em períodos diários os anuais, afetando assim o regime hídrico entre as posições da vertente, sobretudo em áreas não irrigadas. Este fato somado aos maiores teores de areia grossa, fração esta de menor superfície especifica e, portanto menor capacidade de retenção de água, na porção maior declive da paisagem, voltada para noroeste, podem por sua vez contribuir para períodos de maior déficit hídrico nesta porção da vertente, gerando não só dificuldade para o adequado suprimento hídrico às plantas, mas também podendo elevar a resistência do solo à penetração de raízes (BENGOUGH et al., 2011). Dessa forma, o relevo juntamente com o escoamento superficial, por exemplo, geram regiões com maiores teores de argila onde a declividade é menor e a altitude maior, e maiores teores de areia grossa, onde a declividade é maior e a altitude menor gerando zonas de diferentes produtividades em uma área de aproximadamente 1 ha. Em locais menos susceptíveis ao carreamento de partículas (maior altitude e menor declive), os teores de

argila são mais elevados resultando no aumento da microporosidade e favorecimento da conservação da umidade do solo, contribuindo para o aumento da produtividade do cafeeiro, principalmente em condições de menor precipitação.

4 CONCLUSÕES

O grupo de atributos relacionados à agregação do solo, com maior carga fatorial no fator 1 (diâmetro médio ponderado, percentagem de agregados maior que 2 mm, ácidos húmicos e ácidos fúlvicos) não apresentam relação com relevo e produtividade.

O fator 2 consegue agrupar atributos do solo relacionados à retenção de água nos quais destacam-se os teores de argila, microporosidade e umidade, que aumentam conjuntamente em maior altitude e menor declive onde ocorrem zonas de maior produtividade.

A variabilidade espacial do fator 1 (associado à agregação do solo) apresentam menor continuidade espacial e dependência espacial que do fator 2 (associado a retenção de água no solo) evidenciando fatores intrínsecos (relevo, por exemplo) condicionando a estrutura de variabilidade espacial do fator 2.

O teor de argila se sobressai com maior influência na produtividade do café Conilon dentre os atributos relacionados ao fator 2 (retenção de água no solo).

5 AGRADECIMENTOS

À CAPES pelo auxílio financeiro junto ao Programa Nacional de Pós Doutorado/ PNPD e ao INCAPER pela concessão da área de estudo.

6 REFERÊNCIAS

AGUILAR, C.; HERRERO, J.; POLO, M. J. Topographic effects on solar radiation distribution in mountainous watersheds and their influence on reference evapotranspiration estimates at watershed scale. **Hydrology Earth System Sciences**, Göttingen, v. 14, n. 12, p. 2479-2794, Dec. 2010.

ALMEIDA, D. A. S.; GUIMARÃES, E. C. Geoestatística e análise fatorial exploratória para representação espacial de atributos químicos do solo, na cafeicultura. **Coffee Science**, Lavras, v. 11, n. 2, p. 195-203, abr./jun. 2016.

BENGOUGH, A. G. et al. Root elongation, water stress and mechanical impedance: a review of limiting stresses and beneficial root tip traits. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 62, n. 1, p. 59-68, Jan. 2011.

BIONDI, F.; MYERS, D. E.; AVERY, C. C. Geostatistically modeling stem size and increment in an old-growth forest. **Canadian Journal of Forest Research**, Ottawa, v. 24, n. 7, p. 1354-1368, July 1994.

BORŮVKA, L. et al. Forest soil acidification assessment using principal component analysis and geostatistics. **Geoderma**, Amsterdam, v. 140, n. 4, p. 374-382, Aug. 2007.

BOTTEGA, E. L. et al. Variabilidade espacial de atributos do solo em sistema de semeadura direta com rotação de culturas no cerrado brasileiro. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 44, n. 1, p. 1-9, jan./mar. 2013.

CAMBARDELLA, C. A. et al. Field-scale variability of soil properties in Central Iowa Soils. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v. 58, n. 4, p. 501-1511, July/Aug. 1994.

CAMPOS, M. C. C. et al. Distribuição espacial da resistência do solo à penetração e teor de água do solo em uma área de agrofloresta na região de Humaitá, AM. **Comunicata Scientiae**, Bom Jesus, v. 5, n. 4, p. 509-517, out./dez. 2014.

CARDUCCI, C. E. et al. Modelagem da curva de retenção de água de latossolos utilizando a equação duplo van Genuchten. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, n. 1, p. 77-86, jan./fev. 2011.

CARVALHO, L. C. C. et al. Variabilidade espacial de atributos físicos do solo e características agronômicas da cultura do café. **Coffee Science**, Lavras, v. 8, n. 3, p. 265-275, jul./set. 2013.

CEDDIA, M. B. et al. Topography and spatial variability of soil physical properties. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 66, n. 3, p. 338-352, maio/jun. 2009.

EFFGEN, T. A. M. et al. Atributos químicos do solo e produtividade de lavouras de cafeeiro conilon submetidas a diferentes tratos culturais no sul do Estado do Espírito Santo. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 24, n. 2, p. 7-18, abr./jun. 2008.

_____. Propriedades físicas do solo em função de manejos em lavouras de cafeeiro conilon. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 59, n. 3, p. 414-421, maio/jun. 2012.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro: CNPS, 2011. 230 p.

ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE. **ArcGIS professional GIS for the desktop**. Version 8.3. Redland, 2002.

FERRÃO, R. G. et al. **Café Conilon**. Vitória: INCAPER, 2007. 702 p.

FERRAZ, G. A. E. S. et al. Variabilidade espacial e temporal do fósforo, potássio e da produtividade de uma lavoura cafeeira. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 32, n. 1, p. 140-150, jan./fev. 2012.

FERREIRA, M. M. Caracterização física do solo. In: LIER, Q. J. van (Ed.). **Física do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2010. p. 1-27.

FONTANA, A. et al. Índices de agregação e a relação com as substâncias húmicas em solos de tabuleiros costeiros. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Viçosa, v. 5, n. 3, p. 291-297, jul./set. 2010.

HAIR, F. J. et al. **Análise multivariada de dados**. 6. ed. Porto Alegre: Bookman, 2009. 688 p.

LEMOS, R. C.; SANTOS, R. D. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 3. ed. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1996. 84 p.

LETEY, J. Relationship between soil physical properties and crop reduction. **Advances in Soil Science**, Bushland, v. 31, n. 1, p. 277-294, 1985.

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

NUNES, L. A. P. L. et al. Atributos físicos do solo em área de monocultivo de cafeeiro na zona da mata de Minas Gerais. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 26, n. 1, p. 71-78, jan./fev. 2010.

PASSOS, R. R. et al. Substâncias húmicas, atividade microbiana e carbono orgânico lábil em agregados de um Latossolo vermelho distrófico sob duas coberturas vegetais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 5, p. 1119-1129, set./out. 2008.

PREZOTTI, L. C. et al. **Manual de recomendação de calagem e adubação para o Estado do Espírito Santo:** 5ª aproximação. Vitória: SEEA/INCAPER/CEDAGRO, 2007. 305 p.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. **R:** a language and environment for statistical Computing. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2006.

RIBEIRO, M. C. et al. Multivariate geostatistical methods for analysis of relationships between ecological indicators and environmental factors at multiple spatial scales. **Ecological Indicators**, Kiel, v. 29, p. 339-347, June 2013.

SANCHEZ, M. G. B. et al. Delineation of specific management areas for coffee cultivation based on the soil relief relationship and numerical classification. **Precision Agriculture**, New York, v. 14, n. 2, p. 201-214, Apr. 2013.

SANCHEZ, R. B. et al. Variabilidade espacial de atributos do solo e de fatores de erosão em diferentes pedoformas. **Bragantia**, Campinas, v. 68, n. 4, p. 873-884, out./dez. 2009.

_____. Variabilidade espacial de propriedades de Latossolo e da produção de café em diferentes superfícies geomórficas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 9, n. 4, p. 489-495, out./dez. 2005.

SILVA, F. M. et al. Variabilidade espacial de atributos químicos e produtividade da cultura do café em duas safras agrícolas. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 1, p. 231-241, jan./fev. 2008.

SILVA, S. A. et al. Variabilidade espacial de atributos químicos de Latossolo vermelho-amarelo húmico cultivado com café. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, n. 1, p. 15-22, jan./fev. 2010.

SILVA, S. A.; LIMA, J. S. S. Atributos físicos do solo e sua relação espacial com a produtividade do café arábica. **Coffee Science**, Lavras, v. 8, n. 4, p. 395-403, out./dez. 2013.

WEBSTER, R.; OLIVER, M. A. **Geostatistics for environmental scientists**. 2nd ed. Chichester: Wiley, 2007. 325 p.

MARGEM DE LUCRO PROPORCIONADA PELA APLICAÇÃO DE UM FERTILIZANTE NPK EM DIFERENTES NÍVEIS EM CAFEEIROS IRRIGADOS

Diego Humberto de Oliveira[1], Rubens José Guimarães[2], Luiz Gonzaga de Castro Junior[3], Douglas Ramos Guelfi Silva[4], Gabriel Mendes Villela[5], Fabrício Teixeira Andrade[6]

(Recebido: 20 de janeiro de 2016; aceito: 23 de maio de 2016)

RESUMO: O despreparo gerencial herdado da antiga regulamentação do setor cafeeiro tem interferido nos resultados econômicos da produção. Ao longo dos ciclos produtivos as quantidades de fertilizantes são alteradas sem as devidas recomendações técnicas, podendo inviabilizar economicamente a produção. O produtor, portanto, demanda informações para agir estrategicamente sobre seu negócio. Objetivou-se com este trabalho, analisar a margem de lucro proporcionada pela aplicação de um fertilizante NPK em diferentes níveis em cafeeiros irrigados. As análises contemplaram as safras 2012/2013 e 2013/2014 de um experimento conduzido na Universidade Federal de Lavras. Seu delineamento foi em blocos ao acaso, com seis tratamentos e quatro repetições, sendo seis níveis de adubação com um fertilizante contendo N, P_2O_5 e K_2O que foram de 10, 40, 70, 100, 130 e 160% da recomendação de adubação padrão para cafeeiros de sequeiro. Houve efeito significativo dos níveis de adubação sobre a produtividade no biênio, e a produção máxima foi alcançada com a aplicação do fertilizante no nível de 145,57% da recomendação padrão. A produção ótima econômica ocorreu com a aplicação no nível de 118,12%. As produções máxima e ótima econômica no biênio, geraram uma margem bruta de R$ 18.205,73 por hectare (ha) e R$ 19.127,81/ha respectivamente, considerando apenas os custos do fertilizante que foi o fator variável.

Termos para indexação: Análise econômica de experimentos, margem de lucro, fertilizante.

PROFIT MARGIN PROVIDED BY APPLICATION OF A FERTILIZER NPK AT DIFFERENT LEVELS IN COFFEE PLANTS IRRIGATED

ABSTRACT: *The lack of management preparation inherited down from past regulations interferes in economic results of production. During the productive cycles the quantity of fertilizers are effected without the technical recommendations, which may economically render the production. The product, therefore, demands information to act strategically on its own business. The main objective for this project was analyzed the profit margin provided by application of a fertilizer NPK at different levels in coffee plants irrigated. The analyses contemplated the harvests of 2012/2013 and 2013/2014 of an experiment carried out at the Federal University of Lavras (UFLA). The outlining was made in random blocks with six treatments and four repetitions, being six levels of fertilization with fertilizers containing N, P_2O_5 e K_2O that were from 10, 40 ,70 ,100 ,130 and 160% of recommended standards for coffee producers of dry farming. There was a significant effect from the levels of fertilizers in effect in relation with the productivity on the biennium, and the maximum production was reached with the application of the fertilizer on the level of 145,57% of the recommended standard. The optimal economic production occurred with the application on the level of 118,12%. The economic maximum and optimal productions on the biennium generated a gross margin of R$ 18.205,73/ha and R$ 19.127,81/ha respectively, considering only the costs of fertilizers that was the variable factor.*

Index terms: *Economic analysis of experiments, profit margin, fertilizer.*

1 INTRODUÇÃO

A antiga regulamentação do setor cafeeiro implicou em alguns efeitos secundários indesejáveis na produção brasileira, que ainda perduram em muitas unidades produtivas. Apesar de ter sido encerrada com o fim do Acordo Internacional do Café (AIC) em 1989, o despreparo gerencial ainda interfere nos resultados econômicos.

Apesar das vantagens comparativas do Brasil sobre a produção, problemas relacionados ao câmbio, à evolução sistêmica dos custos de produção e às oscilações dos preços do café, direcionam muitos produtores a tomarem decisões não planejadas visando à garantia de sua rentabilidade. Eles alteram as quantidades de fatores produtivos ao longo dos ciclos de produção na tentativa de minimizar possíveis reduções nas margens de lucro, ou alavancá-las, diante da conformação do mercado. Um exemplo é que as quantidades de fertilizantes são alteradas sem as devidas recomendações técnicas, podendo inviabilizar economicamente a produção.

As tomadas de decisão dos agricultores baseiam-se em critérios como disponibilidade de recursos, lucro e riscos. Desta forma as recomendações baseadas apenas nas relações físicas extraídas de experimentos podem não

[1,2,3,5,6]Agência de Inovação do Café/InovaCafé/UFLA - Cx. P. 3037- 37.200-000 - Lavras - MG – diego_cim@yahoo.com.br, rubensjg@dag.ufla.br, gonzaga.ufla@gmail.com, gabriel_villela_13@hotmail.com,fabriciocim@yahoo.com.br
[4] Universidade Federal de Lavras/UFLA - Departamento de Ciências do Solo/DCS - Cx. P. 3037- 37.200-000 Lavras - MG - douglasguelfi@dcs.ufla.br

atender à exigência dos agricultores, confirmando que as análises produtivas relacionadas com análises econômico-financeiras constituem ferramentas fundamentais na verificação da viabilidade da nova tecnologia.

A análise econômica de experimentos contrasta as informações sobre eficiência técnica e eficiência alocativa para auxiliar a gestão no campo. A eficiência técnica é uma medida que relaciona a combinação ótima de recursos para a obtenção da produção máxima. Já a eficiência alocativa é uma medida que indica a maneira como a empresa aloca uma combinação ótima de insumos para produção. Neste caso o objetivo passa a ser o lucro máximo, e os recursos são alocados de acordo com os preços de mercado.

Para conciliar as informações sobre eficiência técnica e eficiência alocativa, a análise econômica pode ser realizada por meio da teoria da produção. Diversas condições podem ser encontradas ao contrastar os níveis de produção e os preços dos fatores produtivos em relação aos preços de venda do produto final (ou receita média). Pela teoria da produção, os recursos utilizados por determinado processo produtivo são classificados quanto ao seu comportamento em diferentes volumes de produção (fixos e variáveis), e são diretamente influenciados pelo período de análise ou tempo de produção. As análises ainda podem ser determinadas pela definição da relação Fator – Produto.

A relação Fator-Produto analisa a influência de um dado recurso ou insumo sobre a produção de um bem. Ressalta-se que a quantidade a ser obtida de determinado produto depende da combinação de insumos em um período de tempo ao considerar a tecnologia adequada. Assim, nestas análises os demais fatores são considerados constantes e em suas quantidades técnicas exigidas. Esta relação pode ser observada no trabalho de Vilas Boas et al. (2008), que avaliaram economicamente a produção de duas cultivares de alface tipo crespa em função de lâminas de irrigação.

A função de produção ou função de resposta de uma cultura é um dos principais indicativos para tomada de decisão de uma empresa agrícola. A função de produção mostra a quantidade física obtida do produto a partir da quantidade física utilizada dos fatores de produção em determinado período de tempo.

Estas funções podem ser estimadas por meio de uma análise de regressão, entre uma variável dependente e uma ou várias variáveis independentes, segundo um determinado modelo que pretende representar um sistema de produção.

A partir das funções de produção são determinadas as relações físicas da produção, denominadas Produto Físico Total (PFT), Produto Físico Médio (PFMe) e Produto Físico Marginal (PFMa). Elas caracterizam os diferentes níveis da produção de acordo com as mudanças na utilização dos recursos (coeficientes técnicos), o que permite interpretar os resultados em função dos vetores de preços envolvidos no processo.

Uma função de produção pode ser dividida em três estágios. No estágio I, o PFMa é maior que o PFMe, sendo ambos positivos. Este estágio é considerado antieconômico ou irracional, pois a proporção dos fatores mantidos constantes no experimento em relação ao fator variável está elevada, caracterizando uma subutilização do fator variável.

O estágio II inicia quando o PFMa é igual ao PFMe. Ao longo deste estágio o PFMa é menor que o PFMe, mas ainda é positivo. O PFMe é decrescente e a elasticidade de produção é maior do que zero e menor do que um. Esse estágio termina no ponto em que o PFT é máximo e, consequentemente, o PFMa é igual a zero. O estágio II de produção é considerado racional.

No estágio III o PFMa se torna negativo. Neste momento a proporção do fator variável em relação à quantidade dos fatores mantidos constantes se torna demasiadamente elevada, demonstrando uma superutilização do fator variável. Neste estágio a produção também é considerada antieconômica ou irracional.

Objetivou-se com este trabalho, analisar a margem de lucro proporcionada pela aplicação de um fertilizante NPK em diferentes níveis em cafeeiros irrigados. Foi adotada a análise econômica de experimentos por meio da função de produção. A análise econômica se baseou na relação fator-produto, onde apenas o fertilizante formulado composto por fontes de nitrogênio (N), fósforo (P_2O_5) e potássio (K_2O) apresentou variações, sendo os demais fatores mantidos constantes.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em Lavras-MG, em área do setor de Cafeicultura/InovaCafé na Universidade Federal de Lavras (UFLA) durante as safras 2012/2013 e 2013/2014.

O município de Lavras está localizado na Região Sul de Minas a uma altitude média de 910 metros, latitude 21º 14’ 16’’ e longitude 45º 00’ 00’’ W. O clima da região é considerado como

Cwa de acordo com a classificação climática de Köppen-Geiger, com inverno seco e temperatura do mês mais quente maior que 22ºC. Em série de dados de 14 anos, entre 1991 e 2004, a temperatura média anual observada foi de 20,4ºC, variando de 17,1ºC em julho a 22,8ºC em fevereiro. A evapotranspiração potencial (ETP) foi de 956 mm, e a evapotranspiração real (ETR) 873 mm. A precipitação anual média foi de 1.460 mm (DANTAS; CARVALHO; FERREIRA, 2007).

O experimento foi implantado em março de 2010 com mudas de cafeeiro da cultivar Topázio MG-1190, com espaçamento de 2 metros entre linhas e 60 centímetros entre plantas nas linhas (2,0 X 0,60 metros), ocupando uma área total de 691,2 m^2.

O solo da área experimental foi classificado como Latossolo Vermelho-escuro distroférrico, de textura argilosa. As amostras para análise física e química foram coletadas na profundidade de 0 a 20 centímetros do perfil do solo.

Foi utilizado o delineamento em blocos ao acaso, com seis níveis de adubação para os nutrientes N, P_2O_5 e K_2O (tratamentos) e quatro repetições (blocos), totalizando vinte e quatro parcelas. Cada parcela foi composta de vinte e quatro plantas, sendo seis úteis.

Os tratamentos se caracterizaram pelos níveis de adubação utilizados, em valores percentuais, que foram de 10, 40, 70, 100, 130 e 160% da adubação padrão, de acordo com "Recomendações para o uso de Corretivos e Fertilizantes em Minas Gerais", 5ª Aproximação. Como a recomendação de adubação para cafeeiros irrigados ainda é conflitante entre pesquisadores, foi adotado o padrão para cafeeiros de sequeiro. A recomendação para o nível de 100% se baseou nas análises de solo para as safras 2012/2013 e 2013/2014.

Os fertilizantes foram aplicados pela água de irrigação em doze parcelamentos a cada safra, segundo recomendações de Sobreira et al. (2011). O sistema de fertirrigação no experimento constou de uma unidade central de controle (sistema de bombeamento, filtros de areia e tela, injetor de fertilizantes, manômetros e conexões), linha principal de tubos PVC PN80, linhas de derivação de PVC PN40, linhas laterais com tubo flexível de polietileno PN40, gotejadores e registros. Os gotejadores (vazão nominal de 3,8 $L.hora^{-1}$) foram espaçados de 30 em 30 centímetros na linha, formando uma faixa molhada ao longo da fileira de plantas. O controle da irrigação foi feito por meio de dados climatológicos diários monitorados por uma estação meteorológica automática instalada nas proximidades da área do experimento.

As fontes de nutrientes correspondentes ao nitrogênio (N), fósforo (P_2O_5) e potássio (K_2O) foram: ureia (45% N), monoamônio fosfato (MAP) e nitrato de potássio (KNO_3). Além dos macronutrientes, foram aplicados o sulfato de magnésio (Mg), ácido bórico (B), sulfato de cobre (Cu) e sulfato de zinco (Zn). Os micronutrientes foram aplicados somente em pulverizações e sem variações de doses, seguindo as recomendações da 5ª Aproximação.

Quanto às análises estatísticas, foi realizada a análise de variância dos dados de produção considerando o somatório dos resultados das safras 2012/2013 e 2013/2014. Visto que estas foram a 2ª e 3ª safras do experimento, os cafeeiros ainda se encontravam em crescimento e não indicaram bienalidade na produção. A variação nos níveis de adubação foi iniciada após o período de formação dos cafeeiros, ou seja, não houve influência da adubação na produção da primeira safra, que foi desconsiderada.

De acordo com a significância da análise de variância, os dados foram submetidos à análise de regressão entre os tratamentos utilizando o programa estatístico "R", versão 3.0.2.

Para a análise econômica, foi estabelecida uma formulação padrão para os macronutrientes N e K de acordo com as necessidades indicadas pela análise de solo para a safra 2012/2013; e outra formulação padrão, para N, P e K, de acordo com a análise de solo para a safra 2013/2014. De acordo com as condições experimentais, posteriormente estas formulações foram agrupadas em apenas um fertilizante formulado NPK. Este fertilizante formulado representou o fator variável da análise, e as devidas ponderações para análise econômica foram adotadas.

Na safra 2012/2013, o suprimento de nitrogênio ocorreu principalmente com a aplicação de ureia, enquanto o suprimento de potássio ocorreu por meio do nitrato de potássio (KNO_3). Estes fertilizantes participaram em 50,18% e 49,82%, respectivamente, na composição da recomendação padrão de adubação (nível de 100%). Já na safra 2013/2014, além destes fertilizantes, o solo demandou o suprimento de fósforo, que foi fornecido pelo monoamônio fosfato (MAP). Ureia, KNO_3 e MAP corresponderam a 53,93%, 37,69% e 8,37%, respectivamente, na composição da recomendação padrão de adubação. As quantidades de fertilizante nos seis níveis de adubação para as safras 2012/2013 e 2013/2014, e o somatório das safras, estão expressos na Tabela 1.

TABELA 1 - Quantidades de fertilizantes em kg.hectare^{-1} nas safras 2012/2013 e 2013/2014 e quantidade acumulada nas duas safras.

Tratamentos	2012/2013	2013/2014	Somatório
10%	105,04	185,09	290,13
40%	420,16	740,38	1.160,54
70%	735,27	1.295,66	2.030,94
100%	1.050,39	1.850,95	2.901,34
130%	1.365,51	2.406,23	3.771,74
160%	1.680,62	2.961,52	4.642,14

A proporção de cada componente da formulação foi utilizada para obter os preços médios ponderados dos formulados, que se basearam nos preços praticados entre setembro de 2012 e agosto de 2013 (safra 2012/2013) para a primeira formulação, e os preços praticados entre setembro de 2013 a agosto de 2014 (safra 2013/2014) para a segunda. Em seguida, foi determinado um preço médio ponderado do fertilizante formulado NPK para todo o período analisado, fazendo correspondência à quantidade acumulada nas duas safras. Foi utilizado o banco de dados da Companhia Nacional de Abastecimento (Conab) referente aos preços médios da ureia, KNO_3 e MAP, que se referem aos preços praticados no Estado de Minas Gerais.

O preço de venda do café correspondeu à média aritmética simples dos valores praticados entre setembro de 2012 e agosto de 2014 na Cooperativa Regional dos Cafeicultores de Guaxupé (Cooxupé). Optou-se por estes preços pela expressividade desta organização no setor cafeeiro, já que a Cooxupé é a maior cooperativa de café do mundo e está presente em regiões produtoras expressivas do Brasil.

A análise econômica foi realizada de acordo com a fundamentação da teoria da produção. Considerou-se a função de produção baseada na relação fator-produto, onde um fator produtivo é variável e os demais fatores são mantidos constantes. Foram analisadas as relações físicas da produção representadas pelo Produto Físico Marginal (PFMa), Produto Físico Total (PFT) e Produto Físico Médio (PFMe).

O PFMa graficamente representa a inclinação da função de produção em um determinado nível do fator variável. Ele é encontrado ao realizar a derivada de primeira ordem da função de produção, de acordo com a equação $PFMa_{x1} = \partial y / \partial x_1$, em que $PFMa_{x1}$ é o Produto Físico Marginal, e $\partial y / \partial x_1$ a derivada de primeira ordem da equação de produção. O PFMa mede o efeito sobre a produção por uma variação unitária do fator variável, caracterizando a lei dos rendimentos decrescentes (RENNÓ et al., 2008).

Como no ponto máximo de uma função a sua derivada é igual a zero, ao se igualar o PFMa à zero encontra-se o PFT. Este ponto representa a máxima eficiência técnica do experimento.

O Produto Físico Médio (PFMe), que se expressa pela relação entre a quantidade produzida e a quantidade de recurso utilizado, é obtido pela equação $PFMe_{x1} = y / x_1$, em que $PFMe_{x1}$ é o Produto Físico Médio, y é a quantidade produzida e x_1 a quantidade do insumo variável.

Além destas variáveis produtivas foi analisada a quantidade ótima do fator produtivo, obtida quando a derivada de primeira ordem da função de produção é igualada à razão entre o preço médio do fator variável (P_x) e o preço do produto (P_y), obtida pela equação $\partial y / \partial x_1 = P_x / P_y$, em que $\partial y / \partial x_1$ é a derivada de primeira ordem da equação de produção, P_x é o preço médio do fator variável e P_y é o preço do produto.

Com esta informação, foi obtida a respectiva produção ótima econômica (P_{Econ}) pela substituição da quantidade ótima da adubação na função de produção. Esta informação representa a eficiência alocativa.

Além das informações sobre as relações físicas da produção, foram determinadas as margens brutas sobre a eficiência técnica (PFT) e a eficiência alocativa (P_{Econ}). A análise da margem bruta sobre os resultados da função de produção ocorreu por meio da equação $MB = (P_y * y) - (P_x * x) - k$, em que MB é a Margem Bruta, P_y o preço unitário do produto, y a quantidade produzida, P_x o preço unitário do fator variável, x a quantidade do fator variável e k os custos dos fatores mantidos constantes. A constante k expressa na fórmula da

margem bruta foi desprezada, uma vez que os custos dos fatores mantidos constantes foram os mesmos tanto para a produção máxima quanto para a produção ótima econômica. Desta forma, a margem bruta deve ser interpretada como a receita total obtida com o café menos os custos do fator variável em análise (fertilizante formulado), demonstrando o impacto direto da variação deste insumo no resultado econômico.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Pela análise de variância da produção acumulada de café nas safras 2012/2013 e 2013/2014 (Tabela 2) houve diferença significativa entre os seis níveis de adubação com o fertilizante formulado contendo N, P_2O_5 e K_2O.

Os níveis de adubação em percentual descritos na seção anterior foram trabalhados em sua unidade real (kg.hectare^{-1}), fazendo correspondência direta às quantidades de café produzido em cada tratamento. A utilização dos dados nesta unidade também buscou auxiliar nos procedimentos da análise econômica.

Considerando a significância entre níveis de adubação e produção, foi realizada a análise de regressão sobre os dados visando ajustar a função de produção do experimento.

O modelo polinomial de segundo grau foi o que melhor se ajustou, apresentando um coeficiente de determinação (R^2) que explicou 94,67% da variação da produção de acordo com as variações nos níveis de adubação. A função de produção para a produção de café pode ser vista na Figura 1.

A eficiência técnica do fertilizante, estimada pelo Produto Físico Marginal (PFMa) da função de produção, apresentou valor inicialmente positivo e decrescente na medida em que se aumentou a quantidade do fator variável. Os valores de PFMa para cada um dos níveis de adubação do experimento estão dispostos na Tabela 3.

Ao se igualar o PFMa à zero, encontrou-se a quantidade do fator variável que maximizou a produção, caracterizando o Produto Físico Total (PFT). A máxima eficiência técnica do experimento ocorreu com a aplicação de 4.223,53 kg.hectare^{-1} do fertilizante formulado NPK, que permitiu uma produção de café de 5.081,44 kg.hectare^{-1} (84,69 sacas de 60 kg) no somatório das safras 2012/2013 e 2013/2014. Esta quantidade de adubo representou uma aplicação no nível de 145,57% da recomendação padrão da 5ª Aproximação.

A constatação de aumento na quantidade de fertilizante que maximizou a produção do experimento aqui analisado vai ao encontro do trabalho de Santinato e Fernandes (2002). Estes autores recomendam um acréscimo de 30% na dose para lavouras irrigadas de café em produção. Ressalta-se que as condições experimentais são diferentes no trabalho destes pesquisadores.

O Produto Físico Médio (PFMe) foi encontrado pela divisão entre a quantidade produzida e a quantidade de recurso utilizado. O PFMe também decresceu na medida em que se aumentou a quantidade do fator variável, porém mantendo-se positivo. Os valores de PFMe para cada um dos níveis de adubação do experimento estão dispostos na Tabela 4.

As relações entre PFMa e PFMe podem ser melhor visualizadas na Figura 2. O PFMe igual a zero ocorre na ausência de produção, e o PFMa igual a zero caracteriza a máxima produção (PFT).

Já para a obtenção da quantidade ótima econômica do fertilizante formulado NPK, foi igualada a derivada de primeira ordem da função de produção à razão entre o preço médio do fertilizante formulado (P_x) e o preço do café (P_y), ambos em reais por quilograma (procedimento adotado na elaboração da Tabela 5). Os preços do fertilizante e do café se referiram ao período de setembro de 2012 a agosto de 2014, com as devidas ponderações para os preços da variável independente.

Substituindo a quantidade ótima do fator variável na função de produção, encontrou-se a produção ótima econômica (P_{Econ}). A P_{Econ} ocorreu com a aplicação de 3.427,08 kg.hectare^{-1} do fertilizante formulado NPK, que proporcionou uma produção de café de 4.914,00 kg.hectare^{-1} (81,90 sacas de 60 kg) no somatório das safras analisadas. Esta quantidade do fertilizante representa uma aplicação no nível de 118,12% da recomendação padrão.

A margem bruta referente à produção máxima do biênio foi de R$18.205,73 hectare^{-1}. Já a produção ótima gerou uma margem de R$19.127,81.hectare^{-1}, uma diferença de R$922,08.hectare^{-1}. Ressalta-se que foram considerados apenas os custos do fator variável.

Estes resultados referem-se às relações produtivas, ao preço médio ponderado do fertilizante formulado NPK e ao preço médio do café no acumulado de 24 meses. Ao considerar as relações mensais dos preços da variável independente e variável dependente no período analisado foram encontrados os resultados expressos na Tabela 5.

TABELA 2 - Análise de variância para produtividade de cafeeiros irrigados (kg.hectare^{-1}) em função de níveis de adubação NPK.

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Níveis adubação	5	54514199	10902840	22,459	0,000002*
Blocos	3	3059798	1019933	2,101	0,143033
Resíduo	15	7281673	485445		
Total	23	64855670			

* significativo a 1% de probabilidade. CV = 18,92%

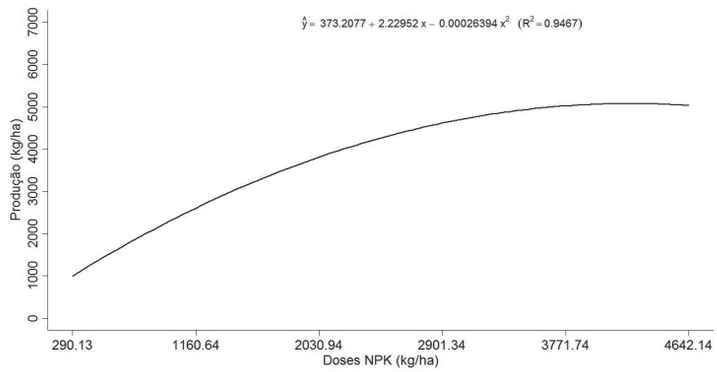

FIGURA 1 - Representação gráfica, equação de regressão e coeficiente de determinação da produtividade de cafeeiros em função dos níveis de adubação NPK (em kg.hectare^{-1}), que correspondem respectivamente por 10%, 40%, 70%, 100%, 130% e 160% da recomendação padrão.

TABELA 3 - Produto Físico Marginal (PFMa) dos diferentes níveis de adubação no somatório das safras 2012/2013 e 2013/2014 (kg.hectare^{-1}).

Níveis de adubação	PFMa
10%	2,076
40%	1,617
70%	1,157
100%	0,698
130%	0,238
160%	-0,221

TABELA 4 - Produto Físico Médio (PFMe) dos diferentes níveis de adubação no somatório das safras 2012/2013 e 2013/2014 (kg.hectare^{-1}).

Níveis de adubação	PFMe
10%	3,439
40%	2,245
70%	1,877
100%	1,592
130%	1,333
160%	1,085

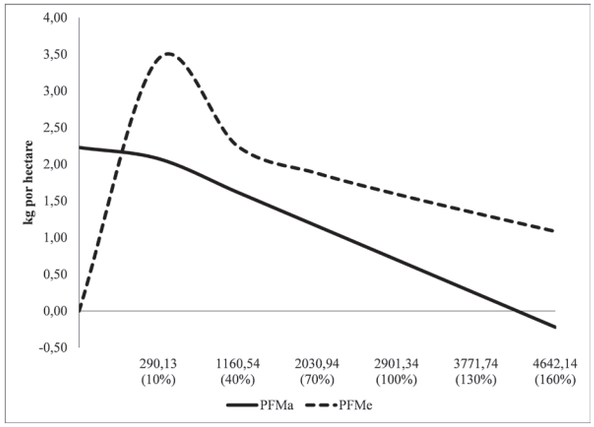

FIGURA 2 - Relações entre Produto Físico Marginal (PFMa) e Produto Físico Médio (PFMe) nas safras 2012/2013 e 2013/2014 (kg.hectare^{-1}).

TABELA 5 - Relação de preços do fator variável e da produção (Px/Py), quantidade ótima econômica do fertilizante formulado NPK (PFMa = Px/Py) e percentual da quantidade ótima econômica do fator variável em relação à recomendação padrão.

Mês	Px/Py	PFMa = Px/Py (kg.hectare^{-1})	Quantidade Econômica (%)
Set/12	0,369	3.524,17	121,47
Out/12	0,389	3.486,97	120,18
Nov/12	0,426	3.415,82	117,73
Dez/12	0,444	3.383,37	116,61
Jan/13	0,447	3.376,88	116,39
Fev/13	0,520	3.238,68	111,63
Mar/13	0,345	3.569,34	123,02
Abr/13	0,366	3.529,58	121,65
Mai/13	0,359	3.543,54	122,13
Jun/13	0,554	3.174,62	109,42
Jul/13	0,526	3.227,61	111,25
Ago/13	0,536	3.207,62	110,56
Set/13	0,491	3.293,95	113,53
Out/13	0,550	3.181,97	109,67
Nov/13	0,563	3.156,20	108,78
Dez/13	0,504	3.269,72	112,70
Jan/14	0,475	3.323,85	114,56
Fev/14	0,434	3.401,16	117,23
Mar/14	0,327	3.604,23	124,23
Abr/14	0,328	3.601,35	124,13
Mai/14	0,356	3.548,79	122,32
Jun/14	0,374	3.515,29	121,16
Jul/14	0,381	3.501,06	120,67
Ago/14	0,340	3.579,68	123,38

Fonte: Dados da pesquisa.

Observa-se que a relação de preços do fator variável e da produção não ultrapassou 0,563 (Tabela 5). Isto significa que o preço do fertilizante formulado NPK representou 56,3% do preço do café. Nesta condição a quantidade ótima econômica do fertilizante formulado NPK foi 8,78% superior à recomendação padrão da 5ª Aproximação. A margem bruta da produção ótima referente a esta relação de preços, observada em novembro de 2013, foi de R$11.731,16.hectare^{-1}. Já a margem bruta referente à produção máxima neste mês foi de R$10.556,35.hectare^{-1}; uma diferença de R$1.174,81.hectare^{-1}.

Estas informações demonstram que a diferença na margem bruta entre as produções máxima e ótima econômica pode se tornar expressiva. A comparação entre eficiência técnica e eficiência alocativa indica que a redução da adubação pode ser uma estratégia para a garantia de melhores resultados econômicos.

4 CONCLUSÕES

Os dados do experimento referentes às safras 2012/2013 e 2013/2014 demonstraram que a quantidade ótima econômica do fertilizante formulado NPK influenciou positivamente a margem de lucro. Considerando os aspectos de sustentabilidade que envolvem a gestão de empreendimentos cafeeiros, concluiu-se que os resultados podem ser utilizados para a adequação econômica da adubação.

5 AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, pela bolsa concedida, e ao Consórcio Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento do Café – CBP&D/CAFÉ, pelo suporte financeiro.

6 REFERÊNCIAS

DANTAS, A. A. A.; CARVALHO, L. G.; FERREIRA, E. Classificação e tendências climáticas em Lavras, MG. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 6, p. 1862-1866, nov./dez. 2007.

RENNÓ, F. P. et al. Eficiência bioeconômica de vacas de diferentes níveis de produção de leite por lactação e estratégias de alimentação. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Brasília, v. 37, n. 4, p. 765-772, 2008.

SANTINATO, R.; FERNANDES, A. L. T. **Cultivo do cafeeiro irrigado em plantio circular sob pivô central**. Rio de Janeiro: MAPA/Procafé, 2002. 250 p.

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.

VILAS BOAS, R. C. et al. Avaliação técnica e econômica da produção de duas cultivares de alface tipo crespa em função de lâminas de irrigação. **Ciências e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 2, p. 525-531, mar./abr. 2008.

NEW MANAGEMENT TECHNOLOGY FOR ARABICA COFFEE: THE CYCLIC PRUNING PROGRAM FOR ARABICA COFFEE

Abraão Carlos Verdin Filho[1], Paulo Sérgio Volpi[2], Maria Amélia Gava Ferrão[3], Romário Gava Ferrão[4], Aldo Luiz Mauri[5], Aymbiré Francisco Almeida da Fonseca[6], Fabiano AlixsandroTristão[7], Saul de Andrade Júnior[8]

(Recebido: 27 de janeiro de 2016; aceito: 19 de maio de 2016)

ABSTRACT: This study aimed to better understand the productive behavior of *Coffea arabica* when cultivated using the new management of Cyclic Pruning Program for Arabica Coffee (CPPAC), stablished using the same principles of the Cyclic Pruning Program for Conilon Coffee. The experiment was carried out in Baixo Guandú, Espírito Santo state, in the Southeast region of Brazil, in order to test the conditioning of this new pruning management for Arabica coffee (CPPAC) over the crop yield of a plantation of Catuaí Vermelho IAC 81. It was found increased crop yield with use of the (CPPAC) over the traditional management of Arabica coffee, considering five consecutive years of production. The (CPPAC) technique can be used as a viable alternative for pruning management of Arabica coffee.

Index terms: Number of stems, *Coffea arabica*, harvest, crop yield.

NOVA TECNOLOGIA DE PODA PARA O CAFÉ ARÁBICA: PODA PROGRAMADA DE CICLO PARA O CAFÉ ARABICA

RESUMO**:** *Este estudo teve como objetivo compreender melhor o comportamento produtivo do café, Coffea arabica quando cultivado usando a nova tecnologia da Poda Programa de Ciclo para o Café Arábica (PPCA), estabelecida usando os mesmos princípios da Poda Programa de Ciclo do Café Conilon. O experimento foi desenvolvido em Baixo Guandu, no Espírito Santo, na região Sudeste do Brasil, a fim de testar o condicionamento dessa nova tecnologia de poda para o Café Arábica (PPCA) sobre o rendimento da colheita de uma plantação de café Catuaí Vermelho IAC 81. Foi encontrado aumento da produtividade com o uso da PPCA sobre a poda tradicional do café arábica, considerando cinco anos consecutivos de produção. A técnica da PPCA pode ser usada como uma alternativa viável para a poda do café arábica.*

Termos para Indexação: *Número de hastes, Coffea arabica, colheita, produtividade.*

1 INTRODUCTION

Coffee has always been among the main crops in Brazilian economy, giving the country a prominent position as the largest producer and exporter of this product. In the season 2015, more than 43.24 million 60-kg bags of processed coffee were produced, with 32.05 million Arabica coffee (*Coffea arabica* L.) and 11.19 million conilon coffee (*Coffea canephora* Pierre ex A.Froehner). In Brazil, the Espírito Santo statest ands out as the second largest producer of coffee while occupying only 0.5% of the national territory (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB, 2015).

During coffee cultivation, after successive harvests, it is common to observe that the orthotropic and plagiotropic branches diminish their vigor and consequently the plant loses productive capacity. Thus, an intervention becomes necessary to reverse this situation, and in that sense, the pruning emerges as an interesting alternative in the quest for revitalization of coffee crops (FERNANDES et al., 2012).

Pruning is a technique that stimulates the formation of new branches and more photosynthetically active leaves (AGUSTÍ-FONFRIA, 2003), controls the vegetative growth, and enhances brightness and ventilation of canopies (SARTORI et al., 2007). The correct applicability of pruning techniques in commercial crops must take into consideration several factors such as variety, vegetative vigor, spacing, fertilization, irrigation, soil management, among others (SANTAROSA

[1,2,5] Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural/INCAPER - Fazenda Experimental de Marilândia - 29.725-000 - Marilândia-ES - verdin@incaper.es.gov.br, paulovolpi@incaper.es.gov.br. audimauri@yahoo.com.br
[3,6] Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária/EMBRAPA CAFÉ - Parque Estação Biológica, PqEB, s/n - 70.770-901 - Brasília - DF - maria.ferrao@embrapa.br, aymbire.fonseca@embrapa.br.
[4] Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural/INCAPER - Rua Afonso Sarlo, 160 - Bento Ferreira - 29.052-010 - Vitória-ES - romario@incaper.es.gov.br
[7]Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural/INCAPER - Av. José Martinuzzo, nº 246 - Centro 29.630-000 - Brejetuba - ES - fabianotristaoalixandre@hotmail.com
[8]Rua Cassiano Castelo, 274, apt° 402 -Centro - 29.700-060 - Colatina-ES - saul_agronomo@hotamil.com

et al., 2013). Coffee plants are cultivated with different densities in Brazilian regions, depending on soil and weather conditions. Thus, to increase land use efficiency, adjusting the adequate spacing for planting and subsequent handling is required. For crops in mountainous areas and using short cultivars, the recommendation of several authors include densities above 5,000 plants per hectare (ANDROCIOLI FILHO; CARAMORI; CARNEIRO FILHO, 2002; FERNANDES et al., 2012; FERRÃO et al., 2008; MATIELLO et al., 2010; SANTINATO; FERNANDS; FERNANDES, 2008; THOMAZIELO; PEREIRA, 2008).

Increased density is a practice that changes the microclimate of the plantation, modulating light, temperature and relative humidity in the canopies. This condition, if not properly managed, can promote the occurrence of plant diseases (MEIRA; RODRIGUES; MORAES, 2009; MIRANDA, 2006; PAIVA et al., 2011; SANTOS; SOUZA; POZZA, 2004; TALAMINI, 2003).

Different authors presented papers related to the main pruning managements recommended for Arabica coffee (JAPIASSÚ et al., 2010; PEREIRA et al., 2007, 2013; QUEIROZ-VOLTAN et al., 2006; SILVA et al., 2016), these pruning managements are called "recepa", "esqueletamento" and "decote" (in Portuguese). "Recepa" is the most drastic pruning, removing almost all aerial coffee parts, cutting is made 40 to 60 cm above the ground. "Esqueletamento" can also be regarded as a severe pruning, cutting reproductive branches about 40 cm of the trunk. For both pruning systems, the pruning may result in reduction of root system and plant recovery will be influenced by the new shoot buds. "Decote" is a pruning that eliminates the plant apex, with heights that usually ranges from 1.60 to 2.60 meters from soil level.

However, most of these techniques cause drastic effects on plants which can lead to plant death, in some cases, or reduction of root system and longer recovery time before a new production, among others. Some authors, testing different pruning intensities (GONÇALVES et al., 2014; KUMAR et al., 2010; SOUZA et al., 2014), found that the crop yield decreases with the increasing intensity of drastic pruning.

For *C. canephora*, it was recently developed a new management called Cyclic Pruning Program for Conilon Coffee (CPPCC), which is based on introducing a number of 12,000 and 15,000 orthotropic stems per hectare. Once determined the optimum number of orthotropic stems per plant, they remain on the plant for three or four harvests, at this time, 50 to 75% of the stems are removed, promoting the thinning which case it holds the selection of new shoots that will form the new shoots, always selected at the base of the plant. The remaining stems after this process will produce only one more year and then will be removed, remaining only new shoots under development. It is noticeable that there is no null harvest in CPPCC, with a great advantage for the producer, ensuring it to obtain production every year (VERDIN FILHO, 2011).

An increase in crop yield was obtained in studies working with the (CPPCC) using different plant spacing, number of orthotropic stems per plant, and total number of stems per hectare. It was observed that by reducing the spacing and increasing the number of orthotropic stems, the plantation tends to gain in productivity (VERDIN FILHO et al., 2014).

In this context, there are several strategies for pruning management of coffee plants, but a differential management of Arabica coffee could benefit its cultivation, especially in the mountain regions. Based on these assumptions, this work was carried out to study the implications of the use of the Cyclic Pruning Program for Arabica Coffee (CPPAC) over the crop yield.

2 MATERIALS AND METHODS

The study was carried out in the municipality of Baixo Guandú, at altitude of 634 m over sea level, with latitude 19º21'44.32"S and longitude 40°50'31.95"W, located in the Northwest region of Espírito Santo State, in the Southeast region of Brazil. The climate, following the Koppen classification, is tropical humid with an average temperature of 24.2 ºC and the region presents wavy-topography (FEITOSA et al., 1999).

The experiment followed a randomized block design, with six treatments, evaluated with four replicates and experimental plots consisting of five plants. The results of the cumulative productivity were obtained by summation of productivity over the five harvests. The treatments were established in an eight-year-old plantation, formed by the cultivar Catuaí Vermelho IAC 81, of intermediate maturation cycle, planted in a spacing of 2.5 x 1.0 m. The six pruning management levels consisted descriptions in Table 1.

TABLE 1 - Description of treatments: number of stems per plant and the number of stems per hectare.

Treatment	Description	Number of stems per plant	Number of stems per hectare
T1	Traditional pruning without removal of reproductive branches	2	8.000
T2	CPPAC with removal of 70% of reproductive branches that produced in the season	2	8.000
T3	CPPAC with removal of 50% of reproductive branches that produced in the season	2	8.000
T4	Traditional pruning without removal of reproductive branches	3	12.000
T5	CPPAC with removal of 70% of reproductive branches that produced in the season	3	12.000
T6	CPPAC with removal of 50% of reproductive branches that produced in the season	3	12.000

CPPAC =Cyclic Pruning Program for Arabica Coffee.

The five productive harvest levels consisted of the coffee harvest in the years 2010 to 2014. A second test was used to verify the reproductive behavior of Arabica coffee along the productive crops due to the cycle of pruning. For this, we used a split plot in time 6x5, the plots factor management of pruning on six levels, the subplots the productive crop factor of five levels, with randomized blocks and four blocks. After harvest, the plants were cut at 20-30 cm in height and the six treatments described in Table 1 were applied. After the start of growth of the new shoots, two thinning operations were performed at approximately 90 and 150 days after the cutting. Also in 2013, it was made a descriptive analysis for the following variables: a) classification by maturity: was taken samples of each parcel and quantified the percentage of fruit fully ripe, green, dry and voids; b) Time spent in the harvest: to determine the time to harvest the plots the time spend was measured and converted into d/h (workday hours), and quantified the volume of coffee per share and transformed into bags of 80 L per d/h.

Considering these treatments, the pruning management used in the experiment was adapted from the similar technique pruning recommended for the species *C. canephora* called Cyclic Pruning Program for Conilon Coffee (VERDIN FILHO et al., 2009).

After the first harvest, the respective percentage of reproductive branches in treatments T2, T3, T5 and T6 were removed from the plants and after that, this removal of reproductive branches took place every two years, differently from the CPPCC which carries it out every year. It is noteworthy that two to three shoot thinning were done each year. Thus, the plants were cultivated until the fifth harvest, proceeding the reduction of the orthotropic stem number of treatments T2, T3, T5 and T6, leaving only one rod per plant, in order to prioritize the growth of the new shoots, allowing a vigorous renewal for a final cycle and preventing the total cut of the steams and the consequent null harvest of the next year. Thus, after the fifth harvest, shoots with 40 days of age and a maximum height of 25 cm were selected to be kept, aiming to keep the same number of orthotropic stems per plant, from 2 to 3 stems, according to the treatment. At this time, the plant present shoots growing fast and one orthotropic stem that will secure the sixth harvest. This last stem was removed immediately after this harvest.

With this process, the first cycle of pruning ends and a new cycle can start in the Cyclic Pruning Program for Arabica Coffee (CPPAC) with a fully renovated plant that will be able to express their productive potential.

For the standard pruning in treatments T1 and T4, the only interference was the standard conduction of the stems, without debranching for up to the fifth crops, when the plants were then cut again.

The fertilization and cultural practices were performed according to current recommendations for coffee culture in the region (FERRÃO et al., 2008; PREZOTTI, 2007).

The variables studied were: a) in all treatments: crop yield (bags of 60 kg ha^{-1}) of Arabica coffee on the basis of management stems over five harvests, (from 2010 to 2014). To determine the crop yield of each plot was used the ratio of 6: 1 (every 6 kg of coffee cherries harvested generate 1 kg of green coffee), resulting in the yield in sacks of 60 kg commercial green coffee per hectare (bags of 60 kg ha $^{-1}$); b) Uniformity of maturation (%): the fruits were separated in fully ripe, green, dried and voids at the time of harvest, samples were taken from each plot and quantified in percentage; (c) Manpower employed in the harvest: the time spent to harvest each plot was measured and converted into d/h (workday hours), and quantified the volume of coffee per share and transformed into bags of 80 L per d/h.

The crop yield data were submitted to analysis of variance, and in presence of significance difference, means were compared by Tukey test at 5% of probability. The statistical analyzes were performed using the statistical program "GENES" (CRUZ, 2013).

3 RESULTS AND DISCUSSION

The interaction between pruning management and consecutive harvests years was observed based on behavior of Arabica coffee plants.

In the mean tests presented in Table 2, it is presented that the second crop (2011), has the highest productivity. In the first harvest (2010), productivities were high and statistically similar for all treatments, Paulo, Furlani Júnior and Fazuoli (2005) and Silva et al. (2004) assessing plant density also had productivity growing in the first harvests.

In the second harvest, the treatments with three stems per plant (T4, T5 and T6) stood out. In the third harvest, the treatments T2, T3, T1 and T5 were the highest productivity. For the fourth harvest, treatments with three stems (T5, T6 and T4) promoted higher crop yield. And the fifth harvest treatments with two rods (T2, T3 and T1) and (T4) with three rods, made the average values were higher for this variable. It is noteworthy that the procedures for pruning and stem thinning were inserted after the first and third harvests, which reflected in significant gains in production of the subsequent season for the treatments conducted with three stems.

Thus, it is observed that for the managements T4, T5 and T6, the crop yields recover during the next year after pruning and thinning procedure. The return of the higher crop yield from 2012 to 2013 was not observed for plants cultivated with T1 and T3, being verified significant reduction in productivity (Table 2). Pereira et al. (2011), reported that there is influence of spacing over the biennially, with an emphasis on plant density. In general, it is observed that there is an alternating productivity between treatments with two and three orthotropic stems per plant after the second harvest. This study corroborates Pereira et al. (2007), to conclude that the production per area is increased with higher plant densities.

However, due to the fact the management with three stems have demonstrated high production rate in the second harvest, as well as good recovery capacity along the sequential harvests, it is suggested that this type of management led to higher crop yield in Arabica coffee plantation, especially when associated with the CPPAC with removal of reproductive branches that have produced 70% of its production load. Surely this was because the plants in this condition could present a greater canopy, better leafiness, with the largest number of reproductive structures and photosynthetic capacity. Valadares et al. (2013) reports that denser crops provide better use of solar radiation and cycling of nutrients, due to higher leaf surface and root density, which provide higher production rates with the use of a larger number of stems per area.

Higher number of stems per plant promotes greater production of photoassimilates (reserves) and hence greater issuance of flowers. Campagnolo and Pio (2012) and Moreira et al. (2004) observed that increased plant density promotes increased productivity, but causes a lock between the lines (canopies superposition), therefore, there is a need for different and adequate pruning management.

Studying the means along the years, the higher crop yields (bags of 60 kg ha^{-1}), were obtained in the second and first harvests (2011 and 2010).

The superiority of these treatments is presented in Figure 1, through the cumulative productivity. It is observed that the best treatment (T5) reached 231.0 bags ha^{-1}, against 179.2 bags ha^{-1} from the standard pruning method (T1). This result represents a total production increase of 51.8 bags ha^{-1} for the producer within five years using only the management of pruning to achieve this gain.

TABLE 2 - Means of crop yield (bags of 60 kg ha^{-1}) along five consecutive harvests of Catuaí Vermelho IAC 81 conducted with six pruning managements; Alto Mutum Claro, Baixo Guandú, Espírito Santo, Brazil.

Treatments	Description	2010	2011	2012	2013	2014
T1	2 stems per plant, Traditional pruning, without removal of reproductive branches	43.67ABa	46.22Ab	33.36Cab	22.55Dc	33.41 BCabc
T2	2 stems per plant, "CPPAC" with removal of reproductive branches which produced 70%	45.61Aa	42.11Ab	38.61ABa	31.64Bbc	41.57ABa
T3	2 stems per plant, "CPPAC" with removal of reproductive branches which produced 50%	49.88Aa	39.83ABb	34.31 Bab	23.74Cc	39.64ABab
T4	3 stems per plant, Traditional pruning without removal of reproductive branches	39.65Ba	75.30Aa	22.51Cc	38.52Bab	36.70Babc
T5	3 stems per plant, "CPPAC" with removal of reproductive branches which produced 70%	46.99Ba	74.58Aa	30.94Cabc	48.75Ba	29.74Cbc
T6	3 stems per plant, "CPPAC" with removal of reproductive branches which produced 50%	45.21Ba	65.87Aa	26.87Cbc	48.19Ba	26.98Cc
CPPAC =	Cyclic Pruning Program for Arabica Coffee					

Means followed by the same lower case letter in the column or capital on the line do not differ statistically by Tukey test at 5% probability.

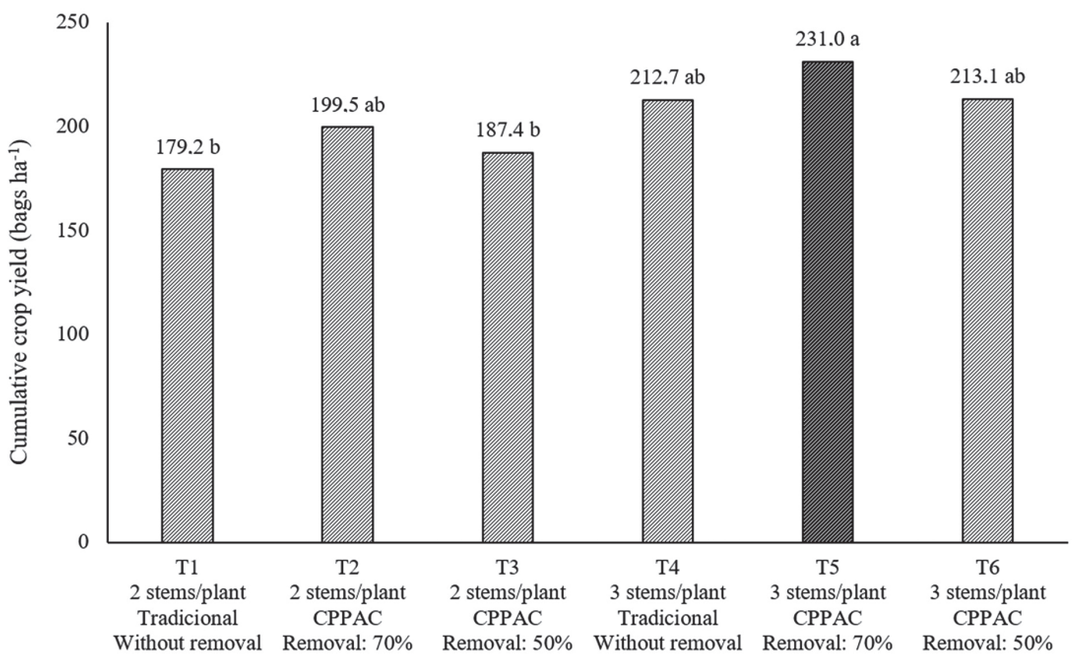

FIGURE 1 - Accumulated productivity in five years (bags of 60 kg ha^{-1}) the variety of Arabica coffee Catuaí Vermelho IAC 81, conducted with the scheduled pruning cycle; Alto Mutum claro, Baixo Guandu, Espírito Santo, Brazil.

It is worth noting that research results also show increased productivity in denser systems during the first harvests (PAULO; FURLANI JÚNIOR; FAZUOLI, 2005), which corroborates the need for recommendation of a pruning system to exploit the better conduction of the plants.

The pruning management in this study, as the spacing of cultivation, phytosanitary treatment, the fertilization, atmospheric conditions, in short, all the plants were subjected to the same growing conditions, just by changing the way the plant architecture was managed, that is, by modifying the pruning technique and insert the CPPAC, it was possible to obtain a considerable increase in the crop yield of Arabica coffee.

The present study corroborates Andrade et al. (2014), Carvalho et al. (2013) and Ronchi et al. (2015), that studying plant density and pruning management, the authors found increased productivity in farming.

With the development of the work, it was observed higher uniformity of maturation and faster harvest in treatments with the sequential removal of reproductive branches after production. The rate of harvest of the crop, has almost doubled in the treatments of removing branches (PPCCA) compared with the control (T1 and T4), the same treatments and also showed a lower percentage cherry fruit. These data demonstrate that there can be a reduction of labor at harvest due to improved crop management. However, it noted that, for the adoption of this technology is necessary to use manpower to carry out pruning and thinning, which can be balanced with increased crop yields and faster harvest.

The main advantages observed with the new pruning management of Arabica coffee proposed in this study were: a) average 50% reduction in manpower required to harvest the T2 and T5 treatments when compared to treatment T1. b) greater uniformity in maturation; c) increase in crop yield of up to 28.9%; d) elimination of the more severe types of pruning (like low cutting of stems) and consequently the evasion of years with null harvests, increasing the crop stability along the years; e) standardization of pruning and ease of understanding of the new plant management system.

In general, it is observed that the productivity of Arabica coffee was favored by the management of plants with three stems and removal of reproductive branches that have produced more than 70% of its production capacity. It is possible that this result has been obtained on the basis of physiological and morphological improvement in Arabica coffee plants, which certainly was the formation of stronger systems in these plants, as well as improvements in gas exchange indexes, with a possible increase in liquid carbon assimilation rates, which can be grounded at higher production rate.

It is possible that this pruning management has favored the source/sink relations in coffee plants, which is due to favorable changes in the photosynthetic apparatus (PEREIRA et al., 2013; THOMAZIELLO; PEREIRA, 2008.). In addition, pruning helps considerably in nutrient cycling, soil conservation, maintenance of soil organic matter in the soil, among others, it provides the vegetative parts taken from plants grown in the culture medium (THOMAZIELLO; PEREIRA, 2008).

Greater investment in area and volume of the canopy favors the soil exploration capacity in search for water and nutrients, due to the joint development of the root system in relation to shoots, in accordance with Alves et al. (2011), Mota et al. (2006), Pereira et al. (2011) and Ronchi et al. (2015). It is possible that plants with more stems and more vigorous canopies (due to removal of weak branches) present better development of the root system, contributing to their growth and production. In addition, several studies indicate that the formation of microclimates inside the canopy of vigorous coffee plants is capable of mitigating climate variables such as radiation and temperature (PARTELLI et al., 2014; PEZZOPANE et al., 2010, 2011), which can promote lower pressure of environmental conditions over physiological processes. Thus, it is possible that the gains in crop yield over five consecutive harvests are justified by the improvement of physiological characteristics of Arabica coffee conducted with this management pruning.

TABLE 3 - Proportion of ripe, green, dry and void fruits, and harvest speed (bags/d/h) of Catuaí Vermelho IAC 81 conducted with traditional pruning and under new Cyclic Pruning Program for Arabica Coffee (CPPAC); Alto Mutum Claro, Baixo Guandú, Espírito Santo, Brazil.

Treatments*	Proportion of fruits (%)				Harvest speed
	Ripe	Green	Dry	Void	bags (80 L) workday hours
T1	63.0	26.4	5.7	4.9	5 a 7
T2	71.7	25.7	1.6	1.0	10 a 14
T3	71.5	25.2	1.9	1.4	10 a 14
T4	62.8	26.7	5.9	4.6	5 a 7
T5	71.4	24.8	1.7	2.1	10 a 12
T6	71.8	25.2	1.7	1.3	10 a 12

* T1 = 2 orthotropic stems / plant, traditional pruning without withdrawal Plagiotropic; T2 = 2 orthotropic / plant stems, with (CPPCA) with Plagiotropic withdrawal that produced 70%; T3 = 2 orthotropic / plant stems, with (CPPCA) with Plagiotropic withdrawal that produced 50%; * T4 = 2 orthotropic stems / plant, traditional pruning without withdrawal Plagiotropic, T5 = 3 orthotropic stems / plant, with the (CPPCA) with withdrawal Plagiotropic that produced 70%, T6 = 3 orthotropic / plant stems, with (CPPCA) with withdrawal plagiotropic that produced 50%.

4 CONCLUSION

For the studied conditions, the crop yield of Arabica coffee is favored considerably by the cultivation with three orthotropic stems per plant and use of cyclic pruning program for Arabica coffee, with removal of reproductive branches that produced 70% of their production capacity.

The use of this pruning management may be recommended as a technique that increases area use and productivity rates.

5 REFERENCES

AGUSTÍ-FONFRIA, M. **Citricultura**. 2. ed. Barcelona: Mundi, 2003. 422 p.

ALVES, J. D. et al. Sourcesink manipulations in *Coffea arabica* L. and its effect on growth of shoots and root system. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, p. 956964, 2011.

ANDRADE, W. E. B. et al. Produtividade do cafeeiro arábica em condições de adensamento, no Noroeste Fluminense. **Coffee Science**, Lavras, v. 9, n. 1, p. 90-101, 2014.

ANDROCIOLI-FILHO, A.; CARAMORI, P. H.; CARNEIRO FILHO, F. Influência da forma de disposição das plantas na área sobre a produtividade em lavouras de café adensado. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 2., 2002, Vitória. **Anais...** Brasília: EMBRAPA Café, 2002. p. 1384-1387.

CAMPAGNOLO, M. A.; PIO, R. Poda drástica para a produção da amorapreta em regiões subtropicais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 47, p. 934938, 2012.

CARVALHO, G. R. et al. Comportamento de progênies F4 de cafeeiros arábica, antes e após a poda tipo esqueletamento. **Coffee Science**, Lavras, v. 8, n. 1, p. 33-42, 2013.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Available from: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/15_12_17_09_02_47_boletim_cafe_dezembro_2015_2.pdf>. Access in: 10 Mar. 2015.

CRUZ, C. D. Programa Genes: a software package for analysis in experimental statisticsand quantitative genetics. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 35, n. 3, p. 271-276, 2013.

FEITOSA, L. R. et al. **Mapa das unidades naturais do Espírito Santo**. Vitória: EMCAPA, 1999. 1 mapa. Escala 1:400.000, color.

Fernandes, André Luís Teixeira2012FERNANDES, A. L. T. et al. Condução das podas do cafeeiro irrigado por gotejamento cultivado no cerrado de Minas Gerais. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 8, p. 487-494, 2012.

FERRÃO, M. A. G. et al. **Técnicas de produção de café arábica:** renovação e revigoramento das lavouras no Estado do Espírito Santo. Vitória: DCM - INCAPER, 2008. 56 p. (Circular Técnica, 5-1).

GONÇALVES, M. A. et al. Efeito da intensidade de poda na produção e qualidade de frutos de pessegueiro. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 36, n. 3, p. 742-747, 2014.

KUMAR, M. et al. Effect of pruning intensity on peach yield and fruit quality. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 125, n. 3, p. 218-221, 2010.

JAPIASSÚ, L. B. et al. Ciclos de poda e adubação nitrogenada em lavouras cafeeiras conduzidas no sistema "safra zero". **Coffee Science**, Lavras, v. 5, n. 1, p. 28-37, jan./abr. 2010.

MATIELLO, J. B. et al. **Cultura de café no Brasil:** manual de recomendações. Rio de Janeiro: MAPA/ Procafé; Varginha: Fundação Procafé, 2010. 546 p.

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.

MIRANDA, J. C. Intensidade da ferrugem em cafeeiros irrigados. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 30, n. 5, p. 885-891, set./out. 2006.

MOREIRA, R. C. et al. Espaçamentos para cafeeiro (*Coffea arabica* L.) com e sem o emprego de irrigação. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 26, n. 1, p. 73-78, 2004.

MOTA, A. C. V. et al. Distribuição horizontal e vertical da fertilidade do solo e das raízes de cafeeiro (*Coffea arabica* L.) cultivar Catuaí. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 28, p. 455-463, 2006.

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. 35, n. 1, p. 137-143, jan./fev. 2011.

PARTELLI, F. L. et al. Microclimate and development of 'Conilon' coffee intercropped with rubber trees. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 49, n. 11, p. 872-881, nov. 2014.

PAULO, E. M.; FURLANI JÚNIOR, E.; FAZUOLI, L. C. Comportamento de cultivares de cafeeiro em diferentes densidades de plantio. **Bragantia**, Campinas, v. 64, n. 3, p. 397-409, 2005.

PEREIRA, S. P. et al. Crescimento, produtividade e bienalidade do cafeeiro em função do espaçamento de cultivo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 46, n. 2, p. 152-160, fev. 2011.

_____. 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.

_____. Influência do espaçamento de cultivo em duas épocas de poda nos teores caulinares de carboidratos em cafeeiros. **Coffee Science**, Lavras, v. 8, n. 4, p. 460-468 out./dez. 2013.

PEZZOPANE, J. R. M. et al. Alterações microclimáticas em cultivo de café conilon arborizado com coqueiro-anão-verde. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 42, n. 4, p. 865-871, 2011.

_____. Condições microclimáticas em cultivo de café conilon a pleno sol e arborizado com nogueira macadâmia. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 40, n. 6, p. 1-7, 2010.

PREZOTTI, L. C. **Manual de recomendação de calagem e adubação para o Estado do Espírito Santo**. 5. ed. Vitória: SEEA, 2007. 305 p.

QUEIROZ-VOLTAN, R. B. R. B. et al. Eficiência da poda em cafeeiros no controle da Xylella fastidiosa. **Bragantia**, Campinas, v. 65, n. 3, p. 433-440, 2006.

RONCHI, C. P. et al. Morfologia radicular de cultivares de café arábica submetidas a diferentes arranjos espaciais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 50, n. 3, p. 187-195, mar. 2015.

SANTAROSA, E. et al. Produção e qualidade físico-química de frutos de laranjeiras 'Valência' em diferentes intensidades e frequências de poda. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 35, n. 3, p. 790-798, 2013.

SANTINATO, R.; FERNANDS, A. L. T.; FERNANDES, D. R. **Irrigação na cultura do café**. 2. ed. Belo Horizonte: O Lutador, 2008. 476 p.

SANTOS, F. S.; SOUZA, P. E.; POZZA, E. A. Epidemiologia da cercosporiose em cafeeiro (*Coffea arabica* L.) fertirrigado. **Summa Phytopathologica**, Botucatu, v. 30, n. 1, p. 31-37, 2004.

SARTORI, I. A. et al. Efeito da poda, raleio de frutos e uso de fitorreguladores na produção de tangerineiras (Citrus deliciosa Tenore) cv. Montenegrina. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 29, n. 1, p. 5-10, 2007.

SILVA, C. A. et al. Produtividade do cafeeiro e atributos de fertilidade de latossolo sob influência de adensamento da lavoura e manejo da calagem. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 28, n. 5, p. 1066-1076, set./out. 2004.

SILVA, V. A. et al. Recuperação de cultivares de café submetidas ao esqueletamento aos quatro anos e meio de idade. **Coffee Science**, Lavras, v. 11, n. 1, p. 55-64, jan./mar. 2016.

SOUZA, A. L. K. et al. Produção e qualidade de frutos de mirtileiros sob diferentes intensidades de poda. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 44, n. 12, p. 2157-2163, 2014.

TALAMINI, V. Progresso da ferrugem e da cercosporiose em cafeeiro (*Coffea arabica L.*) com diferentes épocas de início e parcelamentos da fertirrigação. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 27, n. 1, p. 141-149, jan./fev. 2003.

THOMAZIELLO, R. A.; PEREIRA, S. P. **Poda e condução do cafeeiro arábica**. Campinas: Instituto Agronômico, 2008. 39 p. (Série Tecnologia APTA, Boletim Técnico IAC, 203).

VALADARES, S. V. et al. Produtividade e bienalidade da produção de cafezais adensados, sob diferentes doses de N e K. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 48, n. 3, p. 296-303, mar. 2013.

VERDIN FILHO, A. C. **Influência do espaçamento e densidade de hastes em café conilon conduzido com a poda programada de ciclo**. 2011. 67 p. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre, 2011.

VERDIN FILHO, A. C. et al. Conilon coffee yield using the programmed pruning cycle and different cultivation densities. **Coffee Science**, Lavras, v. 9, p. 489-494, 2014.

_____. **Poda programada de ciclo para o café Conilon**. 2. ed. Vitória: INCAPER, 2009. (Documento, 163).

FAUNA INVERTEBRADA EPIGÉICA ASSOCIADA A DIFERENTES SISTEMAS DE CULTIVO DO CAFEEIRO

Nathalia de França Guimarães[1], Anastácia Fontanetti[2], Ricardo Toshio Fujihara[3], Anderson de Souza Gallo[4], Maicon Douglas Bispo de Souza[5], Kátia Priscilla Gomes Morinigo[6], Rogério Ferreira da Silva [7]

(Recebido: 30 de janeiro de 2016; aceito: 12 de maio de 2016)

RESUMO: O trabalho teve como objetivo avaliar a estrutura da comunidade da fauna invertebrada epigéica associada a diferentes sistemas de cultivo do cafeeiro. O delineamento experimental adotado foi o de blocos casualizados, em esquema de parcelas subdivididas no tempo, com cinco repetições. Foram avaliadas duas épocas, sendo a primeira no mês de abril e a segunda no mês de julho de 2015. Os tratamentos foram constituídos por três sistemas de cultivo do cafeeiro e duas áreas testemunhas: 1) Cafeeiro em consórcio com espécies arbóreas e *Brachiaria decumbens*; 2) Cafeeiro em consórcio com *B. decumbens*; 3) Cafeeiro em cultivo exclusivo; 4) Área com solo em pousio e 5) Fragmento de vegetação nativa. Em cada sistema foram instaladas cinco armadilhas de queda "pitfall" para captura da fauna invertebrada epigéica. Avaliou-se também, o acúmulo de serrapilheira (t ha^{-1}) e a umidade do solo (kg kg^{-1}), próximo às armadilhas. Os sistemas adotados favorecem os grupos Collembola, Formicidae e Diptera, principalmente em épocas com maior precipitação pluviométrica. O sistema Fragmento de Vegetação Nativa se mostrou o mais diversificado e de maior complexidade vegetal, sendo este tratamento o que ofereceu melhores condições de desenvolvimento da fauna epigéica, seguidos por Cafeeiro em consórcio com espécies arbóreas e *Brachiaria decumbens*, Pousio, Cafeeiro em consórcio com *Brachiaria decumbens* e Cafeeiro em Consórcio Exclusivo.

Termos de indexação: Fauna epigéica, bioindicadores, café consorciado, café arborizado, *Coffea arabica*.

EPIGEIC INVERTEBRATE FAUNA ASSOCIATED WITH DIFFERENT SYSTEMS OF GROWING OF COFFEE TREE

ABSTRACT: *The study aimed to assess the structure community of the epigeic invertebrate fauna associated with different coffee tree farming systems. The experimental design was completely block in split plot in time, and five replicates. Two seasons were evaluated, the first in April and the second in month July. The treatments consisted of three coffee tree cultivation systems and two witnesses areas: 1) Coffee tree intercropped with tree and Brachiaria decumbens species; 2) Coffee intercropped with B. decumbens; 3) Coffee in exclusive culture; 4) area with ground fallow and 5) native vegetation fragment. In each system were installed five pitfall traps "pitfall" to capture epigeic invertebrate fauna. In addition, they evaluated the burlap accumulation (t ha^{-1}) and soil moisture (kg kg^{-1}), near the traps. The systems adopted favoured the groups Collembola, Diptera, Formicidae and mainly in times with greater precipitation. The Native Vegetation Fragment system proved the more diverse and more complex plant, being this treatment which offered better conditions for development of epigéica fauna, followed by Coffee tree intercropped with Brachiaria decumbens, fallow, Coffee intercropped with Brachiaria decumbens and Coffee in exclusive culture.*

Index terms**:** *Epigeic fauna, bioindicators, coffee intercropped, forested coffee, Coffea arabica.*

1 INTRODUÇÃO

A cafeicultura brasileira, em sua maioria, adota o cultivo a pleno sol, adensado e com maiores populações de plantas, visando o aumento do rendimento de grãos (COELHO et al., 2004). Este sistema de produção caracteriza o país, no mercado internacional, como um fornecedor de elevada quantidade de cafés comuns e de baixo preço, mesmo produzindo grande diversidade de tipos de café (GIOMO; BORÉM, 2011).

Afora, a maior vulnerabilidade do agricultor quanto à instabilidade nos preços do café verde tradicional, o modelo descrito pode ocasionar consequências negativas ao ambiente e ao sistema produtivo. Ricci et al. (2010) relatam prejuízos na qualidade física, química e biológica do solo. Carvalho (2011) observou redução da água no solo e no lençol freático no sistema de cultivo convencional em comparação ao sistema agroflorestal. Por consequência, o solo é restritivo à manutenção e crescimento de uma nova biota, reduzindo a viabilidade de recuperação ambiental (SILVA et al., 2009).

[1,2,4,5,6] Universidade Federal de São Carlos/UFSCar - Centro de Ciências Agrárias/CCA - Programa de Pós Graduação em Agroecologia e Desenvolvimento Rural - Rodovia Anhanguera, km 174 - Cx. P. 153 - 13560-970 - Araras - SP - n.fguimaraes@hotmail.com, anastacia@cca.ufscar.br, andersondsgallo@yahoo.com.br, maicondbs@outlook.com, katia_morinigo@hotmail.com
[3] Universidade Federal de São Carlos/UFSCar - Centro de Ciências Agrárias/CCA - Programa de Pós Graduação em Agricultura e Ambiente/PPGAA - Rodovia Anhanguera, km 174 - Cx. P. 153 - 13560-970 - Araras - SP - rtfujihara@cca.ufscar.br
[7] Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul/UEMS - Unidade de Glória de Dourados - Curso Superior de Tecnologia em Agroecologia - Rua Projetada A, s/n – 79.730-000 - Glória de Dourados - MS - rogerio@uems.br

Por outro lado, nos últimos anos, a introdução de espécies arbóreas no interior dos cafezais vem ressurgindo nos sistemas produtivos e ganhando importância. O sombreamento dos cafeeiros permite a produção em regiões com déficit hídrico ou geadas, ajuda na manutenção da biodiversidade e na diversificação da produção (JARAMIRO-BOTERO; MARTINEZ; SANTOS, 2006).

Seguindo a mesma proposta dos cafeeiros arborizados, o consórcio das plantas de cobertura com a cultura do café vem sendo adotado para a conservação dos solos e da água. As plantas de cobertura comumente consorciadas com o cafeeiro pertencem ao gênero *Brachiaria* spp., que, por se tratar de uma espécie perene, reduz a necessidade de revolvimento anual do solo para o semeio. Além disso, promove alterações nos atributos físico-hídricos do solo, resultando no aumento de água prontamente disponível, devido à ação agregante do seu sistema radicular (ROCHA et al., 2014).

Este conjunto de práticas aumenta a sustentabilidade dos cafeeiros, e influencia positivamente a biota do solo, atuando na melhoria e manutenção de sua qualidade. Diversos estudos indicam que os sistemas consorciados com espécies arbóreas e/ou plantas de cobertura, acarretam inúmeras modificações na qualidade biológica do solo.

Os invertebrados epígeos são excelentes bioindicadores da qualidade do solo. Percebe-se então, que monitorar a fauna de solo é um instrumento que permite avaliar não só a qualidade de um solo, como também o próprio funcionamento de um sistema produtivo, pois se encontra intimamente associada aos processos de decomposição e ciclagem de nutrientes, na interface solo-planta (MANHAES; FRANCELINO, 2013).

Tornou-se então crescente o interesse em estudar parâmetros que consigam identificar, de maneira precoce e eficaz, as alterações ocorridas nos solos e, com isso, apontar sistemas de manejo capazes de preservar e/ou melhorar a sua qualidade e garantir a sustentabilidade dos agroecossistemas (CHAER et al., 2009). Dentre estes, a fauna do solo pode contribuir para a avaliação do grau de sustentabilidade ambiental de uma determinada prática (HOFMANN; NASCIMENTO; DINIZ et al., 2009).

O trabalho objetivou avaliar a estrutura da comunidade da fauna invertebrada epigéica associada a diferentes sistemas de cultivo do cafeeiro.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Caracterização da área de estudo

O estudo foi conduzido nos meses de abril e julho de 2015 na Fazenda Retiro Santo Antônio (FRSA), localizada no município de Santo Antônio do Jardim, estado de São Paulo (22º06’57”S e 46º40’48 W, 850 m de altitude). O solo é classificado como Argissolo Vermelho-amarelo (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA, 2006).

O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é o Cwb, caracterizado pela ocorrência de verões com temperaturas amenas para as regiões serranas limítrofes com o estado de Minas Gerais (local em que se localiza a propriedade). Sua vegetação é formada por florestas latifoliadas tropicais, variando de decídua a perenifólias. Os dados climáticos durante a condução do experimento estão sumarizados na Tabela 1.

2.2 Delineamento experimental e caracterização do experimento

O delineamento experimental adotado foi em blocos casualizados, em esquema de parcelas subdivididas no tempo, com cinco repetições. A fauna invertebrada epigéica, a umidade do solo e a serrapilheira foram avaliados em duas épocas, abril e julho de 2015. As cinco áreas foram selecionadas e delimitadas, com 52,0 m de comprimento e 47,0 m de largura (2.444 m^2). Os tratamentos foram constituídos por três sistemas de cultivo do cafeeiro:

1) Cafeeiro em consórcio com espécies arbóreas e *Brachiaria decumbens* Stapf (CAB): a variedade cultivada é a Obatã, implantada em 2007, com espaçamento de 3,5 m entrelinha e 0,8 m linha (3.571 plantas ha^{-1}), consorciado com as espécies arbóreas *Persea americana* Mill. (abacateiro), *Senegalia polyphylla* (DC.) Britton (monjoleiro), *Hymenaea* sp. (jatobá), *Carica papaya* L. (mamão), *Anadenanthera colubrina* (Vell.) Brenan (angico-branco), *Peltophorum dubium* (Spreng.) Taub. (canafístula), e *Cassia grandis* L. f. (cássia-rosa), implantadas em 2009, com espaçamento de 14 m entrelinha e 16 m linha (44 plantas ha^{-1}). Em 2014, na entrelinha do cafeeiro foi semeada *B. decumbens*, cujo manejo é realizado por roçada a cada três meses, em média. A adubação do café é realizada com aplicação de uréia (quatro vezes ao ano), cloreto de potássio (duas vezes ao ano), fosfato reativo, boro e composto à base de esterco bovino, cama de frango e palha de café (uma vez ao ano).

TABELA 1 - Dias com chuva (DC), precipitação pluviométrica (PP), temperatura (T) e umidade relativa do ar (UR) durante os meses de condução do experimento.

Meses	DC	PP (mm)		T (ºC)			UR (%)		
	Total	Total	Média	Mín	Máx	Média	Mín	Máx	Média
Fev	14	348	12,4	19,9	28,3	24,1	80	94	87
Mar	18	475	15,3	18,1	26,6	22,3	87	98	92
Abr*	4	165	5,5	17,5	27,2	22,3	70	93	81
Mai	7	123	4,0	14,6	23,1	18,8	88	98	93
Jun	3	27	0,9	14,7	24,4	19,5	89	95	92
Jul*	2	30	1,0	14,5	24,4	19,4	90	95	92
Ago	1	10	0,3	15,0	25,7	20,3	78	92	85

* Meses de coleta. Fonte: Estação meteorológica da Fazenda Retiro Santo Antônio (2015).

A aplicação de defensivos é realizada em média a cada três meses, utilizando os seguintes produtos: Boveril®, Natur'l óleo®, melaço, Supera®, Zapp QI 620®, Metiltiofan®, Aurora 400 EC® e Triona®. Consta o uso de máquinas e implementos agrícolas para a realização de preparo do solo, aplicação de defensivos e colheita;

2) Cafeeiro em consórcio com *B. decumbens* (CB): a variedade cultivada é a Mundo Novo, implantada em 2012, com espaçamento de 3,5 m entrelinha e 0,8 m linha (3.571 plantas ha^{-1}), consorciado com *B. decumbens*, semeada em 2014. O manejo é realizado por roçada a cada três meses em média. A adubação, os defensivos e as máquinas e implementos agrícolas utilizados são os mesmos descritos para o sistema CAB.

3) Cafeeiro em cultivo exclusivo (CCE): a variedade cultivada é a Obatã, implantada em 2007, com espaçamento de 3,5 m entrelinha e 0,8 m linha (3.571 plantas ha^{-1}). A adubação, defensivos e máquinas e implementos agrícolas são os mesmos descritos para CAB.

Duas áreas foram utilizadas como referencial para a qualidade do solo: 4) Pousio (P): área que permanece em pousio há três anos, havendo somente o crescimento de vegetação espontânea herbácea, cultivado anteriormente com cafeeiro que permaneceu na área por aproximadamente 50 anos; 5) Fragmento florestal nativo (FF), em estádio sucessional intermediário, localizado a 800 m das áreas de estudo. No fragmento florestal há uma trilha ecológica desde 1994.

2.3 Condução do experimento

2.3.1 Acúmulo de serrapilheira

Foi avaliado o acúmulo de serrapilheira depositada sobre o solo (t ha^{-1}) próxima às armadilhas, com o auxílio de um gabarito de madeira de 0,25 x 0,25 m. O material coletado foi acondicionado em sacos de papel devidamente identificados e transportados à estufa de secagem com circulação de ar forçada (65ºC), até atingirem massa constante, quando foram pesados. Os dados obtidos foram transformados em toneladas por hectare.

2.3.2 Umidade do solo

Para a determinação da umidade do solo foram realizadas coletas próximo às armadilhas, com o auxílio de trado holandês, na profundidade de 0,0-0,10 m. As amostras foram submetidas ao método termogravimétrico, conforme Claessen (1997), que consiste em pesar a massa de solo úmido (MU) e em seguida secá-lo em estufa a 105–110ºC por 24 horas e, após esse período, determinar sua massa seca (MS). A umidade foi calculada pela equação:

$$U\ (kg\ kg^{-1}) = \frac{Mu - Ms}{Mu} \times 100,$$

em que: U = umidade do solo (kg kg^{-1}); Mu = massa de solo úmido (g); Ms = massa de solo seco em estufa (g).

2.3.3 Fauna invertebrada epigéica

Para avaliação da fauna invertebrada epigéica, foram instaladas no centro de cada área de avaliação cinco armadilhas de queda ("pitfall"), ao longo de um transecto, equidistantes 7 m entre si. Estas foram confeccionadas com recipientes plásticos de 13 x 8 cm (altura x diâmetro). Nas áreas com cafeeiro, foram instaladas sob a copa das plantas de café. Cada uma continha 200 ml de solução conservante de formol a 4% e cinco gotas de detergente. Após sete dias, as armadilhas foram retiradas e os invertebrados armazenados em solução de álcool a 70%. Posteriormente, com o auxílio de um estereoscópico, foram realizadas a triagem e identificação dos organismos em nível de grandes grupos taxonômicos (classe, ordem ou família).

A caracterização da comunidade da fauna invertebrada epigéica foi realizada com base na composição taxonômica (%); abundância (nº de indivíduos arm^{-1}); riqueza (nº de grupos); índice de diversidade de Shannon, obtido pela relação: (H'= - ∑pi 1npi), em que: pi = ni/N; ni = abundância de cada grupo e N = nº total de grupos (SHANNON; WEAVER, 1949); e índice de equitabilidade de Pielou (e = H/Log S, onde H = índice de Shannon e S = número total de grupos na comunidade) (PIELOU, 1977).

2.4 Análises estatísticas

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade, excetuando-se a composição taxonômica. As análises estatísticas foram realizadas pelo software Assistat (7.6 beta versão 2012) (SILVA, 2012). Os dados frequência relativa dos grupos taxonômicos, abundância, riqueza, diversidade e equitabilidade foram submetidos à análise multivariada de agrupamento (*cluster analysis*), adotando-se o método do vizinho mais distante (*complete linkage*), para descrever a dissimilaridade entre os sistemas. O agrupamento dos dados foi realizado pelo método de Joining, por meio das distâncias Euclidianas (STATISTICA..., 1997).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Acúmulo de serrapilheira e umidade do solo

Não houve interação significativa entre os sistemas de cultivo e as épocas de avaliação para as variáveis serrapilheira e umidade do solo (Tabela 2). Contudo, houve diferença significativa para acúmulo de serrapilheira entre os sistemas avaliados (Tabela 2). O maior acúmulo foi verificado nos sistemas FF, CAB e CB que não diferiram entre si, e, foram superiores ao CCE. Guimarães et al. (2015) avaliando o estoque de serapilheira em diferentes sistemas de cafeeiro orgânico arborizado no Mato Grosso do Sul, também não verificaram diferença significativa entre a vegetação nativa e os sistemas de cafeeiro consorciados com espécies florestais e frutíferas.

Ao analisar as épocas, verifica-se que o maior acúmulo ocorreu no mês de julho (Tabela 2). Este resultado está relacionado, provavelmente, à queda de folhas que nesta época do ano aumenta, devido ao déficit hídrico, fenômeno este considerado natural. A maior deposição em períodos secos pode ser uma resposta da vegetação, que com a derrubada de folhas, reduziria a perda de água por transpiração (SILVA et al., 2007).

No que se refere à umidade do solo, o maior valor foi verificado no FF em comparação aos demais sistemas, e, não houve diferença entre as épocas de coleta (Tabela 2). Tal constatação pode estar associada ao maior acúmulo de serrapilheira no fragmento florestal. A cobertura vegetal reduz a incidência da radiação solar direta e, consequentemente, favorece a manutenção da umidade do solo (JARAMILLO-BOTERO et al., 2008).

Oliveira et al. (2005), avaliando a umidade do solo em resposta à cobertura vegetal em um Argissolo, verificaram que a cobertura e o nível de sombreamento influenciam diretamente nas flutuações de umidade. Silva et al. (2011), avaliando atributos do solo em sistemas agroflorestais, cultivo convencional e floresta nativa, verificaram maior umidade na floresta nativa, seguidos do sistema agroflorestal com espécies frutíferas e adubação orgânica e, no cultivo convencional de mamoeiro irrigado. Outros autores também verificaram maior armazenamento de água no solo em função da cobertura vegetal (DALMAGO et al., 2009; SEKI et al., 2015). Pois a proteção por meio de resíduos vegetais reduz a evaporação, aumenta a infiltração da água no solo (FABRIZZI et al., 2005), diminui a amplitude térmica da superfície do solo e, consequentemente conserva a umidade (ALMEIDA et al., 2011).

TABELA 2 - Acúmulo de serrapilheira (t ha^{-1}) e umidade do solo (kg kg^{-1}), sob diferentes sistemas de cultivo de cafeeiro, pousio e fragmento florestal. Santo Antônio do Jardim, SP, 2015.

Sistemas de cultivo	Serrapilheira	Umidade
	t ha^{-1}	kg kg^{-1}
CAB	4,25 ab	0,16 b
CB	4,69 ab	0,18 b
CCE	3,05 b	0,19 b
P	---	0,15 b
FF	6,04 a	0,31 a
Épocas de avaliação		
Abril	3,72 b	0,21 a
Julho	5,30 a	0,18 a
Sistemas de cultivo (CV%)	33,82	29,90
Épocas (CV%)	23,41	28,19

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. CAB: cafeeiro em consórcio com espécies arbóreas e *B. decumbens*; CB: cafeeiro em consórcio com *B. decumbens*; CCE: cafeeiro em cultivo exclusivo; P: pousio; FF: fragmento florestal.

3.2 Fauna invertebrada epigéica

No que concerne à composição da comunidade da fauna invertebrada epigéica, verificou-se que em todos os sistemas de cultivo avaliados houve forte dominância do grupo Collembola (50,6%), seguido de Formicidae (13,5%) e Diptera (12,9%) nas duas épocas de avaliação (Tabela 3).

A dominância do grupo Collembola tem sido observada em vários estudos relacionados à fauna edáfica. Avaliando a fauna epigéica influenciada pelos consórcios de plantas de cobertura com culturas econômicas, Silva et al. (2013), observaram que o grupo com maior predominância nos sistemas avaliados foram os colêmbolos, seguido por Acarina e Hymenoptera, que representaram 86% do total de indivíduos. Baretta et al. (2006), avaliando o efeito dos diferentes cultivos do solo sobre a diversidade da fauna edáfica no planalto sul catarinense, também verificaram que em todos os sistemas houve mais de 35% de ocorrência total do grupo Collembola. Sua dominância está associada, provavelmente, a maior mobilidade e adaptação às condições climáticas (ABREU et al., 2014).

Os colêmbolos são encontrados em todo o mundo e estão entre os invertebrados mais abundantes no solo, podendo viver também na serapilheira (MAUNSELL et al., 2012). A maioria se desenvolve no solo, alimentando-se de fungos, bactérias, algas e matéria vegetal morta (BERUDE et al., 2015). Por serem abundantes, com elevada diversidade e sensibilidade a alterações ambientais, são considerados bons indicadores da qualidade do solo (CASSAGNE et al., 2006). Portanto, a dominância desse grupo nos sistemas estudados, pode estar relacionada com o hábitat que forneça alimento, umidade, temperatura favorável, e proteção às intempéries climáticas (GUIMARÃES et al., 2015).

Houve efeito significativo ($p<0,05$) da interação entre os sistemas de cultivo e as épocas de avaliação na abundância de organismos, riqueza de grupos, índice de diversidade Shannon e índice de equitabilidade de Pielou (Tabelas 4 e 5).

Verificou-se menor abundância de organismos no sistema CCE na primeira época de avaliação (abril). Este resultado pode estar associado ao menor acúmulo de serrapilheira (Tabela 2), demonstrando um ambiente desfavorável aos organismos do solo. Silva et al. (2012) relatam que em sistemas com baixa diversidade e cobertura vegetal, há menor disponibilidade de alimento e maior amplitude térmica, além de apresentarem condições químicas e microbiológicas do solo desfavoráveis para a sobrevivência de um maior número de indivíduos.

Já na segunda época de avaliação (julho) a redução na abundância ocorreu nos sistemas CAB, CB e P. Esta ocorrência deve-se, provavelmente, ao menor índice pluviométrico observado no mês de julho (Tabela 1).

TABELA 3 - Frequência relativa dos grupos taxonômicos (%) da comunidade da fauna invertebrada epigéica do solo, sob diferentes sistemas de cultivo do cafeeiro, pousio e fragmento florestal, em duas épocas de coleta (abril e julho), utilizando armadilhas pitfall. Santo Antônio do Jardim, SP, 2015.

Grupos	CAB		CB		CCE		P		FF	
	%									
	Abr	Jul	Abr	Jul	Abr	Jul	Abr	Jul	Abr	Jul
Collembola	75,6	56,4	83,3	39,6	57,0	36,1	92,1	53,5	42,1	30,2
Formicidae	8,5	20,9	9,5	32,5	19,4	18,4	2,6	9,4	5,6	8,8
Diptera	7,5	11,0	2,5	7,8	7,2	8,0	1,8	4,5	33,5	45,3
Coleoptera	0,8	0,8	0,8	4,5	2,0	2,4	0,5	1,6	3,3	2,4
Araneae	3,9	2,6	2,9	3,8	9,6	1,9	1,5	4,2	2,3	3,6
Homoptera	0,3	0,0	0,0	0,2	0,0	27,5	0,1	14,4	0,0	0,0
Hymenoptera*	0,6	0,6	0,2	1,1	0,5	0,9	0,2	0,7	1,4	1,2
Acarina	1,0	2,8	0,3	1,1	1,2	1,2	0,2	3,2	0,9	1,7
Pscoptera	0,7	1,2	0,0	2,2	0,5	1,5	0,4	2,1	1,5	0,3
Thysanoptera	0,9	0,2	0,1	0,0	0,2	0,8	0,1	0,0	1,8	1,6
Amphipoda	0,0	0,0	0,0	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	2,6	0,0
Outros**	0,2	3,6	0,5	6,7	2,6	1,3	0,6	6,4	5,1	4,8

*Excluindo-se Formicidae. ** Outros grupos capturados: Larvas de Formicidae, Coleoptera, Lepidoptera e Diptera; Blattodea, Chilopoda, Dermaptera, Diplura, Hemiptera, Isopoda, Isoptera, Lepidoptera, Oligochaeta, Orthoptera, Protura e Pseudoscorpionida. CAB: cafeeiro em consórcio com espécies arbóreas e *B. decumbens*; CB: cafeeiro em consórcio com *B. decumbens*; CCE: cafeeiro em cultivo exclusivo; P: pousio; FF: fragmento florestal.

TABELA 4 - Abundância (nº de indivíduos arm^{-1}) e riqueza (nº de grupos) da comunidade de invertebrados epígeos, sob diferentes sistemas de cultivo do cafeeiro, pousio e fragmento florestal em duas épocas de coleta. Santo Antônio do Jardim, SP, 2015.

Sistemas de cultivo	Abundância		Riqueza	
	(nº de indivíduos arm^{-1})		(nº de grupos)	
	Abril	Julho	Abril	Julho
CAB	230,0 bc A	100,4 bc B	8,0 b A	8,2 b A
CB	336,0 ab A	89,8 c B	7,0 b B	9,4 b A
CCE	131,2 c B	211,6 ab A	8,2 b B	10,0 b A
P	399,4 a A	245.8 a B	8,0 b B	12,6 a A
FF	133,2 c A	116,0 bc A	10,8 a A	10,4 ab A
Sistemas de cultivo (CV%)	31,47		17,14	
Épocas (CV%)	29,90		13,57	

Médias com letras semelhantes, minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. CAB: cafeeiro em consórcio com espécies arbóreas e *B. decumbens*; CB: cafeeiro em consórcio com *B. decumbens*; CCE: cafeeiro em cultivo exclusivo; P: pousio; FF: fragmento florestal.

TABELA 5 - Índice de Diversidade Shannon e Equitabilidade de Pielou da comunidade de invertebrados epígeos, sob diferentes sistemas de cultivo do cafeeiro, pousio e fragmento florestal em duas épocas de coleta. Santo Antônio do Jardim, SP, 2015.

Sistemas de cultivo	Índice de diversidade		Índice de Equitabilidade	
	Abril	Julho	Abril	Julho
CAB	0.41 bc B	0.55 a A	0.45 b B	0.62 a A
CB	0.28 cd B	0.68 a A	0.33 bc B	0.71 a A
CCE	0.57 ab A	0.66 a A	0.62 a A	0.67 a A
P	0.17 d B	0.57 a A	0.18 c B	0.52 a A
FF	0.62 a A	0.67 a A	0.61 a A	0.66 a A
Sistemas de cultivo (CV%)	21,34		21,79	
Épocas (CV%)	19,74		20,10	

Médias com letras iguais, minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas, não diferem entre si de acordo com o teste de Tukey, a 5% de probabilidade. CAB: cafeeiro em consórcio com espécies arbóreas e *B. decumbens*; CB: cafeeiro em consórcio com *B. decumbens*; CCE: cafeeiro em cultivo exclusivo; P: pousio; FF: fragmento florestal.

Simpson et al. (2012) enfatizam os possíveis efeitos das mudanças climáticas sobre a atividade da fauna do solo. Oscilações de temperatura e umidade e características das estações do ano são fatores que influenciam diretamente na abundância da fauna epígea (FERNANDES et al., 2011). Guimarães et al. (2015), avaliando a abundância de organismos epígeos em sistemas de cafeeiro orgânico arborizado, observaram redução na população desses indivíduos no período com menor precipitação pluviométrica.

Ao comparar os sistemas dentro da primeira época de avaliação (abril), verificou-se que houve diferença significativa ($p<0,05$) entre os sistemas avaliados. A maior abundância de organismos ocorreu no sistema P e CB que não diferiram entre si, mas foram superiores aos sistemas CAB, CCE e FF.

No que se refere à segunda época de avaliação (julho), a maior abundância verificada também ocorreu no sistema P em relação ao CAB, CB e FF, não diferindo estatisticamente do sistema CCE. As maiores médias observadas nas duas épocas de avaliação no pousio podem ser atribuídas ao fato de que a área permaneceu sem atividade antrópica por aproximadamente três anos, e, esta condição, favoreceu a abundância dos organismos epígeos. O pousio é uma técnica para recuperação do solo após cultivo, derrubada e, ou, queima da vegetação, onde o solo não é manejado (MARTINS et al., 2014). Ressalta-se que nestas áreas não há aplicação de agroquímicos e trânsito de maquinário agrícola, favorecendo a população dos organismos do solo; que se apresenta como uma fração sensível a variações nas práticas de manejo, como sistema de cultivo, adubação, calagem e aplicação de defensivos agrícolas (DRESCHER et al., 2011).

Para a riqueza de grupos (Tabela 4), verificou-se que houve menor riqueza nos sistemas CB, CCE e P, na primeira época de avaliação (abril). Estes dados diferem dos encontrados por Oliveira Filho, Baretta e Santos (2014), que avaliando a influência dos processos de recuperação do solo após mineração de carvão sobre a mesofauna edáfica em Santa Catarina, verificaram redução da riqueza de grupos na época mais fria. O mesmo foi constatado por Pereira, Albanez e Mamédio (2012) avaliando a diversidade da meso e macrofauna edáfica em diferentes sistemas de manejo de uso do solo em Cruz das Almas, BA.

Vale ressaltar que os sistemas CAB e o FF foram os que apresentaram maior estabilidade em relação à variação na riqueza dos grupos, indicando a manutenção das condições ideais para a sobrevivência dos organismos epígeos, independentemente da época de avaliação.

Ao comparar os sistemas dentro da primeira época de avaliação (abril) (Tabela 4), verificou-se que houve diferença significativa ($p<0,05$) entre os sistemas avaliados. O maior número de grupos ocorreu na FF em relação aos demais sistemas de manejo. Já na segunda época de avaliação (julho) o maior número de grupos ocorreu no sistema FF e P que não diferiram entre si e, foram superiores ao CAB, CB e CCE. Fato, possivelmente, relacionado à maior diversidade das áreas naturais (OLIVEIRA FILHO et al., 2015), como observado no sistema FF.

De acordo com Lawes et al. (2006), áreas de florestas nativas, em geral, possuem hábitat com maior heterogeneidade e são capazes de dar maior suporte à diversidade de organismos edáficos; pois as plantas desempenham papel principal na formação da estrutura física do hábitat, além de fazerem parte da cadeia alimentar (FROUZ et al., 2006). Em relação ao tratamento P, a inatividade da área por aproximadamente três anos pode ter favorecido a recomposição da fauna epigéica.

Quanto ao índice de diversidade (*H'*) e ao índice de equitabilidade (*e*) (Tabela 5), verificou-se menores valores nos sistemas CAB, CB e P, na primeira época de avaliação (abril). Na comparação entre os sistemas verificaram-se menores valores nos mesmos tratamentos. O que indica distribuição desuniforme dos indivíduos da comunidade de invertebrados epígeos na primeira coleta (abril). Esses resultados evidenciam que o alto número de indivíduos da fauna nesta época do ano, pode ter reduzido a diversidade (NUNES; ARAÚJO FILHO; MENEZES, 2008).

Na avaliação do mês de abril houve grande dominância de Collembola (Tabela 3), que representaram 75,6%, 83,3% e, 92,1% do total de organismos nos sistemas CAB, CB e P, respectivamente. Além disso, verificou-se maior abundância de organismos e menor riqueza de grupos na amostragem realizada no mesmo mês. Quanto maior a abundância de fauna do solo em determinado componente, maior será a chance da predominância de um grupo, reduzindo a equitabilidade, pois a diversidade de espécies está associada a uma relação entre número de espécies (riqueza de grupos) e a distribuição do número de indivíduos entre as espécies (WALKER, 1989). Toledo (2003), avaliando a fauna do solo em áreas de floresta secundária no município de Pinheiral - RJ atribuiu as variações observadas para os índices de Pielou e Shannon à influência exercida pela riqueza de grupos taxonômicos.

De acordo com a análise de agrupamento, técnica cujo objetivo é agrupar sistemas de manejo com base em características comuns, observou-se a formação de dois grandes grupos distintos, com relação à comunidade de invertebrados epígeos (Figura 1). Observa-se que o fragmento florestal se isolou das demais áreas, com 100% de dissimilaridade. Este resultado pode ter ocorrido devido à maior diversidade de organismos, em resposta à maior complexidade vegetal na área. Segundo Warren e Zou (2002), a diversidade vegetal oferece diferentes recursos alimentares, que influenciam na diversidade da fauna edáfica.

No outro grupo percebe-se a formação de dois níveis independentes e distantes. Considerando os níveis, verificou-se uma dissimilaridade de 65% entre o CCE e os sistemas CAB, CB e P, que se mostraram próximos entre si, com 63% de semelhança. Ainda neste mesmo nível observou-se a similaridade de 96% entre os sistemas CAB e CB. Este agrupamento provavelmente ocorreu devido à maior diversidade vegetal nestas duas áreas; demonstrando que cultivos consorciados possuem maior capacidade para o estabelecimento da fauna edáfica, quando comparados a cultivos solteiros ou áreas sem cobertura (SILVA et al., 2013). De acordo com Guimarães et al. (2015), sistemas de manejo que adotam práticas conservacionistas, favorecem a manutenção da fauna invertebrada epigéica em áreas agrícolas.

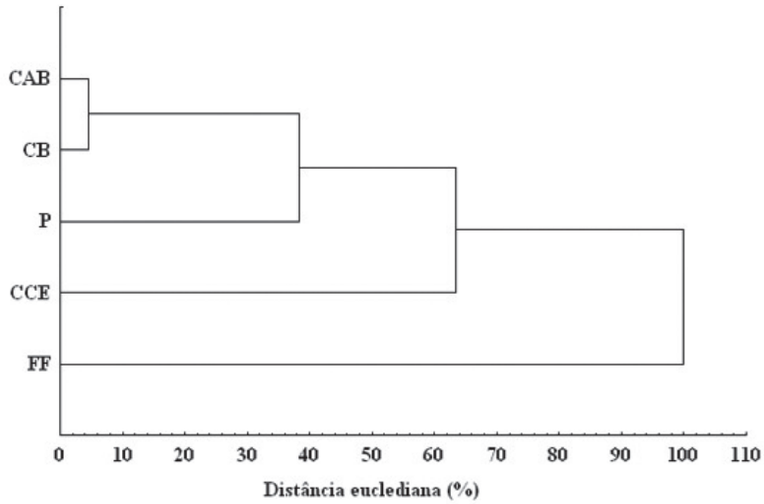

FIGURA 1 - Dendograma de dissimilaridade da comunidade dos invertebrados epígeos, com base na distância euclidiana, sob diferentes sistemas de cultivo do cafeeiro, pousio e fragmento florestal (Médias das duas épocas de coleta). Santo Antônio do Jardim, SP, 2015.

4 CONCLUSÕES

1. Os fatores climáticos relacionado às épocas de coleta, assim como os diferentes sistemas avaliados influenciam na abundância, riqueza, diversidade e equitabilidade dos grupos de organismos do solo.

2. Os sistemas adotados favorecem os grupos Collembola, Formicidae e Diptera, principalmente em épocas de maior precipitação pluviométrica.

3. O sistema FF mostra-se o mais diversificado e de maior complexidade vegetal, sendo este tratamento o que ofereceu melhores condições de desenvolvimento da fauna epigéica, seguidos por CAB, P, CB e CCE.

5 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao senhor Jefferson Rissato Adorno, família e funcionários da Fazenda Retiro Santo Antônio, por autorizarem a realização deste estudo em sua propriedade e por toda ajuda disponibilizada ao longo da realização desta pesquisa.

6 REFERÊNCIAS

ABREU, R. R. L. et al. Fauna edáfica sob diferentes níveis de palhada em cultivo de cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 44, n. 4, p. 409-416, 2014.

ALMEIDA, D. O. et al. Soil microbial biomass under mulch types in an integrated apple orchard from Southern Brazil. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 68, n. 2, p. 217-222, 2011.

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, 2006.

BERUDE, M. C. et al. A mesofauna do solo e sua importância como bioindicadora. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 11, n. 22, p. 14-28, 2015.

CARVALHO, A. F. **Água e radiação em sistemas agroflorestais com café no território da Serra do Brigadeiro, MG**. 2011. 118 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de plantas) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2011.

CASSAGNE, N. et al. Endemic Collembola, privileged bioindicators of forest management. **Pedobiologia**, Leipzig, v. 50, n. 2, p. 127-134, 2006.

COELHO, R. A. et al. Influência do sombreamento sobre a população de plantas espontâneas em área cultivada com cafeeiro (*Coffea canephora*) sob manejo orgânico. **Agronomia**, Rio de Janeiro, v. 38, n. 2, p. 23-28, 2004.

CHAER, G. M. et al. Shifts in microbial community composition and physiological profiles across a gradient of induced soil degradation. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 73, n. 4, p. 1327-1334, 2009.

CLAESSEN, M. E. C. (Org.). **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPS, 1997. 212 p.

DALMAGO, G. A. et al. Retenção e disponibilidade de água às plantas, em solo sob plantio direto e preparo convencional. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 13, p. 855-864, 2009.

DRESCHER, M. S. et al. Fauna epigeica em sistemas de produção de Nicotianatabacum L. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, n. 1, p. 1499-1507, 2011.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília, 2006. 306 p.

FABRIZZI, K. P. et al. Soil water dynamics, physical properties and corn and wheat responses to minimum and no-tillage systems in the southern Pampas of Argentina. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 81, n. 1, p. 57-69, 2005.

FERNANDES, M. M. et al. Influência de diferentes coberturas florestais na fauna do solo na Flona Mário Xavier, no município de Seropédica, RJ. **Floresta**, Curitiba, v. 41, n. 1, p. 533-540, 2011.

FROUZ, J. et al. Effects of soil macrofauna on other soil biota and soil formation in reclaimed and unreclaimed post mining sites: results of a field microcosm experiment. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, v. 33, n. 3, p. 308-320, 2006.

GIOMO, G. S.; BORÉM, F. M. Cafés especiais no Brasil: opção pela qualidade. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 36, n. 261, p. 1-16, 2011.

GUIMARÃES, N. F. et al. Influência de sistemas de produção de café orgânico arborizado sobre a diversidade da fauna invertebrada epigéica. **Coffee Science**, Lavras, v. 10, n. 3, p. 280-288, 2015.

HOFMANN, R. B.; NASCIMENTO, M. S. V.; DINIZ, A. A. Diversidade da mesofauna edáfica como bioindicadora para o manejo do solo em areia, Paraíba, Brasil. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 22, n. 3, p. 121-125, 2009.

JARAMILLO-BOTERO, C. et al. Produção de serrapilheira e aporte de nutrientes de espécies arbóreas nativas em um sistema agroflorestal na Zona da Mata de Minas Gerais. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 32, n. 5, p. 869-877, 2008.

JARAMILLO-BOTERO, C.; MARTINEZ, H. E. P.; SANTOS, R. H. S. Características do café (*Coffea arabica* L.) sombreado no norte da América Latina e no Brasil: análise comparativa. **Coffee Science**, Lavras, v. 1, n. 2, p. 94-102, 2006.

LAWES, M. J. et al. Epigeic invertebrates as potential ecological indicators of afromontane forest condition in South Africa. **Biotropica**, Belo Horizonte, v. 37, n. 1, p. 109-118, 2006.

MANHAES, C. M. C.; FRANCELINO, F. M. A. Biota do solo e suas relações ecológicas com o sistema radicular. **Nucleus**, Ituverava, v. 10, n. 2, p. 127-138, 2013.

MARTINS, S. C. S. et al. Efeito do pousio na recuperação de um solo sob caatinga no semiárido brasileiro. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 10, n. 19, p. 2194-2204, 2014.

MAUNSELL, S. C. et al. Springtail (Collembola) assemblages along an elevational gradient in Australian subtropical rainforest. **Australian Journal of Entomology**, Canberra, v. 52, p. 114-124, 2012.

NUNES, L. A. P. L.; ARAÚJO FILHO, J. A.; MENEZES, R. I. Q. Recolonização da fauna edáfica em áreas de Caatinga submetidas a queimadas. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 21, n. 1, p. 214-220, 2008.

OLIVEIRA, M. L. et al. Flutuações de temperatura e umidade do solo em resposta à cobertura vegetal. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 9, n. 4, p. 535-539, 2005.

OLIVEIRA FILHO, L. C. I. Mesofauna de solo construído em área de mineração de carvão. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lages, v. 14, n. 1, p. 55-64, 2015.

OLIVEIRA FILHO, L. C. I.; BARETTA, D.; SANTOS, J. C. P. Influência dos processos de recuperação do solo após mineração de carvão sobre a mesofauna edáfica em Lauro Müller, Santa Catarina, Brasil. **Biotemas**, Florianópolis, v. 27, n. 2, p. 69-77, 2014.

PEREIRA, R. C.; ALBANEZ, J. M.; MAMÉDIO, I. M. P. Diversidade da meso e macrofauna edáfica em diferentes sistemas de manejo de uso do solo em Cruz das Almas, BA. **Magistra**, Cruz das Almas, v. 24, p. 63-76, 2012. Número especial.

PIELOU, E. C. **Mathematical ecology**. New York: Wiley, 1977. 385 p.

RICCI, M. D. S. F. et al. Produção de biomassa e acúmulo de nutrientes pela vegetação espontânea em cultivo de café orgânico. **Coffee Science**, Lavras, v. 5, n. 1, p. 17-27, 2010.

ROCHA, O. C. et al. Qualidade físico-hídrica de um latossolo sob irrigação e braquiária em lavoura de café no cerrado. **Coffee Science**, Lavras, v. 9, n. 4, p. 516-526, 2014.

SEKI, A. S. et al. Efeitos de práticas de descompactação do solo em área sob sistema plantio direto. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 46, n. 3, p. 460-468, 2015.

SHANNON, E. V.; WEAVER, W. **The mathematical theory of communication**. Urbana: University of Illinois Press, 1949. 144 p.

SILVA, C. F. et al. Fauna edáfica em áreas de agricultura tradicional no entorno do Parque Estadual da Serra do Mar em Ubatuba (SP). **Revista Ciências Agrárias**, Belém, v. 52, n. 1, p. 107-115, 2009.

SILVA, C. J. et al. Produção de serrapilheira no Cerrado e Floresta de Transição Amazônia-Cerrado do Centro-Oeste Brasileiro. **Acta Amazônica**, Manaus, v. 37, n. 4, p. 543-548, 2007.

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, 2011.

SILVA, F. de A. S. **ASSISTAT**. Versão 7.6 beta. Campina Grande: UFPR, 2012. Disponível em: <http://www.assistat.com/index.html>. Acesso em: 20 out. 2015.

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, 2012.

SILVA, R. F. et al. Fauna edáfica influenciada pelo uso de culturas e consórcios de cobertura do solo. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 43, n. 2, p. 130-137, 2013.

SIMPSON, J. E. et al. Factors affecting soil fauna feeding activity in a fragmented lowland temperate deciduous woodland. **PLoS ONE**, San Francisco, v. 7, n. 1, p. 1-6, 2012.

STATISTICA for Windows release 4.5: statsoft: modulo cluster análises, joining, tree clostering. Hamburg: Pearson R Single Linkage, 1997.

TOLEDO, L. O. **Aporte de serrapilheira, fauna edáfica e taxa de decomposição em áreas de floresta secundária no município de Pinheiral, RJ**. 2001. 80 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestais) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2003.

WALKER, D. Diversity and stability. In: CHERRETT, J. M. (Ed.). **Ecological concepts**. Oxford: Blackwell Scientific Public, 1989. p. 115-146.

WARREN, M. W.; ZOU, X. Soil macrofauna and litter nutrients in three tropical tree plantations on a disturbed site in Puerto Rico. **Forest Ecology and Management**, Leuven, v. 170, n. 1, p. 161-171, 2002.

MODELAGEM DO DIÂMETRO DE COPA DO CAFEEIRO PODADO CULTIVADO EM DIFERENTES DENSIDADES E REGIMES HÍDRICOS

Adriele Aparecida Pereira[1], Augusto Ramalho de Morais[2], Myriane Stella Scalco[3], Tales Jesus Fernandes[4]

(Recebido: 05 de fevereiro de 2016; aceito: 03 de junho de 2016)

Resumo: O objetivo neste trabalho foi descrever e analisar, por meio dos modelos Brody e Logístico, a evolução do diâmetro de copa de plantas do cafeeiro, cultivadas em duas densidades de plantio e submetidas a cinco regimes de irrigação, após a poda por esqueletamento e decote. Os dados analisados são provenientes de experimento realizado na Universidade Federal de Lavras, em Lavras, Minas Gerais. Após a poda da lavoura, os dados foram coletados trimestralmente no período que compreendeu fevereiro de 2008 a novembro de 2010, totalizando 12 medições. Com base no coeficiente de determinação e critério de informação de Akaike corrigido, o modelo não linear Logístico destacou-se como mais eficiente na descrição do diâmetro de copa do cafeeiro podado. Em todos os regimes de irrigação estudados o adensamento não afetou negativamente o crescimento das plantas. As maiores estimativas para o diâmetro de copa assintótico e índice de crescimento foram obtidas com os regimes irrigados, indicando que a irrigação pode contribuir para a plena recuperação da lavoura podadas.

Termos para indexação: *Coffea arabica*, característica vegetativa, irrigação, adensamento, regressão não linear.

MODELING OF THE DIAMETER OF THE CANOPY PRUNED COFFEE TREE CULTIVATED IN DIFFERENT DENSITIES AND WATER REGIMES

ABSTRACT: *The objective of authors was to describe and analyze, by means of the Brody and Logistics models, the evolution of the diameter of the canopy of coffee plants, cultivated in two planting densities and submitted to five irrigation regimes, after pruning. The analyzed data are originated from an experiment performed at the Universidade Federal de Lavras, in Lavras, Minas Gerais. After pruning the crop, the data were collected quarterly during the period that comprised February of 2008 to November of 2010, totalizing 12 measurements. Based on the coefficient of determination and corrected Akaike information criterion, the Logistic non-linear model was more efficient in describing the growth of the pruned coffee tree. In all studied irrigation systems, the increase in plantation density did not affect plant growth negatively. The highest estimations for asymptotic canopy diameter and growth index were obtained with the irrigated systems, showing that irrigation can contribute for the full recovery of pruned crops.*

Index terms: *Coffea arabica, vegetative characteristic, irrigation, spacing of planting, nonlinear regression.*

1 INTRODUÇÃO

Atualmente o Brasil mantém sua posição de maior produtor e exportador de café do mundo, além de ser o segundo maior consumidor. Em 2014, o parque cafeeiro foi estimado em 2,256 milhões de hectares e a safra ultrapassou 45,3 milhões de sacas de café beneficiado, sendo Minas Gerais responsável por mais de 50% da produção nacional (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB, 2015).

Maior produtividade, melhor desenvolvimento vegetativo e bebida de melhor qualidade são atributos que têm sido avaliados nas pesquisas com lavouras cafeeiras irrigadas (ASSIS et al., 2014; CARVALHO et al., 2006; GOMES; LIMA; CUSTÓDIO, 2007; PEREIRA et al., 2014; SILVA et al., 2011).

Rodrigues et al. (2010) avaliaram o crescimento vegetativo do cafeeiro, submetido a diferentes lâminas de irrigação, 0, 50 e 100% da capacidade de campo, no município de Rolim de Moura-RO. Mesmo sendo uma região considerada inapta para o cultivo do café arábica, os autores verificaram que o desenvolvimento em altura, diâmetro de copa e número de ramos plagiotrópicos foi influenciado pela irrigação, apresentando aumentos significativos em relação ao tratamento não irrigado.

Em Lavras-MG, Arantes et al. (2006) analisaram o crescimento vegetativo do cafeeiro recepado em função das lâminas d'água, 0, 40, 80 e 120% do saldo positivo do balanço entre evaporação do Tanque classe A e precipitação. Dentre outros resultados, foi verificado que a lâmina de 120% proporcionou à altura de plantas e ao diâmetro de copa, ganhos de 23 e 15%, respectivamente, em relação ao tratamento não irrigado.

[1,2,4] Universidade Federal de Lavras/UFLA - Departamento de Estatística/DES -Cx. P. 3037- 37.2000-000 - Lavras - MG adrieleapvga@yahoo.com.br, armorais@des.ufla.br, talesest@yahoo.com.br
[3] Universidade Federal de Lavras/UFLA - Departamento de Engenharia/DEG -Cx. P. 3037- 37.200-000 - Lavras - MG - msscalco@deg.ufla.br

Ao avaliarem a evolução de características vegetativas do cafeeiro, cultivar Mundo Novo IAC 376-4, após a poda por esqueletamento e decote, considerando o efeito de seis supressões de irrigação, Custódio et al. (2013) verificaram que, o cafeeiro não irrigado apresentou menor crescimento em diâmetro de copa.

A densidade de plantio utilizada é outro fator que pode afetar tanto o desenvolvimento vegetativo quanto a produção das plantas (PEREIRA et al., 2011).

Os sistemas adensados, que consistem no plantio de mais de 5000 plantas por hectare (plantas ha^{-1}), têm sido empregados visando, principalmente, a otimização das áreas cultivadas e aumento da produtividade (ARANTES et al., 2006; NASCIMENTO; SPEHAR; SANDRI, 2014).

Paulo, Furlani Júnior e Fazuoli (2005) analisaram o crescimento das cultivares Catuaí Amarelo IAC 47 e Obatã IAC 1669-20 cultivadas nas densidades de plantio 2500, 5000, 7519 e 10000 plantas ha^{-1}, em Adamantina-SP. Dentre os resultados, eles verificaram que, o aumento da densidade influenciou positivamente a altura de plantas e negativamente o diâmetro de caule e de copa.

Na literatura, encontram-se vários trabalhos que analisam separadamente o crescimento em diferentes densidades e regimes de irrigação, como os citados acima. Entretanto, segundo Carvalho et al. (2006), ao fazer uso da irrigação, deve-se considerar que as necessidades hídricas das plantas estão diretamente relacionadas com a densidade de plantio utilizada. Assim, destaca-se a importância de pesquisas que visam analisar conjuntamente o efeito de diferentes regimes de irrigação e densidades de plantio no crescimento do cafeeiro.

A descrição e a análise do crescimento de plantas ao longo do tempo têm sido realizadas por meio dos modelos de regressão não lineares; uma vantagem desses modelos é que seus parâmetros apresentam interpretação biológica (BATISTA et al., 2013; ESPIGOLAN et al., 2013; FERNANDES et al., 2014; MAIA et al., 2009; TERRA; MUNIZ; SAVIAN, 2010), contribuindo para o melhor conhecimento sobre o crescimento e desenvolvimento da cultura em estudo (PEREIRA et al., 2014).

Carvalho et al. (2006) utilizaram o modelo de regressão não linear Logístico para descrever o crescimento em altura e diâmetro de copa de plantas do cafeeiro cultivadas nas densidades 2500 e 10000 plantas ha^{-1} e submetidas aos regimes não irrigado e irrigado em tensões próximas de 20 e 100 kPa, ao longo do desenvolvimento inicial da lavoura (de 0 à 990 dias após o plantio). Foi verificado que as plantas irrigadas apresentaram maior altura e diâmetro de copa em relação às não irrigadas, e que para o período de avaliação estudado o diâmetro de copa não apresentou diferenças significativas entre as densidades de plantio.

Pereira et al. (2014) verificaram que o modelo não linear Gompertz descreveu satisfatoriamente o crescimento em altura de plantas do cafeeiro, cultivadas nas densidades 3333 e 10000 plantas ha^{-1}, não irrigadas e irrigadas em tensões próximas de 20 e 60 kPa. Dentre os resultados foi verificado que as plantas mais altas ocorreram na maior densidade e nos regimes irrigados.

O objetivo neste trabalho foi descrever e analisar, por meio dos modelos Brody e Logístico, a evolução do diâmetro de copa de cafeeiros cultivados em duas densidades de plantio e submetidas a cinco regimes de irrigação, após a poda por esqueletamento e decote.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Os dados referentes ao diâmetro de copa do cafeeiro, cultivar Rubi MG 1192, correspondem aos resultados de experimento realizado na Universidade Federal de Lavras, em Lavras, Minas Gerais.

O plantio da lavoura foi realizado em janeiro de 2001, após a área ter recebido o preparo adequado. Durante a condução do experimento, os tratos culturais e o controle fitossanitário foram executados seguindo as recomendações para a cultura. As aplicações de adubos e a calagem foram feitas de acordo com a análise de solo e, os micronutrientes foram fornecidos por meio da adubação foliar.

Foram consideradas duas densidades de plantio, 5000 e 10000 plantas ha^{-1}, e cinco regimes de irrigação: 0 (testemunha), irrigações em tensões próximas a 20 e 60 kPa durante o ano todo, irrigações em tensões próximas a 20 e 60 kPa com suspensão/repouso nos meses de julho e agosto (kPaR).

O delineamento experimental utilizado foi blocos casualizados, com quatro repetições, totalizando 40 parcelas. O experimento foi conduzido em duas áreas contíguas, nas quais foram alocadas as densidades de plantio. Cada

uma dessas áreas foi repartida em quatro porções, as quais constituíram os blocos. Dentro de cada bloco foram sorteados os regimes de irrigação, e as épocas de avaliação (dias após a poda) constituíram as subparcelas no tempo.

O sistema de irrigação por gotejamento foi instalado considerando uma linha lateral de gotejadores autocompensantes, com vazão de 3,75 L h^{-1}, espaçados de 0,4 m na linha, formando uma faixa molhada contínua ao longo da linha de plantio. As irrigações ocorreram quando o tensiômetro, na profundidade de 25 cm, registrou no tensímetro a leitura de tensão correspondente àquele tratamento. Os tensiômetros foram colocados em uma repetição de cada regime hídrico. Cada parcela foi constituída por uma linha de plantio, com dez plantas.

Em novembro de 2007, quando a lavoura tinha aproximadamente sete anos de idade, foi feita a poda por esqueletamento e decote. Após esse procedimento, foram realizadas medições trimestrais do diâmetro de copa (em metros), sendo que a primeira ocorreu em fevereiro de 2008, e a última em novembro de 2010.

O diâmetro de copa foi representado pela média das oito plantas centrais (úteis) de cada unidade experimental.

A primeira análise feita foi a análise de variância. Como a interação tripla (densidades*regimes de irrigação*tempo) apresentou efeito significativo, realizou-se o desdobramento, de modo a analisar a evolução do diâmetro de copa ao longo do tempo, em cada combinação entre as densidades de plantio e os regimes de irrigação. A seguir são apresentados, respectivamente, os modelos de regressão não lineares Logístico (SOUSA et al., 2014) e Brody (ESPIGOLAN et al., 2013), utilizados nos ajustes:

$$y_t = \frac{\alpha}{1 + e^{-k*(t-\beta)}} + e_t$$

$$y_t = \alpha * [1 - e^{-k*(t-\beta)}] + e_t$$

em que, y_t representa o diâmetro de copa médio observado no tempo t; t – dias após a poda, t = 90, 180, ..., 1080 após a poda; α – assíntota (diâmetro de copa máximo a ser atingido pelas plantas); k – índice de crescimento (relaciona-se com a taxa de crescimento, de forma que quanto maior for este valor, menos tempo as plantas levam para atingir α); β – no modelo Logístico, indica o ponto de inflexão; no Brody, não apresenta interpretação direta; e, t – erro aleatório associado à observação y_t, o qual pressupõe-se que seja distribuído segundo uma normal de forma independente e com variâncias homogêneas, ou seja, $e_t \sim N(0, I\sigma^2)$.

Na estimação dos parâmetros foi utilizado o método de mínimos quadrados ordinários, que considera as pressuposições supracitadas. Posteriormente, considerando o nível de significância de 5%, foi feita a análise de resíduos, sendo utilizado o teste de normalidade de Shapiro-Wilk; o teste de Breusch-Pagan, para verificar a homocedasticidade e, o de Durbin-Watson, para verificar a independência residual.

Caso algum pressuposto não fosse atendido, a estimação dos parâmetros deveria ser refeita, considerando os resultados da análise de resíduos, pois caso contrário, os resultados obtidos não seriam coerentes (PRADO; SAVIAN; MUNIZ, 2013).

Para identificar o modelo que melhor descreveu a evolução do diâmetro de copa do cafeeiro podado ao longo do tempo, foram utilizados os critérios: coeficiente de determinação (R^2) e critério de informação de Akaike corrigido (AICc), cujas expressões são apresentadas abaixo.

$$R^2 = 1 - \frac{SQR}{SQT}$$

$$AICc = AIC + \frac{2p(p+1)}{n-p-1}$$

em que, SQR é a soma de quadrados dos resíduos; SQT é a soma de quadrados total; AIC é a estimativa do critério de Akaike; n é o número de observações e, p é o número de parâmetros.

Todas as análises foram feitas utilizando funções específicas do software R, versão 3.1.1. Os ajustes, por exemplo, foram feitos utilizando a função "nls()" do pacote "stats" e, para a análise de resíduos foram usadas as funções "shapiro.test()" do pacote "stats", "durbin.watson()" e "bptest()" presentes no pacote "lmtest".

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1 são apresentados os resultados referentes à análise de resíduos, considerando os ajustes dos modelos Logístico e Brody pelo método de mínimos quadrados ordinários, nas densidades e regimes de irrigação estudados.

De acordo com a Tabela 1, verifica-se que as pressuposições de normalidade, homocedasticidade e independência residual foram atendidas (valor-p > 0,05) em todos os ajustes realizados, indicando que não há necessidade

de realizar uma transformação nos dados e/ou considerar um parâmetro de autocorrelação residual.

As estimativas obtidas para o coeficiente de determinação (R^2) e critério de informação de Akaike corrigido (AICc), para todos os ajustes feitos, são apresentadas a seguir na Tabela 2.

Analisando os resultados (Tabela 2), apesar das estimativas para os dois modelos serem bem próximas, pode-se identificar que, o modelo Logístico apresentou os maiores valores para o R^2, todos acima de 91%, e os menores para o AICc; exceto na maior densidade e regime 60 kPa.

Desta forma, segundo esses dois critérios de seleção, o modelo Logístico é o que melhor descreveu a evolução do diâmetro de copa ao longo do tempo, nas densidades de plantio e regimes de irrigação estudados. Esse resultado está de acordo com o encontrado por Carvalho et al. (2006), que também utilizaram o modelo não linear Logístico para descrever o diâmetro de copa, obtendo coeficientes de determinação acima de 93%. Já Arantes et al. (2006), modelaram esta mesma característica vegetativa pelo modelo linear simples e obtiveram coeficiente de determinação menor que 86%.

Na Tabela 3 são apresentadas as estimativas dos parâmetros do modelo Logístico nas densidades e regimes de irrigação analisados.

Em cada regime de irrigação, ao comparar os valores estimados para o parâmetro α (Tabela 3), observa-se que as maiores estimativas para o diâmetro de copa assintótico são observadas na maior densidade de plantio. Essas estimativas estão em conformidade com o crescimento médio observado: as plantas cultivadas na maior densidade apresentaram um crescimento médio de 99 cm ao longo do período analisado, enquanto as cultivadas na densidade 5000 plantas ha^{-1} atingiram um crescimento médio de 82 cm. No entanto, esses resultados divergem do encontrado por Paulo, Furlani Júnior e Fazuoli (2005), pois estes verificaram que o adensamento afetou negativamente o crescimento do diâmetro de copa das plantas. Ao estudar a variável altura de plantas do cafeeiro cultivadas em diferentes espaçamentos e regimes hídricos, Assis et al. (2014) também verificaram que as plantas cultivadas nos sistemas mais adensados apresentaram maior crescimento.

TABELA 1 - Valores-p obtidos para os testes de Shapiro-Wilk (SW), Durbin-Watson (DW) e Breusch-Pagan (BP), considerando os ajustes dos modelos Logístico (L) e Brody (B) nos regimes de irrigação testemunha, 20 e 60 kPa, 20 e 60 kPaR e nas densidades de plantio 5000 e 10000 plantas ha^{-1}.

	Densidade 5000 plantas ha^{-1}											
	Testemunha			20 kPa			20 kPaR			60 kPa			60 kPaR	
	B	L	B	L	B	L	B	L	B	L	B	L
DW	0,24	0,51	0,89	0,88	0,59	0,86	0,43	0,61	0,66	0,97		
BP	0,67	0,82	0,79	0,66	0,91	0,64	0,23	0,19	0,37	0,32		
SW	0,16	0,14	0,22	0,26	0,44	0,62	0,70	0,29	0,64	0,73		
	Densidade 10000 plantas ha^{-1}											
DW	0,47	0,81	0,23	0,43	0,32	0,61	0,96	0,86	0,67	0,84		
BP	0,13	0,14	0,12	0,20	0,10	0,11	0,12	0,10	0,18	0,19		
SW	0,67	0,22	0,86	0,85	0,50	0,41	0,52	0,18	0,16	0,13		

Já em relação à diferença entre as estimativas obtidas para as plantas irrigadas e não irrigadas, nota-se na densidade de plantio 5000 plantas ha^{-1} (Tabela 3), uma diferença considerável no diâmetro de copa assintótico (α), chegando a 23 cm; tal resultado corrobora os obtidos por Alves et al. (2000), Carvalho et al. (2006) e Rodrigues et al. (2010) de que a irrigação contribui para o crescimento das plantas, proporcionando maior vigor à lavoura, mesmo em regiões propicias ao cultivo do café, como é o caso do Sul de Minas Gerais.

Em ambas as densidades de plantio, as estimativas obtidas para o índice de crescimento k (Tabela 3), evidenciam que as plantas que receberam algum nível de irrigação apresentaram desenvolvimento mais acelerado que as não irrigadas (uma vez que foram obtidos os maiores valores de k), sinalizando que a irrigação pode contribuir para a plena recuperação das lavouras podadas (ARANTES et al., 2006).

Os ajustes do modelo Logístico, em seis situações analisadas, são apresentados na Figura 1.

Pelos ajustes apresentados na Figura 1, nota-se que as irrigações contínuas (20 e 60 kPa) apresentaram moderada superioridade em relação às irrigações com pausa (20 e 60 kPaR), no entanto, para inferir precisamente sobre o efeito da pausa na irrigação, faz-se necessário a realização de outras análises mais específicas.

TABELA 2 - Valores obtidos para os avaliadores de qualidade de ajuste - coeficiente de determinação (R^2) e critério de informação de Akaike corrigido (AICc), considerando os ajustes dos modelos Logístico (L) e Brody (B) nos regimes de irrigação testemunha, 20 e 60 kPa, 20 e 60 kPaR e nas densidades de plantio 5000 e 10000 plantas ha^{-1}.

	Densidade 5000 plantas ha^{-1}									
	Testemunha		20 kPa		20 kPaR		60 kPa		60 kPaR	
	B	L	B	L	B	L	B	L	B	L
R^2 (%)	95,28	95,72	94,04	94,20	92,53	93,01	91,72	92,03	91,50	91,97
AICc	-22,01	-23,11	-17,74	-18,06	-15,62	-16,33	-14,48	-14,89	-14,02	-14,62
	Densidade 10000 plantas ha^{-1}									
R^2 (%)	96,96	97,07	95,93	96,26	95,23	95,52	94,02	93,99	95,10	95,13
AICc	-26,51	-26,96	-21,55	-22,49	-19,93	-20,63	-17,59	-17,55	-19,52	-19,61

TABELA 3 - Estimativas para os parâmetros α, β e k do modelo Logístico considerando os regimes de irrigação testemunha, 20 e 60 kPa, 20 e 60 kPaR e as densidades de plantio 5000 e 10000 plantas ha^{-1}.

	Densidade 5000 plantas ha^{-1}				
	Testemunha	20 kPa	20 kPaR	60 kPa	60 kPaR
α	1,99	2,19	2,21	2,22	2,12
β	41,36	28,69	17,88	7,25	25,45
k	0,0045	0,0049	0,0050	0,0046	0,0046
	Densidade 10000 plantas ha^{-1}				
α	2,14	2,25	2,22	2,26	2,22
β	22,74	30,21	27,24	6,58	25,75
k	0,0038	0,0044	0,0042	0,0040	0,0039

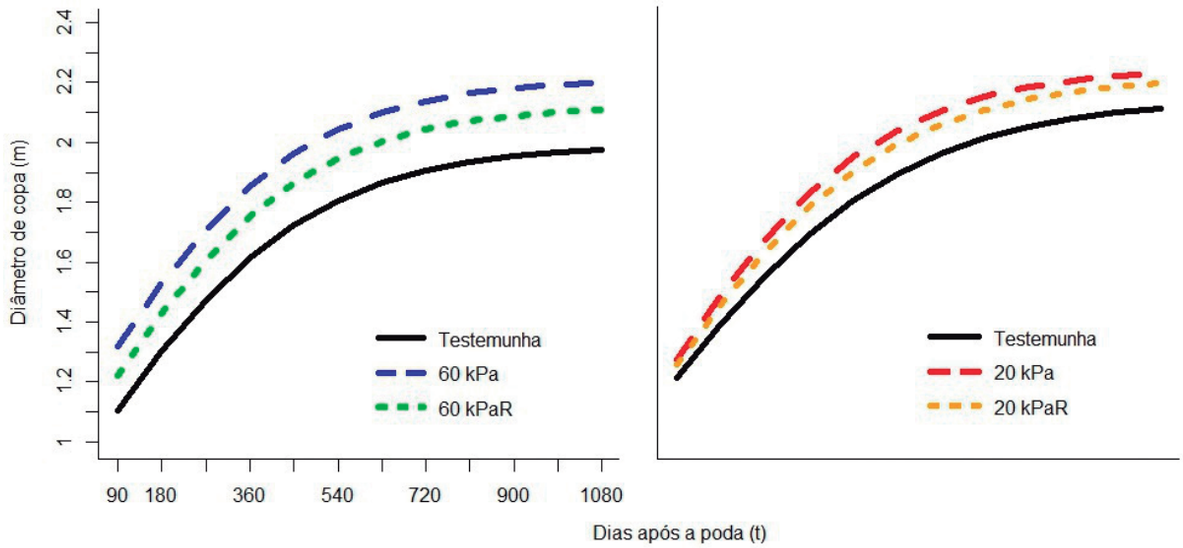

FIGURA 1 - Ajustes do modelo Logístico considerando a densidade de plantio 5000 plantas ha^{-1} e os regimes de irrigação testemunha, 60 kPa e 60 kPaR (figura à esquerda), e a densidade 10000 plantas ha^{-1} e os regimes de irrigação testemunha, 20 kPa e 20 kPaR (figura à direita).

4 CONCLUSÕES

Nas condições em que este estudo foi realizado e considerando os dados analisados, pode-se concluir que:

Em todos os regimes de irrigação estudados o adensamento não afeta negativamente o crescimento das plantas.

As maiores estimativas para o diâmetro de copa assintótico e índice de crescimento foram obtidas com os regimes irrigados, indicando que a irrigação pode contribuir para a plena recuperação das lavouras podadas.

Com base no coeficiente de determinação e critério de informação de Akaike corrigido, o modelo não linear Logístico se mostra mais eficiente na descrição do diâmetro de copa do cafeeiro após a poda.

5 AGRADECIMENTOS

Ao CNPq, pela concessão de bolsa de estudos à primeira autora; ao Consórcio Pesquisa Café, à Fapemig e CNPq pelo apoio financeiro ao projeto na execução do experimento.

6 REFERÊNCIAS

ALVES, M. E. B. et al. Crescimento do cafeeiro sob diferentes lâminas de irrigação e fertirrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 4, n. 2, p. 219-225, 2000.

ARANTES, K. R. et al. Desenvolvimento do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) podado sob irrigação. **Revista de Ciências Agro-Ambientais**, Alta Floresta, v. 4, n. 1, p. 75-86, 2006.

ASSIS, G. A. de et al. Correlação entre crescimento e produtividade do cafeeiro em função do regime hídrico e densidade de plantio. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 30, n. 3, p. 666-676, 2014.

BATISTA, E. L. da S. et al. Modelagem do crescimento de cultivares de cana-de-açúcar no período de formação da cultura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 17, n. 10, p. 1080-1087, 2013.

CARVALHO, C. H. M. de et al. Evolução do crescimento do cafeeiro (*Coffea arábica* L.) irrigado e não irrigado em duas densidades de plantio. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 30, n. 2, p. 243-250, mar./abr. 2006.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira:** café. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/>. Acesso em: 18 nov. 2015.

CUSTÓDIO, A. A. de P. et al. Características vegetativas e produtivas de cafeeiros em diferentes supressões de irrigação e faces de exposição. **Coffee Science**, Lavras, v. 8, n. 4, p. 411-422, 2013.

ESPIGOLAN, R. et al. Aplicação de modelos não lineares para descrever a evolução de características de crescimento e carcaça em bovinos da raça Hereford. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 43, n. 3, p. 513-519, 2013.

FERNANDES, T. J. et al. Seleção de modelos não lineares para a descrição das curvas de crescimento do fruto do cafeeiro. **Coffee Science**, Lavras, v. 9, n. 2, p. 207-215, 2014.

GOMES, N. M.; LIMA, L. A.; CUSTÓDIO, A. A. de P. Crescimento vegetativo e produtividade do cafeeiro irrigado no sul do estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 11, n. 6, p. 564-570, 2007.

MAIA, E. et al. Método de comparação de modelos de regressão não-lineares em bananeiras. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, n. 5, p. 1380-1386, 2009.

NASCIMENTO, L. M.; SPEHAR, C. R.; SANDRI, D. Produtividade de cafeeiro orgânico no cerrado após a poda sob diferentes regimes hídricos. **Coffee Science**, Lavras, v. 9, n. 3, p. 354-365, 2014.

PAULO, E. M.; FURLANI JÚNIOR, E.; FAZUOLI, L. C. Comportamento de cultivares de cafeeiro em diferentes densidades de plantio. **Bragantia**, Campinas, v. 64, n. 3, p. 397-409, 2005.

PEREIRA, A. A. et al. Descrição do crescimento vegetativo do cafeeiro cultivar Rubi MG1192, utilizando modelos de regressão. **Coffee Science**, Lavras, v. 9, n. 2, p. 266-274, 2014.

PEREIRA, S. P. et al. Crescimento, produtividade e bienalidade do cafeeiro em função do espaçamento de cultivo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 46, n. 2, p. 152-160, fev. 2011.

PRADO, T. K. L. do; SAVIAN, T. V.; MUNIZ, J. A. Ajuste dos modelos Gompertz e Logístico aos dados de crescimento de frutos de coqueiro anão verde. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 43, n. 5, p. 803-809, 2013.

RODRIGUES, S. et al. Desenvolvimento do café arábica (*Coffea arabica*) submetido a diferentes lâminas de irrigação, nas condições do estado de Rondônia. **Global Science and Technology**, Rio Verde, v. 3, n. 1, p. 44-49, 2010.

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, 2011.

SOUSA, I. F. et al. Fitting nonlinear autoregressive models to describe coffee seed germination. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 44, n. 11, p. 2016-2021, 2014.

TERRA, M. F.; MUNIZ, J. A.; SAVIAN, T. V. Ajuste dos modelos logístico e Gompertz aos dados de crescimento de frutos da tamareira-anã (*Phoenix roebelenni* O'BRIEN). **Magistra**, Cruz das Almas, v. 22, n. 1, p. 1-7, 2010.

ESTUDOS DE CASOS DE CLASSIFICAÇÃO DE ÁREAS CULTIVADAS COM CAFÉ POR MEIO DE DESCRITORES DE TEXTURA

Lucas Silva da Silveira[1], Domingos Sárvio Magalhães Valente[2],
Francisco de Assis Carvalho Pinto[3], Fábio Lúcio Santos[4]

(Recebido: 17 de fevereiro de 2016; aceito: 03 de junho de 2016)

RESUMO: O objetivo neste trabalho foi desenvolver um sistema para identificar áreas cultivadas com café utilizando Redes Neurais Artificiais (RNAs) tendo como variáveis de entrada os descritores de textura de Haralick. Utilizou-se o algoritmo de treinamento do tipo retro-propagação do erro (*backpropagation*) e o método de Levenberg-Marquardt. Foram realizados dois estudos de casos: no primeiro, as RNAs foram desenvolvidas para discriminar entre as classes café, mata, água, solo exposto, pastagem e área urbana; no segundo, as RNAs foram desenvolvidas para classificar as plantações de café de acordo com a idade e com a data de recepa. Para a avaliação do desempenho de classificação das RNAs empregou-se um mapa de referência de uso e ocupação do solo elaborado por meio do Sistema de Informações Geográficas. A concordância entre os mapas temáticos, classificados pela RNA, e o mapa de referência foi avaliada pelo coeficiente Kappa. Verificou-se que o coeficiente Kappa para discriminar a região cafeeira das outras classes temáticas foi de 0,652 no primeiro estudo de caso, desempenho considerado muito bom. Para classificar os plantios de café em função da idade e data de recepa o índice Kappa foi variável (0,675 a 0,4783), sendo considerado muito bom para a fazenda Itatiaia e razoável para a fazenda Pedra Redonda.

Termos para indexação: Redes neurais artificiais, sensoriamento remoto, classificação supervisionada.

CASE STUDIES OF CLASSIFICATION OF CULTIVATED AREAS WITH COFFEE BY TEXTURE DESCRIPTORS

ABSTRACT: *The objective of this work is to develop a system to identify areas cultivated with coffee using ANNs having as input variables descriptors Haralick. We used the training algorithm Back-propagation and Levenberg -Marquardt method. There were two cases of study: in the first step, the ANN was trained with representative samples of each class of interest (coffee, forest, water, bare soil, and urban area), thus verifying the potential to discriminate output classes; in the second step the objective was to classify the coffee plantations accordingly with the age. For the evaluation of the classification performance of ANNs was employed a reference map and land use through the Geographic Information System. The concordance between the thematic maps, classified by ANN, and the reference map was evaluated by Kappa index. It was verified that Kappa index for discriminating the coffee region of the other class of interest was 0,652 in the first case study, performance as very good. To classify the coffee plantations accordingly with the age, Kappa index was variable (0.675 to 0.4783), very good for Itatiaia farm and reasonable to Pedra Redonda farm.*

Index terms**:** *Artificial neural networks, remote sensing, supervised classification*.

1 INTRODUÇÃO

Tendo em vista a relevância socioeconômica da atividade cafeeira no Brasil, obter dados referentes às áreas de plantio e a quantidade produzida é imprescindível para o manejo racional dessa cultura e para a definição de políticas públicas para o setor. Atualmente, os dados são obtidos por meio de questionários aplicados junto a produtores, cooperativas e órgãos públicos. Esse procedimento é caracterizado pelo alto custo e pela dificuldade de obtenção de dados em um curto período de tempo (IPPOLITI-RAMILO et al., 1999). Nesse contexto, várias pesquisas vêm sendo desenvolvidas com o objetivo de extrair informações a partir de imagens orbitais para as atividades agrícolas (GALVÃO et al., 2009; RIZZI; RUDORFF, 2007; RUDORFF et al., 2010; SOARES; GALVÃO; FORMAGGIO, 2008).

O uso de imagens orbitais para o gerenciamento de atividades agrícolas é relativamente recente, mas suas potencialidades são amplamente reconhecidas (LAMPARELLI et al., 2012). Para extrair as informações das imagens orbitais, pode ser utilizada a técnica conhecida como classificação de imagens digitais. A classificação de imagens digitais é um procedimento pelo qual, a partir de uma imagem observada, obtém-se uma nova imagem, onde a cada posição é atribuído um rótulo, entre diversos rótulos possíveis. A classificação identifica regiões da imagem que tenham características similares em relação a um determinado tema de interesse.

[1]Secretaria de Agricultura/SEAGRO-Diretoria de Irrigação e Drenagem- Q. 110 Norte Alameda 21, 250- 77006-166- Palmas - TO lucaseng86@gmail.com
[2,3,4]Universidade Federal de Viçosa/UFV - Departamento de Engenharia Agrícola/DEA - Campus Universitário s/n - 36570-900 Viçosa - MG - valente@ufv.br, facpinto@ufv.br, ffabiolss@gmail.com

Dentre os classificadores destacam-se as Redes Neurais Artificiais (RNA) e Máxima Verossimilhança (MAXVER). As RNA possuem a vantagem de não assumir nenhuma distribuição para os dados, tendo a habilidade de aprender por meio de exemplos e generalizar o conhecimento diante de informações que ainda não foram apresentadas (HAYKIN, 2001). Já o MAXVER considera a ponderação das distâncias entre médias dos níveis digitais das classes, utilizando parâmetros estatísticos (NERY et al., 2013).

Moreira et al. (2010) relatam que as lavouras cafeeiras apresentam uma significativa variação na resposta espectral, principalmente, devido a grande diversidade de práticas de manejo, lavouras de diferentes idades, espaçamentos variados e diferentes variedades. A resposta espectral do café e da vegetação natural é muito semelhante (LOPEZ-GOMEZ; WILLIAMS-LINERA; MANSON, 2008), o que dificulta a sua discriminação (MARTÍNEZ-VERDUZCO; GALEANA-PIZAÑA; CRUZ-BELLO, 2012). Por isso, é esperada uma confusão entre essas duas classes. Por outro lado, o que mais diferencia visualmente uma área de mata, de uma área ocupada por café é a textura das imagens (GOMEZ et al., 2010).

Os descritores de textura são definidos como variações tonais repetitivas e organizadas em uma pequena região da imagem (HARALICK; SHANMUGAN; ITSHAK, 1973). Shiguemori, Martins e Monteiro (2007) desenvolveram um sistema de classificação de imagens em tempo real com a utilização de descritores de textura retirados de um banco de dados gerado a partir de uma imagem orbital. O sistema de reconhecimento consistiu no treinamento de uma rede neural baseado nesses descritores de textura para classificação em tempo real de imagens aéreas que foram tomadas a partir de uma câmera acoplada a um helicóptero.

O uso de redes neurais, classificação supervisionada e análise de textura, são técnicas comuns no estudo do mapeamento e classificação de áreas cultivadas com café (GOMEZ et al., 2010; MARTÍNEZ-VERDUZCO; GALEANA-PIZAÑA; CRUZ-BELLO, 2012; TRABAQUINI et al., 2011). Mas a combinação dessas três técnicas para análise e classificação de plantios de café em região de montanha é limitada. Nesse contexto, objetivou-se com esse trabalho desenvolver classificadores neurais para fazer a discriminação de lavouras de café tendo como variável de entrada os descritores de textura de Haralick.

2 MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo foi o município de Araponga, na região da Zona da Mata Mineira, com coordenadas 20º 40’ de latitude Sul e 42º 31’ de longitude Oeste. Esse município possui altitudes que variam de 600 a 2.000m, solos argilosos, e o clima da região apresenta verões brandos e invernos fortes. Segundo a classificação climática de Köppen e Geiger (1928), destaca-se o subtipo tropical de altitude (Cwa), com chuvas durante o verão e temperatura média anual em torno de 19 ºC, com variações médias entre 12 e 26ºC.

Para realizar a classificação automatizada utilizando redes neurais artificiais (RNA), foi adquirida uma imagem de alta resolução do satélite GeoEye-1 com data de passagem no dia 11/07/2012. Essa imagem tem resolução espacial de 1,64 m no modo multiespectral, resolução radiométrica de 11 bits e quatro bandas espectrais: azul (450-520 nm), verde (520-600 nm), vermelho (625-695 nm) e infravermelho próximo (760-900 nm). A área abrangida pela imagem foi de 10 km por 10 km, o que garante a cobertura de várias lavouras de café com diferentes idades no entorno da cidade de Araponga, MG.

Foram desenvolvidos classificadores utilizando-se RNA para dois estudos de caso. No primeiro estudo de caso, foi desenvolvido um classificador para discriminar as plantações de café de outras classes temáticas. Nesta etapa foram definidas cinco classes de interesse: café, mata, área urbana, solo exposto e pastagem e água.

No segundo estudo de caso, foi desenvolvido um classificador para discriminar o estádio de desenvolvimento das plantações de café de acordo com a idade de plantio e data de recepa da planta. Foram feitas visitas de campo para a coleta dos parâmetros da cultura. Os parâmetros idade e data de recepa foram agrupados em classes, de acordo com as suas características, e pela similaridade espectral. Três classes de interesse foram definidas: cafeeiro novo (0-2 anos de idade ou 0-2 anos após a recepa), cafeeiro em desenvolvimento (2-4 anos de idade ou 2-4 anos após a recepa) e cafeeiro em produção (> 4 anos de idade ou > 4 anos após a recepa).

Dessas três classes, foram tomadas aleatoriamente, amostras representativas de cada uma dessas classes de interesse. E com essas amostras foram calculados os descritores de textura de haralick. Esses descritores de textura foram utilizados para treinar a RNA.

Nos dois estudos de casos, as RNAs tiveram como parâmetros de entrada os descritores de textura. Os descritores de textura foram calculados com amostras de blocos recortadas de cada classe de interesse na imagem original.

Os classificadores foram desenvolvidos com base nos seguintes passos: cálculo dos descritores de textura, treinamento das RNAs, verificação do desempenho das RNAs, classificação da imagem pela RNA e qualidade da classificação da imagem.

Para obtenção dos descritores de textura, foram recortadas três dimensões diferentes de blocos de imagens: 5x5, 7x7 e 9x9 pixels.

Os descritores de textura foram calculados de acordo com as Equações 1 a 6 (Tabela 1).

Para a classificação das imagens com os descritores de textura, foram desenvolvidas diversas RNAs no sistema computacional Matlab® (The Mathworks Inc., Massachusetts, USA). Utilizou-se o algoritmo de treinamento do tipo retropropagação do erro (*backpropagation*) com o método de otimização de Levenberg-Marquardt (HAYKIN, 2001).

A arquitetura da RNA utilizada foi do tipo 6-n_1-n_2-n_3: um vetor de entrada com seis descritores de textura, uma primeira camada intermediária com n_1 neurônios artificiais uma segunda camada intermediária com n_2 neurônios artificiais e a camada de saída com n_3 neurônios representando cada classe, cinco neurônios para o primeiro estudo de caso e três para o segundo.

TABELA 1 - Equações utilizadas para cálculo dos descritores de textura, segundo Haralick, Shanmugan e Itshak (1973).

Descritor	Equação	
Contraste	$$\sum_{i=1}^{Ng}\sum_{j=1}^{Ng}(i-j)^2 P(i,j)$$	(1)
Correlação	$$\sum_{i=1}^{Ng}\sum_{j=1}^{Ng}\frac{ijP(i,j)-\mu_x\mu_y}{\sigma_x\sigma_y}$$	(2)
Entropia	$$-\sum_{i=1}^{Ng}\sum_{j=1}^{Ng}P(i,j)\ \ln P(i,j)$$	(3)
Homogeneidade	$$\sum_{i=1}^{Ng}\sum_{j=1}^{Ng}\frac{P(i,j)}{1+(i-j)^2}$$	(4)
Segundo momento angular	$$\sum_{i=1}^{Ng}\sum_{j=1}^{Ng}\left[P(i,j)\right]^2$$	(5)
Variância	$$\sum_{i=1}^{Ng}\sum_{j=1}^{Ng}(i-m\ \ )^2 P(i,j)$$	(6)

Ng: quantidade de níveis de cinza na imagem, P(i,j): pixel na posição (i,j) na matriz de co-ocorrência, μ_x: média na direção x, μ_y: média na direção y, σ_x: desvio padrão da média na direção x, σ_y: desvio padrão da média na direção p y.

O número de neurônios nas camadas intermediárias variou de 1 a 20. Dessa maneira, para cada tipo de classificador, foram testadas 400 arquiteturas diferentes. Nas duas camadas intermediárias usou-se a função de ativação tangente hiperbólica, e na camada de saída a função linear (HAYKIN, 2001).

Os vetores de entrada foram compostos pelos descritores de textura, os quais foram obtidos a partir da combinação de diferentes parâmetros: tamanho de bloco recortado (9x9, 7x7 e 5x5 pixels), a banda espectral (azul, verde, vermelho e infravermelho), a resolução radiométrica (8, 5 e 2 bits) e o ângulo de orientação do pixel vizinho (0º, 45º, 90º e 135º).

Os dados foram subdivididos aleatoriamente em três subconjuntos: 60% dos dados utilizados no conjunto de treinamento, 20% dos dados utilizados no conjunto de validação e os 20% restantes no conjunto de teste da rede.

Tendo em vista que, no início do treinamento, os parâmetros livres são gerados aleatoriamente e que esses valores iniciais podem influenciar o resultado final do treinamento, cada arquitetura de RNA foi treinada 10 vezes. Dentro dessas 10 RNAs treinadas, armazenou-se a que apresentou o menor erro quadrático médio relativo a amostra de teste.

Para a verificação do desempenho das RNAs treinadas, foram selecionadas 40 novas amostras na imagem de cada classe temática. A classificação foi avaliada comparando os resultados obtidos pela RNA com os valores da classificação visual por meio de uma matriz de confusão (CONGALTON, 1991). A matriz de confusão permitiu identificar o erro global da classificação para cada categoria, mostrando também como se deram as confusões entre as categorias (BRITES; SOARES; RIBEIRO, 1996). O coeficiente Kappa, que leva em consideração os erros de omissão e comissão na classificação, foi utilizado para avaliar cada RNA treinada. O coeficiente indicou o quanto o acerto do classificador foi melhor que o acerto ao acaso (COHEN, 1960).

Com base na melhor combinação entre tamanho de bloco, ângulo de direção do pixel vizinho e resolução radiométrica, foi desenvolvida uma rotina no Matlab® que fez a classificação da imagem. Para o primeiro estudo de caso, utilizou-se um recorte de 1,00 km x 1,00 km em torno da cidade de Araponga (Figura 1). Para o segundo estudo de caso, utilizou-se um recorte na imagem de satélite focalizando o entorno das fazendas: Itatiaia e Pedra Redonda (Figura 2).

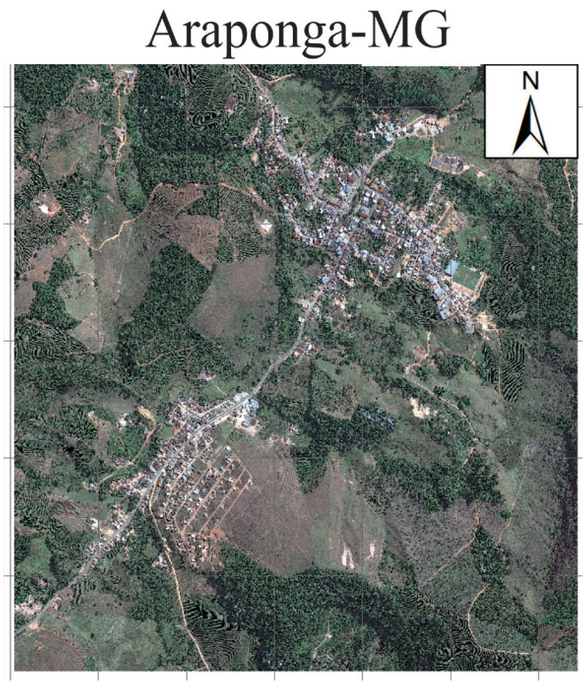

FIGURA 1 - Recorte da imagem GeoEye focalizando o entorno da cidade de Araponga para o primeiro estudo de caso.

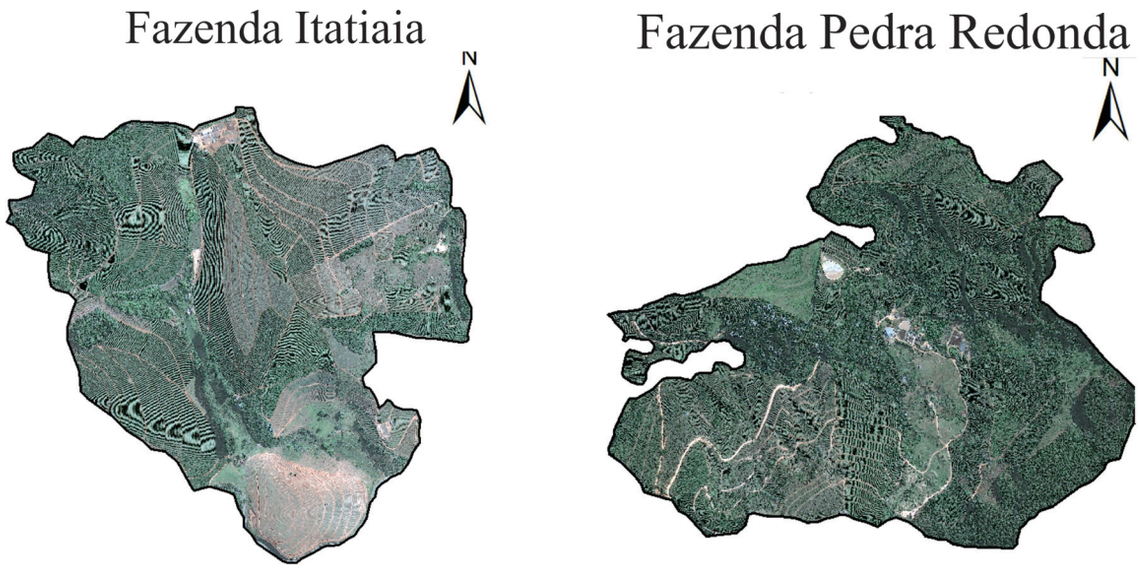

FIGURA 2 - Recorte da imagem GeoEye focalizando as fazendas Itatiaia e Pedra Redonda para o segundo estudo de caso.

Foi utilizado o Sistema de Informações Geográficas (SIG) ArcGIS (ESRI Inc., Redlands, CA, USA) para criar um mapa de referência de uso e ocupação do solo, com o propósito de confrontá-lo com o mapa feito com a RNA treinada. O mapa de referência foi obtido por fotointerpretação, suportado por visitas de campo. A concordância entre os mapas temáticos, classificados pela RNA, e o mapa de referência, classificado por fotointerpretação, foi avaliada pela estimativa o coeficiente Kappa (CONGALTON; MEAD, 1983) resultante da sobreposição destes mapas.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Primeiro estudo de caso

A partir do treinamento das RNA para classificação de café com vetor de saída como, mata, água, solo exposto e pastagem e área urbana, a melhores configura**ções** foram obtidas na resolução radiométrica de 8 bits, bloco com dimensão 9x9 pixel, orientação do pixel de 90º, banda do vermelho. O número de neurônios da primeira e segunda camada foi de 10 e 17, respectivamente. Dessa forma, a arquitetura da RNA utilizada foi do tipo 6-10-17-1. Com um vetor de entrada com seis descritores de textura obtidos por meio dos seguintes parâmetros: banda espectral do vermelho, ângulo de orientação do pixel vizinho de 90º, tamanho de bloco de 9x9 e resolução radiométrica de 8 bits.

Na Figura 3 é apresentado o mapa de referência, obtido por fotointerpretação suportada por visitas de campo, e o mapa de uso e ocupação do solo classificado pela RNA.

O coeficiente Kappa do mapa classificado pela RNA foi de 0,652 que, segundo Landis e Koch (1977), foi uma classificação Muito Boa. Vieira, Lacerda e Botelho (2009) fizeram um trabalho com o objetivo de identificar áreas cafeeiras usando uma RNA; o coeficiente Kappa determinado foi de 0,4676. As duas classes que mais se confundiram foram Café e Mata (Tabela 2).

A similaridade espectral da mata nativa e plantas do café dificultam a diferenciação entre estas classes (VIEIRA; LACERDA; BOTELHO, 2009). Quando se trabalha com descritores de textura, ocorre a minimização do problema relativo à similaridade espectral entre diferentes classes tendo em vista que o padrão espacial tem um papel mais importante que a informação espectral. No entanto, a informação espectral também apresentou um papel relevante tendo em vista os melhores resultados nas resoluções radiométricas maiores (Tabela 2).

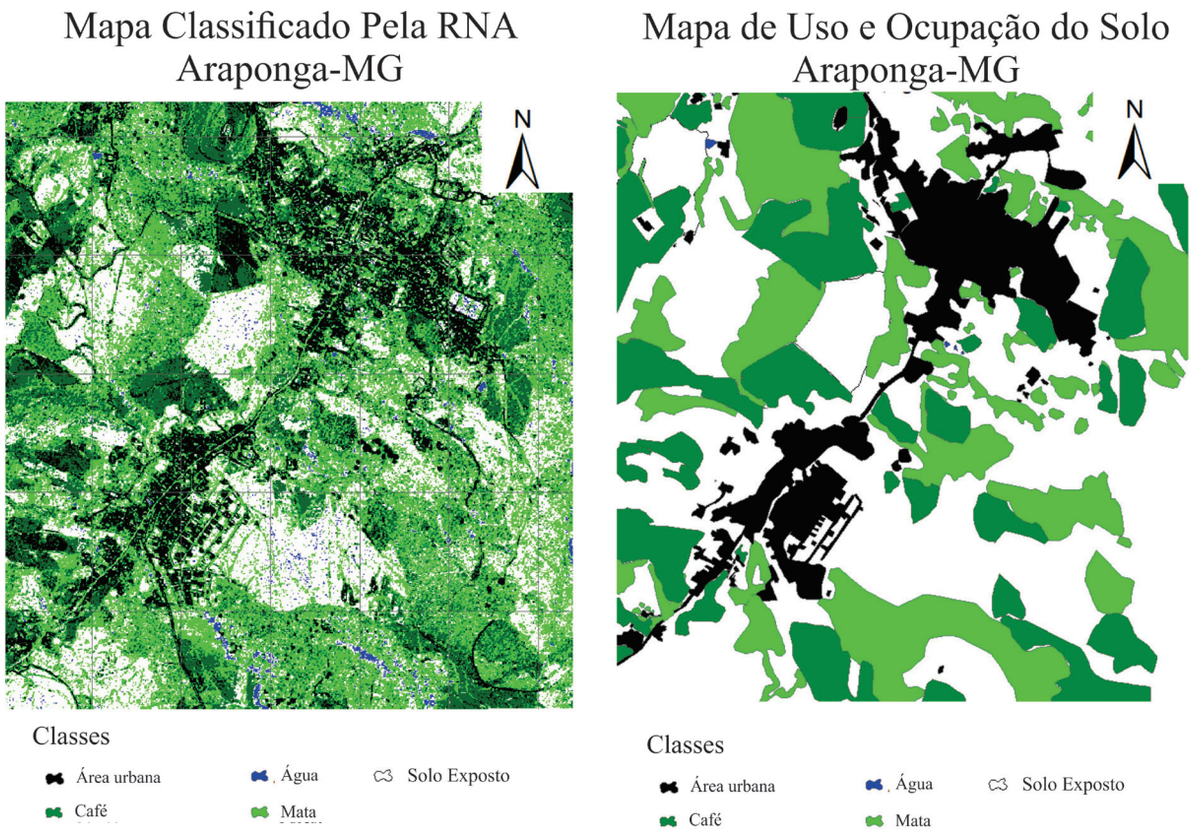

FIGURA 3 - (a) Mapa de referência e (b) mapa classificado pela rede neural artificial para o primeiro estudo de caso.

TABELA 2 - Matriz de confusão entre o mapa de referência e o mapa classificado pela RNA para o primeiro estudo de caso, valores em percentagem.

	Área urbana	Café	Água	Mata	Solo exposto
Área urbana	60,18	7,65	0	5,00	0
Café	4,88	55,22	2,48	18,07	0
Água	0	0	92,59	2,5	2,23
Mata	22,44	29,67	0	71,93	16,89
Solo exposto	12,5	7,46	4,93	2,5	80,88

A existência de plantas, comerciais ou invasoras, nas linhas de café e o sombreamento devido ao relevo montanhoso da região também podem ter influenciado a diminuição do desempenho da classificação. Esta dificuldade em diferenciar a plantação de café da vegetação natural por técnicas de sensoriamento remoto em região de montanha também foi relatado por Martínez-Verduzco, Galeana-Pizaña e Cruz-Bello (2012).

Segundo estudo de caso

A partir do treinamento das RNAs para classificação de café com vetor de saída como, cafeeiro novo, cafeeiro em desenvolvimento e cafeeiro em produção, a melhores configurações foram obtidas na resolução radiométrica de 5 bits, bloco com dimensão 7x7 pixel, orientação do pixel de 45º, banda do vermelho. O número de neurônios da primeira e segunda camada foi de 12 e 10, respectivamente. Dessa forma, a arquitetura da RNA utilizada foi do tipo 6-12-10-1. Com um vetor de entrada com seis descritores de textura obtidos por meio dos seguintes parâmetros: banda espectral do vermelho, ângulo de orientação do pixel vizinho de 45º, tamanho de bloco de 7x7 (Tabela 3).

Na Figura 4 é apresentado o mapa de referência, classificado por fotointerpretação e por visitas de campo, e o mapa classificado pela RNA para a fazenda Itatiaia.

A classificação da fazenda Itatiaia apresentou uma exatidão global de 0,783 e coeficiente Kappa do mapa classificado pela RNA foi de 0,675, desempenho considerado Muito Bom (LANDIS; KOCH, 1977). Moreira, Barros e Rudorff (2008), em um trabalho de caracterização da cafeicultura no Estado de Minas Gerais, obtiveram desempenho de classificação com o índice Kappa variando de 0,654 a 0,849. Segundo estes autores, o que mais influenciou na classificação foi a heterogeneidade do comportamento espectral das lavouras que são relacionadas aos os parâmetros agronômicos de manejo. Na fazenda Itatiaia, o manejo diferenciado entre os talhões, principalmente a poda e os espaçamentos difereciados, provocou uma variabilidade nos padrões espectral e espacial dos talhões da mesma classe, diminuindo o desempenho da classificação, principalmente na classe Cafeeiro em Produção (Tabela 4).

Somente 60% da área de cafeeiro em produção no mapa de referência foi classificada corretamente pela RNA, sendo que a confusão com o cafeeiro em desenvolvimento foi de 30%. O desempenho do classificador melhorou nas áreas de plantas mais novas, com acerto de 85 e 90% para cafeeiros em desenvolvimento e novos, respectivamente. O padrão espectral e o padrão espacial apresentaram-se mais uniformes à medida que mais solo era exposto. Quando aumentou a influência do dossel dos cafeeiros na área, a confusão na classificação aumentou, provavelmente, devido ao manejo diferenciado, influenciado pela variabilidade edafoclimática mais evidente em áreas montanhosas.

Na Figura 5 é apresentado o mapa de referência e o mapa classificado pela RNA para a fazenda Pedra Redonda.

TABELA 3 - Redes neurais artificiais que apresentam os maiores coeficientes Kappas com amostras representativas de cada classe de interesse (cafeeiro novo, cafeeiro em desenvolvimento, cafeeiro em produção).

RNA[1]	Resolução Radiométrica	Banda Espectral	Ângulo	N. de Neurônios 1ª Camada	2ª Camada	EG[2]	Kappa
1	8	Azul	45	12	10	0,850	0,775
2	8	Verde	45	10	13	0,842	0,762
3	8	Vermelho	45	16	12	0,825	0,737
4	5	Vermelho	45	16	16	0,808	0,712
5	5	Azul	135	13	11	0,791	0,687
6	5	Verde	135	16	17	0,792	0,687
7	8	Verde	90	16	14	0,783	0,675
8	5	Vermelho	90	17	15	0,767	0,650

[1]RNA: Rede Neural Artificial; [2]EG: exatidão global

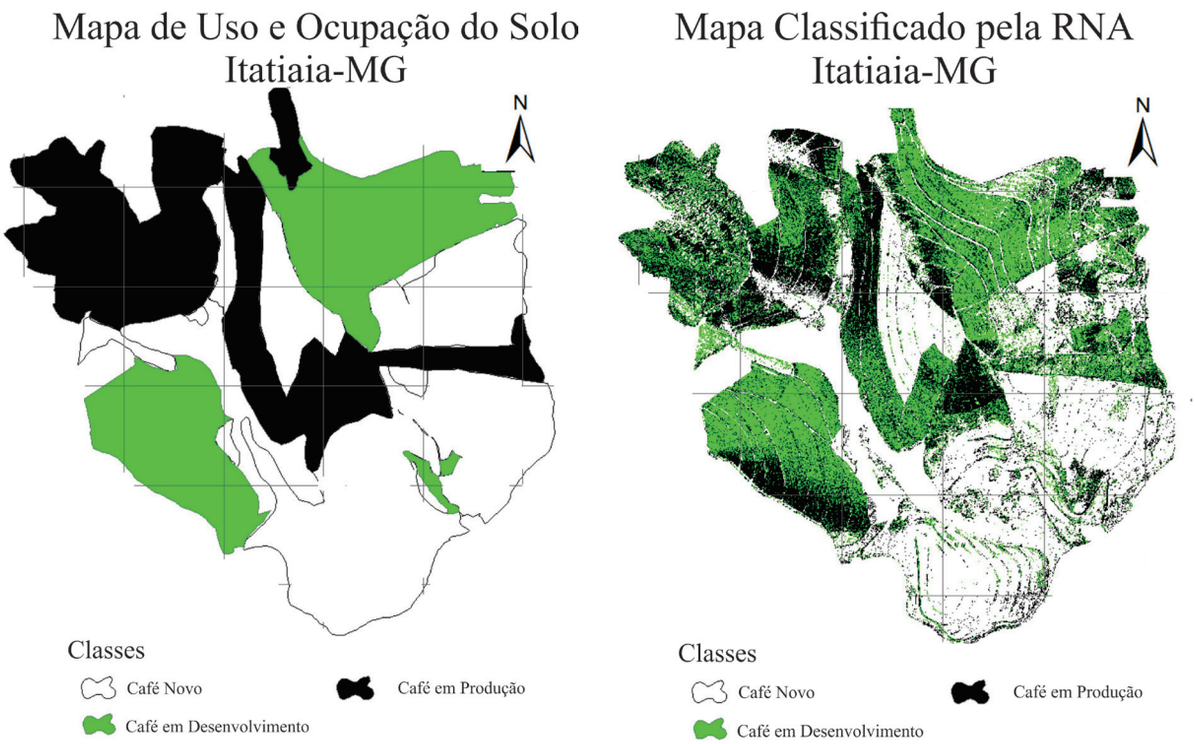

FIGURA 4 - (a) Mapa de referência e (b) mapa classificado pela Rede Neural Artificial para a fazenda Itatiaia no segundo estudo de caso.

TABELA 4 - Matriz de confusão, com valores em porcentagem, entre o mapa de referência e o mapa classificado pela RNA para a fazenda Itataia.

	Cafeeiro em Produção	Cafeeiro em desenvolvimento	Cafeeiro Novo
Cafeeiro em Produção	60	12,5	5
Cafeeiro em desenvolvimento	30	85	5
Cafeeiro Novo	10	2,5	90

A fazenda Pedra Redonda apresentou uma exatidão global de 0,652 e o coeficiente Kappa do mapa classificado pela RNA foi de 0,4783, desempenho considerado Bom (LANDIS; KOCH, 1977). A piora do desempenho do classificador em relação à Fazenda Itatiaia, pode ser atribuída à presença de árvores no meio das lavouras de café e o relevo desta fazenda ser mais acidentado, causando confusão no classificador.

Somente 52,3 % da área de cafeeiro em produção no mapa de referência foram classificadas corretamente pela RNA, sendo que a confusão com o cafeeiro em desenvolvimento foi de 36,5% (Tabela 5). O desempenho do classificador melhorou nas áreas de plantas mais novas, com acerto de 64,87 e 78,49% para cafeeiros em desenvolvimento e novos, respectivamente. O padrão espectral e o padrão espacial apresentaram-se mais uniformes nas plantas mais jovens.

De modo geral, observou-se que os resultados da classificação variam, sendo considerado Muito Bom para a fazenda Itatiaia e Bom para a fazenda Pedra Redonda. Esses resultados assemelharam-se ao trabalho realizado por Moreira, Adami e Rudorff (2004), que enfatizaram que a heterogeneidade da diversidade espectral da cultura do café associado aos parâmetros de manejo da cultura influenciam na classificação. Sendo assim, em trabalhos futuros seria interessante entrar com outros parâmetros (altura, espaçamento e índice de área foliar) além da idade e data de recepa.

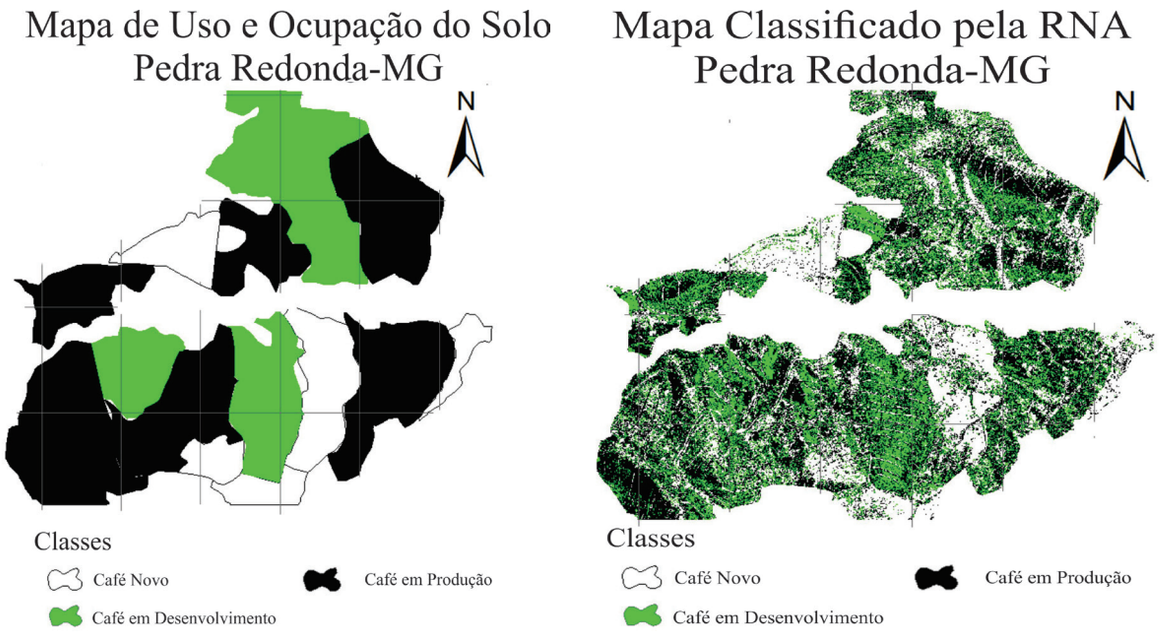

FIGURA 5 - (a) Mapa de referência e (b) mapa classificado pela rede neural artificial para a fazenda Pedra Redonda no segundo estudo de caso.

TABELA 5 - Matriz de confusão, com valores em porcentagem, entre o mapa de referência e o mapa classificado pela RNA para a fazenda Pedra Redonda.

	Cafeeiro em Produção	Cafeeiro em desenvolvimento	Cafeeiro Novo
Cafeeiro em Produção	52,3	14,66	5,25
Cafeeiro em desenvolvimento	36,5	64,87	16,26
Cafeeiro Novo	11,2	20,47	78,49

4 CONCLUSÃO

O uso de redes neurais utilizando as características de textura mostrou-se uma alternativa viável para identificação de lavouras de café em imagens orbitais.

O tamanho dos blocos influenciou no processo de classificação da imagem, sendo que o maior tamanho identificou melhor o padrão espacial das áreas produtores de café.

O coeficiente Kappa obtido para discriminação das lavouras cafeeiras das classes mata, área urbana, água e solo exposto foi de 0,652, que é índice considerado Bom.

O coeficiente Kappa para discriminar as lavouras cafeeiras em função da sua idade e data foi Muito Bom para a fazenda Itatiaia e Bom para a fazenda Pedra Redonda, com valores de 0,657 e 0,478, respectivamente.

5 REFERÊNCIAS

BRITES, R. S.; SOARES, V. P.; RIBEIRO, C. A. A. S. Comparação de desempenho entre três índices de exatidão aplicados a classificações de imagens orbitais. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSOREAMENTO REMOTO, 8., 1996, Salvador. **Anais...** Salvador: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1996. 1 CD-ROM.

COHEN, J. A coefficient of agreement for nominal scales. **Educational and Psychological Measurement**, Durham, v. 20, p. 37-46, 1960.

CONGALTON, R. G. A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data. **Remote Sensing of Environment**, New York, v. 55, n. 37, p. 35-46, 1991.

CONGALTON, R. G.; MEAD, R. A. A quantitative method to test for consistency and correctness in photointerpretation. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, Falls Chrch, v. 49, n. 1, p. 69-74, 1983.

GALVÃO, L. S. et al. View angle effects on the discrimination of soybean varieties and on the relationships between vegetation indices and yield using off-nadir Hyperion data. **Remote Sensing of Environment**, New York, v. 113, n. 4, p. 846-856, 2009.

GOMEZ, C. et al. Use of high-resolution satellite imagery in an integrated model to predict the distribution of shade coffee tree hybrid zones. **Remote Sensing of Environment**, New Caledonia, v. 114, n. 11, p. 2731-2744, 2010.

HARALICK, R. M.; SHANMUGAN, K.; ITSHAK, D. Textural features for image classification. **IEEE Trasactions on Systens, Man, and Cybernetics**, Lawrence, v. 3, n. 6, p. 610-621, 1973.

HAYKIN, S. **Redes neurais:** princípio e prática. Porto Alegre: Bookman, 2001.

IPPOLITI-RAMILO, G. A. et al. Sensoriamento remoto orbital como meio auxiliar na previsão de safras. **Agricultura em São Paulo**, São Paulo, v. 46, n. 1, p. 89-101, 1999.

KÖPPEN, W.; GEIGER, R. **Klimate der Erde**. Gotha: Verlag Justus Perthes, 1928. wall-map 150 cm x 200 cm.

LAMPARELLI, R. A. C. et al. Use of data mining and spectral profiles to differentiatecondition after harvest of coffee plants. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, Jaboticabal, v. 32, n. 1, p. 184-196, jan./fev. 2012.

LANDIS, J.; KOCH, G. G. The measurements of agreement for categorical data. **Biometrics**, Washington, v. 33, n. 3, p. 159-179, 1977.

LOPEZ-GOMEZ, A. A.; WILLIAMS-LINERA, G.; MANSON, R. H. Tree species diversity and vegetation structure in shade coffee farms in Veracruz, Mexico. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Veracruz, v. 124, n. 3/4, p. 160-172, 2008.

MARTÍNEZ-VERDUZCO, G. C.; GALEANA-PIZAÑA, J. M.; CRUZ-BELLO, G. M. Coupling community mapping and supervised classification to discriminate Shade coffee from natural vegetation. **Applied Geography**, Indiana**,** v. 34, p. 1-9, 2012.

MOREIRA, M. A. Geotecnologias para mapear lavouras de café nos Estados de Minas Gerais e São Paulo. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 30, n. 6, p. 1123-1135, 2010.

MOREIRA, M. A.; ADAMI, M.; RUDORFF, B. F. T. Análise espectral e temporal da cultura do café em imagens Landsat-5. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 3, p. 223-231, mar. 2004.

MOREIRA, M. A.; BARROS, M. A.; RUDORFF, B. F. T. Geotecnologias no mapeamento da cultura do café em escala municipal. **Saúde e Natureza**, Uberlândia, v. 20, n. 1, p. 101-110, 2008.

NERY, C. V. M. et al. Avaliação das técnicas de classificação MAXVER, MAXVER: ICM e Distância Mínima Euclidiana de acordo com Índice Kappa. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 6, n. 2, p. 320-328, 2013.

RIZZI, R.; RUDORFF, B. F. T. Imagens do sensor MODIS associadas a um modelo para estimar a produtividade de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, p. 73-80, 2007.

RUDORFF, B. F. T. et al. Studies on the rapid expansion of sugarcane for ethanol production in São Paulo state (Brazil) using Landsat data. **Remote Sensing**, Basel, v. 2, n. 4, p. 1057-1076, 2010.

SHIGUEMORI, E. H.; MARTINS, M. P.; MONTEIRO, M. V. T. Landmarks recognition for autonomous aerial navigation by neural networks and gabor transform. **Image Processing**, Sacramento, v. 6497, n. 1, p. 1-8, 2007.

SOARES, D. M.; GALVÃO, L. S.; FORMAGGIO, A. R. Crop area estimate from original and simulated spatial resolution data and landscape metrics. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 65, n. 5, p. 459-467, 2008.

TRABAQUINI, K. et al. Caracterização de lavouras cafeeiras, utilizando técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto, no município de Umuarama, PR. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n. 1, p. 35-44, jan./fev. 2011.

VIEIRA, T. G. C. V.; LACERDA, W. S.; BOTELHO, T. G. Mapeamento de áreas cafeeiras utilizando redes neurais artificiais: estudo de caso na região de Três Pontas, Minas Gerais. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14., 2009, Natal. **Anais...** Natal, 2009. p. 7947-7954.

INFLUÊNCIA DO ACÚMULO DE CROMO NOS ÍNDICES DE COMPOSTOS SECUNDÁRIOS EM MUDAS DE CAFÉ CONILON

Sávio da Silva Berilli[1], Alan Alvino Falcão Zooca[2], Jessica Rembinski[3], Paulo Henrique Honorato Salla[4], Jonas Dias de Almeida[5], Leonardo Martineli[6]

(Recebido: 18 de fevereiro de 2016; aceito: 09 de maio de 2016)

RESUMO: Todas as plantas possuem algum tipo de metabolismo secundário, sendo estes, muitas vezes mecanismos de defesa ou alternativas de sobrevivência em ambientes estressantes. O lodo de curtume possui potencial de uso como componente de substratos de plantas, no entanto, a elevada quantidade de cromo presente nesse resíduo pode proporcionar distúrbios fisiológicos causando o estresse em plantas. O objetivo nesse experimento foi identificar e correlacionar à presença de estresse em plantas, devido o aumento sucessivo de doses do lodo de curtume em substrato de mudas de café conilon. O delineamento experimental adotado foi em blocos casualizados com quatro tratamentos (10, 20 e 40% de lodo) e doze repetições e um substrato convencional de produção de mudas de café conilon. Foram avaliados os níveis de cromo nas diferentes partes das mudas, índice de flavonoides e de coloração das folhas. Com o incremento de doses de lodo no substrato, houve maior acúmulo de cromo pelas mudas, tanto na parte aérea quanto nas raízes. O índice de flavonoides foi afetado positivamente pela adição de lodo no substrato. Os parâmetros de coloração das folhas não foram afetados pela adição de lodo no substrato.

Termos para indexação: Sustentabilidade, nutrição, metabólitos secundários, metal pesado.

INFLUENCE OF CHROMIUM ACCUMULATION IN INDEX OF SECONDARY COMPOUNDS IN SEEDLINGS OF CONILON COFFEE

ABSTRACT**:** *All plants have some kind of secondary metabolism that is, for many times, defensive mechanism or alternatives for survival in stressful environments. Tannery sludge can be potentially used as a component of substrate for plants, however, high amounts of chromium present in this residue may cause physiological disturbance as well as the stress in plants. The aim of this experiment was to identify and correlate the presence of stress in plants caused by the successive increase of tannery sludge doses in substrate for Conilon coffee seedlings. The experimental design was randomized blocks with four treatments (10, 20 and 40% clay) and twelve replicates, and a conventional substrate of Conilon coffee seedlings production. We evaluated the chromium levels in different parts of seedlings, flavonoid content and the coloration of the leaves. With the increasing of the doses on substrate, there was a higher accumulation of chromium by the plants, both on the top and in the roots. The flavonoid content was positively affected by sludge application on the substrate. The leaf color parameters were not affected by sludge application on the substrate.*

Index terms**:** *Sustainability, nutrition, secondary metabolites, heavy metal.*

1 INTRODUÇÃO

O cromo é um elemento encontrado naturalmente na superfície terrestre, notadamente nas formas trivalente e hexavalente, e torna-se disponível na solução do solo pela intemperização do material de origem, ou seja, a rocha. No entanto, além de formas naturais de adição de cromo ao solo, outros processos antropogênicos podem adicionar tal elemento, como por exemplo, a utilização de lodo de curtume na agricultura e deposições das indústrias siderúrgicas, decorrentes de galvanoplastia, sendo este metal o segundo maior contaminante em água e solos decorrentes da atividade industrial (SINGH et al., 2013).

Seja naturalmente ou pela ação do homem, quando o elemento cromo é encontrado em elevadas concentrações no solo, várias pesquisas demonstram que as plantas tendem a acumular maiores quantidades nos tecidos vegetais, sendo que na maioria dos casos estudados, este acúmulo ocorre em maiores concentrações nos tecidos das raízes, como nas culturas de milho (ARAÚJO et al., 2008), cana-de-açúcar (CAMILOTTI et al., 2007), capim elefante (OLIVEIRA et al., 2008) e em mudas de café conilon (BERILLI et al., 2015). Apesar disso, algumas espécies cultivadas como a *Raphanus sativus* L., tende a alocar maiores quantidades de cromo na parte aérea, quando comparados a tecidos das raízes (CASTILHOS; TEDESCO; VIDOR, 2002).

O cromo não é um elemento essencial para as plantas, mas, sua presença nos tecidos vegetais, em pequenas quantidades, pode promover o crescimento em várias espécies já estudadas. Entretanto, quando em elevadas concentrações,

[1,2,3,4,5,6]Instituto Federal do Espírito Santo - Campus de Itapina/ Rod. BR 259, km 70, Cx. P. 256- 29.709-910 - Colatina - ES savio.berilli@ifes.edu.br, alan_afz@hotmail.com, jessykabb18@gmail.com, phs.salla@gmail.com, jonas.d.a@hotmail.com, leonardo.martineli@ifes.edu.br

o cromo pode provocar várias desordens morfológicas, fisiológicas e bioquímicas, interferindo em diversos processos metabólicos que são vitais aos vegetais (SINGH et al., 2013).

Uma resposta esperada para plantas cultivadas em presença de metais pesados em níveis problemáticos é a produção de metabólicos secundários, como por exemplo, flavonoides e antocianina, tendo esses a finalidade de eliminar compostos reativos de oxigênio formados pela presença desses metais como é o caso do cromo (KEILIG; LUDWIG-MÜLLER, 2009; MICHALAK, 2006; SINGH et al., 2013).

Equipamentos específicos para se determinar de forma não destrutiva a variação dos índices de clorofila, compostos fenólicos e secundários, como flavonoides e antocianinas, têm sido utilizados de maneira crescente com intuito de monitorar ou correlacioná-los aos efeitos diversos de adubações ou variações de estresse expressadas pelos vegetais (AMARANTE et al., 2008; ROSSATO et al., 2012; TORRES; GOICOECHEA; ANTOLÍN, 2015). Com isso, o objetivo neste trabalho foi quantificar e correlacionar a presença do cromo nos tecidos de mudas de café conilon com índices de estresse em plantas, medidos através de equipamentos de fluorometria e colorimetria, induzidos pelo aumento sucessivo de doses do lodo de curtume em substrato de mudas de café conilon, como fonte de matéria orgânica alternativa.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo - Campus Itapina (IFES-Campus Itapina), localizado no município de Colatina, região noroeste capixaba, com coordenadas geográficas de 19° 32’ 22” de latitude sul; 40° 37’ 50” de longitude oeste e altitude de 71 metros. O experimento foi conduzido em viveiro de propagação de mudas de café, em um delineamento experimental em blocos casualizados, com quatro tratamentos e doze repetições.

Os tratamentos constaram de quatro concentrações diferentes da mistura com lodo de curtume desidratado no substrato das mudas de café conilon, sendo estes: T10; T20; T40 e TC (tratamento convencional) o que correspondem às proporções de 10%, 20% e 40% do volume total do substrato misturado com solo e húmus, e o TC (terra de barranco – húmus – adubos químicos), que é uma mistura considerada tradicional pelos produtores de mudas de café conilon na região norte do estado do Espírito Santo. O genótipo utilizado para esse trabalho foi a variedade do café conilon clonal Vitória Incaper 8142 (FERRÃO et al., 2007). Esta variedade possui 13 clones, porém, para fins de experimentação, somente o clone V8 foi testado. A composição dos tratamentos T-C; T10; T20; T40 estão detalhados na tabela 1 a seguir:

O solo utilizado para as misturas dos substratos com os tratamentos com lodo e tratamento convencional é classificado como um latossolo vermelho distrófico com as características descritas na Tabela 2:

O lodo de curtume foi cedido pela empresa Capixaba Couros LTDA ME. Após o processamento do couro bovino cru, o lodo é liberado na forma líquido-concentrada, com 97% de umidade (base seca). Em seguida o lodo é colocado em tanques de evaporação até atingir umidade de aproximadamente 13,8% (base seca). As características do lodo desidratado utilizado nesse experimento podem ser observadas na Tabela 3.

As mudas foram produzidas a partir de estacas obtidas do tecido adulto de ramos ortotrópicos, retiradas de lavouras com bom aspecto fitossanitário e nutricional. Após a retirada dos ramos das plantas mãe, estes foram encaminhados para a casa de vegetação, local onde foram eliminados 30 cm das extremidades dos ramos ortotrópicos (ramos contendo várias estacas). Em seguida foi realizada a padronização das estacas com 6 a 8 cm de altura e folhas com 1/3 do limbo foliar. As estacas foram plantadas em sacolas de polietileno com dimensões de 11x20 cm previamente enchidas com os substratos com 30 dias de antecedência da implantação do experimento. As irrigações foram feitas diariamente durante todo o experimento por microaspersor, mantendo sempre a capacidade de campo dos substratos do experimento.

O experimento teve duração de 210 dias, contados desde o plantio das estacas até sua finalização, momento ao qual foram avaliadas as características estudadas. Para a quantificação de cromo nos diferentes tecidos (raízes, caule e folhas), as mudas, após a lavagem das raízes, foram segmentadas e levadas à estufa de circulação forçada a 70 ^{0}C até atingir peso constante para as massas secas. Após a secagem em estufa, as amostras de tecidos foram trituradas em moinho de facas tipo Willey equipado com peneira de 2 mm de diâmetro de abertura de malha.

TABELA 1 - Descrição dos tratamentos contendo o tratamento convencional e as diferentes proporções de lodo de curtume (10, 20 e 40% de lodo).

Tratamento	Componente do substrato
TC	136L de solo, 625g de superfosfato simples, 200g de calcário, 200g de KCl e 36L de húmus.
T-10%	10% de Lodo de curtume + 60 % de solo + 30% de húmus
T-20%	20% de Lodo de curtume + 50 % de solo + 30% de húmus
T-40%	40% de Lodo de curtume + 30 % de solo + 30% de húmus

TABELA 2 - Características químicas do solo usado como componente do substrato das mudas.

pH	P	K	Ca	Mg	Al	Na	C	M.O.	SB	T	t	m	V	Fe	Cu	Zn	Mn	S	B
	-mg/dm^3-		-----cmol$_c$/dm^3-----				%	g/dm3	--cmol$_c$/dm^3--			%			----------mg/dm^3----------				
5	5	48	0,8	1,3	0	0,03	0,47	8,1	2,3	3,1	2,3	0	74	7	0,6	0,8	7,9	112	0,4

Obs: SB: soma de bases; m: saturação de alumínio; V: saturação de base; T: CTC a pH 7; t: CTC efetiva.

TABELA 3 - Características físicas e químicas do lodo de curtume bovino desidratado usado no substrato das mudas.

pH	N	P	K	Ca	Mg	C	C.E.	Cr	Na	Fe	Cu	Zn	Mn
		----------mg/dm^3----------					dS/m		----------mg/dm^3----------				
12,30	37	0,09	0,8	27	1	9,3	17,30	9952	550	57	1	1	1

A análise de cromo foi realizada através de digestão úmida com $HNO_3 + HClO_4$, e determinado pelo método proposto por Silva (1999). O nível de cromo na parte aérea das mudas foi determinado pela somatória dos níveis de cromo nas folhas e caules. Os níveis de cromo na planta foram determinados pelo somatório dos níveis da parte aérea e de raízes.

Para as análises de cor foram utilizadas um colorímetro modelo CR-400 (Konica Minolta), no qual as características de luminosidade (L) e cromaticidade (a, b e h^0 em configuração DL/65) foram medidas em folhas de mudas de café (segundo ou terceiro par de folhas do ápice para a base), aos 210 dias após o plantio. Nesse mesmo período, na parte aérea das mudas foram feitas as análises com um fluorômetro modelo Multiplex (Force-A), com fontes múltiplas de excitação de luz (ultravioleta, azul, verde e vermelho), estimando índices de vários compostos, como balanço de nitrogênio (NBI-G e NBI-R), de clorofila total (SFR-G e SFR-R), antocianina (ANT-RG e ANT-RB) e flavonoides (FLAV). Os índices obtidos pelo multiplex por vezes, possuem mais de um por característica, derivados das diferentes combinações de comprimentos de ondas emitidos pelo equipamento. Todas as avalições foram realizadas no período da manhã, entre as 8:00 e 11:00 horas e em apenas um lado das mudas, apontando o equipamento para a copa de cima para baixo em um ângulo aproximadamente de 45 gruas. Os índices do multiplex não foram estandartizados, sendo portanto, passíveis de comparação somente para esses tratamentos.

Os níveis de cromo nos tecidos, assim como os índices derivados do fluorômetro e do colorímetro foram submetidos a análises de variância pelo teste F e aplicados ao teste de médias de Scott-Knott ($p < 0,01$). Para o nível de cromo nos tecidos, os graus de liberdade para tratamentos foram desdobrados via análise de regressão. As regressões foram selecionadas de acordo com o nível de significância (R^2). Foi realizada uma análise de correlação simples (teste t aos níveis de 5 e 1%) entre as características de cromo nas folhas e os índices de flavonoides e antocianina gerados pelo fluorômetro (correlações lineares). As análises estatísticas foram realizadas pelo Programa Assistat (versão 7.7) e os gráficos foram gerados pelo programa Origin (versão 9.0 Professional – Academic).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os padrões de resposta das mudas quanto aos níveis de cromo nos tecidos foram diferentes estatisticamente entre os tratamentos, ou seja, houve diferença estatística na quantidade de cromo nos diferentes tecidos analisados nas plantas quando submetidas a doses crescentes de lodo de curtume no substrato (Tabela 4). Mesmo as plantas submetidas a substratos convencionais, sem a presença do lodo de curtume no substrato, apresentaram valores consideráveis de cromo nos tecidos, o que indica uma presença natural deste elemento no solo, húmus ou adubos químicos.

Os níveis mais elevados de cromo nos tecidos das mudas de café foram detectados nas raízes, seguidos do caule e depois em folhas. Para esse experimento, em média, os níveis de cromo encontrados nas raízes, foram superiores a 400% dos níveis encontrados no caule e 1600% dos níveis encontrados nas folhas. Essa discrepância demonstra o quanto as mudas de café conilon podem ser eficientes em reter elementos indesejados nas raízes, indicando uma elevada capacidade seletiva das membranas celulares radiculares e/ou na estria de Caspary em reter íons de elementos que não são essenciais ao seu desenvolvimento, como mecanismo de tolerância a estresse por metais pesados (SOUZA; SILVA; FERREIRA, 2011).

Existem vários mecanismos de proteção para que uma planta sobreviva em ambientes com estresse pela presença de elementos como o cromo, cádmio, níquel ou alumínio, sendo os principais mecanismos para isso, a compartimentalização, o controle de pH da rizosfera, a exsudação de ácidos orgânicos e a quelação intracelular desses elementos (MANARA, 2012; SOUZA; SILVA; FERREIRA, 2011). Ao que parece, quanto ao cromo, o principal mecanismo de defesa da planta é a compartimentalização nos tecidos das raízes, de modo que esse fato pode ser observado em algumas espécies, como é o caso do *Coffea canephora* Pierre ex A.Froehner, *Vigna radiata* (L.) R.Wilczek e *Vigna unguiculata* (L.) Walp. (BERILLI et al., 2015; RATHEESH et al., 2010).

Segundo Ratheesh et al. (2010), o acúmulo de cromo nas raízes pode estar relacionado à liberação de ácidos orgânicos nos exsudados das raízes, ligando o metal a tais ácidos e limitando sua alocação para a parte aérea das plantas, apesar de uma discussão proposta por Panda e Choudhury (2005), mencionar que a presença de alguns ácidos orgânicos em contato com o cromo pode favorecer a entrada desse elemento na planta. A efetividade na alocação e complexação de cromo por ácidos orgânicos exsudados pelas raízes, ainda não foram completamente esclarecidos, ficando apenas evidenciado que a maior concentração de cromo na planta fica retida nos tecidos das raízes.

TABELA 4 - Médias do nível de cromo total nas raízes (CR-R), no caule (CR-C), na folha (CR-F), na parte aérea (CR-PA) e na planta inteira (CR-PL) de mudas de café conilon cultivadas em substrato convencional e com diferentes concentrações de lodo de curtume desidratado (10, 20 e 40% de lodo) aos 210 dias de idade.

Tratamento	CR-R (mg/kg)	CR-C (mg/kg)	CR-F (mg/kg)	CR-PA (mg/kg)	CR-PL (mg/kg)
C	17,3 d	3,1 d	1,20 c	4,7 c	22,0 c
T-10	33,2 c	5,3 c	1,65 c	6,5 c	39,7 c
T-20	45,2 b	9,3 b	3,75 b	11,7 b	56,9 b
T-40	98,7 a	23,9 a	5,21 a	29,1 a	127,8 a
Média Geral	48,6	10,4	2,9	13,0	61,6
CV (%)*	38,99	47,57	43,65	48,78	37,19

Médias seguidas de letras distintas entre si na coluna diferem estatisticamente entre si pelo teste Duncan ao nível de 5%.*Coeficiente de Variação.

O aumento das doses de lodo de curtume no substrato também proporcionou maior absorção pelas plantas, seguindo padrões crescentes e diferenciados de assimilação do elemento nos diferentes tecidos das mudas (raiz, caule e folha). Como pode ser observado no Gráfico 1, as curvas de crescimento para o acúmulo de cromo na raiz e no caule apresentaram padrão de crescimento diferenciado do acúmulo de cromo pelas folhas, onde para raiz e caule, foram identificadas regressões quadráticas e para acúmulo nas folhas regressão linear. Com isso é possível observar que o incremento de cromo com o aumento da dose de lodo no substrato é mais intenso em tecidos do caule e raiz do que em folhas.

O aumento dos níveis de cromo nos tecidos em função do aumento da disponibilidade desse elemento no meio de cultivo em diferentes espécies já vem sendo relatado pela literatura. Estudos realizados por Zeng et al. (2010), em dois genótipos de arroz, observaram padrão de acumulação de cromo nos tecidos da raiz, caule e folha muito parecidos com os encontrados nesse trabalho, com teores maiores nas raízes, seguidos do caule e depois em folhas, de modo que em todos os tecidos, houve maior acúmulo quanto mais disponível esse elemento estava na solução de cultivo.

Trabalho realizado por Berilli et al. (2015), com mudas de café conilon e tratamentos parecidos aos apresentados nesse trabalho, onde a única diferença foi a ausência do húmus no substrato, apresentou níveis menores de cromo nos tecidos de raízes e folhas. Com isso, correlacionando os dois experimentos, foi possível observar que ao adicionar o húmus associado ao lodo de curtume e terra, em média, houve maior acúmulo de cromo pela planta, da ordem de 58; 70 e 84% a mais de cromo nas raízes, folhas e na planta inteira respectivamente, revelando que a adição dessa fonte de matéria orgânica, promove o aumento de absorção de cromo pelas raízes e maior alocação desse elemento nos tecidos das mudas de café conilon.

Discussões feitas por Shanker et al. (2005), relatam que a presença de ácidos orgânicos facilitam a entrada de cromo na planta e consequentemente proporcionam uma maior acumulação desse elemento nos tecidos. Com base nisso, é possível associar a presença do húmus no substrato com uma maior assimilação de cromo em mudas propagadas com lodo de curtume, como o observado nesse experimento, quando comparado aos níveis de cromo em tecidos de mudas de café conilon propagadas com solo e lodo de curtume e na ausência do húmus, como no experimento realizado por Berilli et al. (2015).

A intensidade da coloração verde está diretamente relacionada com o teor de clorofila nas folhas, de modo que quanto maior a intensidade de verde em folhas, medido por colorímetros, maior é a concentração de clorofila (AMARANTE et al., 2008; SILVA et al., 2014). No entanto, nenhuma das características de coloração avaliada apresentou diferenças significativas, revelando que o equipamento utilizado não detectou variações nas intensidades de verde, vermelho ou amarelo das folhas de mudas de café conilon cultivadas em diferentes níveis de substrato com lodo de curtume associado ao húmus e terra ou tratamento convencional (Tabela 5), mesmo apresentando coeficientes de variação relativamente baixos.

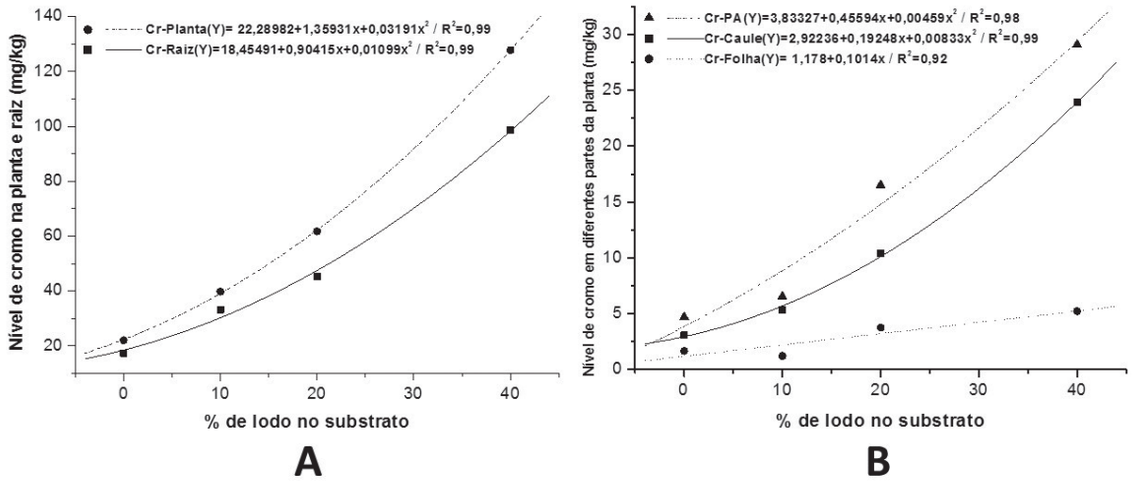

GRÁFICO 1 - Curvas de incremento de cromo na raiz, na planta inteira (A), no caule, na folha e na parte aérea (B) de acordo com doses crescentes de lodo de curtume no substrato.

TABELA 5 - Médias de parâmetros de coloração L, a, b e h^0 de folhas de mudas de café conilon cultivadas em substrato convencional e com diferentes concentrações de lodo de curtume desidratado (10, 20 e 40% de lodo) aos 120 dias de idade.

Tratamento	L	A	b	h^0
C	35,17	-9,90	13,69	119,16
T-10	35,25	-9,64	13,79	119,48
T-20	35,29	-9,71	13,60	119,38
T-40	35,30	-9,37	13,54	120,74
Média	35,15	-9,65	13,65	119,69
CV (%)*	8,49	11,95	14,49	1,97

Não houve diferença entre os tratamentos para qualquer característica avaliada pelo teste F.*Coeficiente de Variação.

Quanto às características avaliadas pelo fluorômetro foi observada variação entre os tratamentos, apenas para o índice de flavonoides, mostrando diferença entre o índice de flavonoides entre as mudas cultivadas em substratos convencionais e as mudas cultivadas com adição de lodo de curtume no substrato (Tabela 6). Os índices de flavonoides das folhas de mudas com lodo no substrato foram significativamente maiores do que em folhas de plantas com substrato convencional, revelando que a presença do lodo promoveu a produção de compostos secundários como os flavonoides.

Muitos relatos existentes na literatura acerca da influência do cromo nos tecidos mencionam a ação negativa desse elemento nas estruturas celulares, como alterações na ultraestrutura dos cloroplastos e principalmente na formação de espécies reativas de oxigênio em células (ROS), os quais exigem das plantas a formação de compostos secundários antioxidantes, como é o caso dos flavonoides (KEILIG; LUDWIG-MÜLLER, 2009; MICHALAK, 2006; SHANKER et al., 2005; SINGH et al., 2013; ZENG et al., 2010). Apesar das mudas desenvolvidas em substrato contendo lodo de curtume terem apresentado maiores índices de flavonoides, essas mudas não apresentaram outras modificações como alterações de cor ou mesmo nos índices de clorofila total (SFR-G e SFR-R), revelando uma possível adaptação das plantas à adição do lodo de curtume no substrato. Outro índice interessante a ser observado é o balanço de nitrogênio (NBI-G e NBI-R) que não apresentou diferenças entre as folhas de mudas produzidas em substratos com lodo ou com adubos convencionais, revelando uma equivalência no uso do nitrogênio nas duas situações de cultivo (Tabelas 5 e 6).

Além do fato da adição de lodo de curtume no substrato de mudas de café conilon interferir nos índices de flavonoides, revelando a influência desse componente na produção de compostos secundários, foi possível observar (Tabela 7), que índices de flavonoides (FLAV) e de antocianina (ANT-RB) correlacionam-se de forma significativa e positivamente com os níveis de cromo nas folhas (CR-F), ou seja, quanto maior o teor de cromo nas folhas maiores são os índices de flavonoides e antocianina, mesmo não sendo detectadas diferenças significativas entre os tratamentos quanto aos índices de antocianina.

De uma maneira geral, com base nos resultados deste experimento pode-se observar que mudas de café conilon são sensíveis a adição de cromo, pela adição de lodo de curtume no meio de cultivo e que a adição de húmus ao substrato, pode elevar os níveis de absorção e alocação nos tecidos, incrementando significativamente a concentração desse elemento nos diferentes tecidos das mudas, notadamente nas raízes. Além disso, foi possível observar que os níveis de cromo são diretamente proporcionais aos aumentos de índices de antioxidantes, como os flavonoides e antocianinas, mesmo não alterando as características de coloração das folhas.

4 CONCLUSÃO

A elevação das doses de lodo de curtume no substrato das mudas de café conilon fez elevar os níveis de cromo nos tecidos das mudas, em diferentes concentrações, sendo com maiores intensidades em tecidos da raiz e caule e menor intensidade em folhas;

Os diferentes níveis de cromo nos tecidos das mudas sob variadas proporções de lodo no substrato e substrato convencional, não interferiram nos parâmetros de coloração das folhas, entretanto, o índice de flavonoides nas folhas dessas mudas foram maiores nos tratamentos com uso do lodo de curtume no substrato;

A correlação entre concentração de cromo nos tecidos foliares e os índices de flavonoides e antocianinas foram significativas e positivas.

5 AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), a Fundação de Amparo à Pesquisa do Espírito Santo (FAPES), a Empresa Capixaba Couros LTDA-ME e ao Instituto Federal do Espírito Santo (IFES-Itapina) pelo apoio financeiro e parceria.

TABELA 6 - Médias de índices de flavonoides (FLAV), antocianina (ANT-RG e ANT-RB), teor de clorofila (SFR-G e SFR -R) e balanço de nitrogênio (NBI-G e NBI-R), obtidas utilizando o equipamento multiplex em folhas de mudas de café conilon cultivadas em substrato convencional e com diferentes concentrações de lodo de curtume desidratado (10, 20, 40% de lodo) aos 210 dias de idade.

Tratamento	FLAV	SFR-G	SFR-R	ANT-RG	ANT-RB	NBI-G	NBI-R
C	0,37 b	4255 a	4048 a	0,3103 a	-0,1324 a	3378 a	1753 a
T-10	0,52 a	4412 a	4182 a	0,3134 a	-0,1147 a	2901 a	1521 a
T-20	0,49 a	4664 a	4344 a	0,3029 a	-0,1163 a	2994 a	1443 a
T-40	0,53 a	4781 a	4404 a	0,3014 a	-0,1179 a	2848 a	1374 a
Média	0,48	4528	4244	0,307	0,1203	3030	1522
CV (%)*	30,03	15,59	13,42	5,86	19,91	36,54	30,48

Médias seguidas de letras distintas entre si na coluna diferem estatisticamente entre si pelo teste Duncan ao nível de 5%.*Coeficiente de Variação.

TABELA 7 - Valores de coeficientes de correlação simples para as características de conteúdo de cromo na folha (CR-F) e índices gerados pelo fluorômetro, quais são flavonoides (FLAV) e antocianina (ANT-RG e ANT-RB).

Tratamento	Coeficiente de correlação (r)	Significância
CR-F x FLAV	0,4514	**
CR-F x ANT-RB	0,4708	**
CR-F x ANT-RG	-0,1515	ns

**significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$); *ns não significativo ($p \geq 0,05$).

6 REFERÊNCIAS

AMARANTE, C. V. T. et al. Quantificação não destrutiva de clorofilas em folhas através de método colorimétrico. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 26, n. 4, p. 471-475, 2008.

ARAÚJO, F. F. et al. Desenvolvimento do milho e fertilidade do solo após aplicação de lodo de curtume e fosforita. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 12, n. 5, p. 507-511, 2008.

BERILLI, S. S. et al. Níveis de cromo em mudas de café conilon desenvolvimento substrato com lodo de curtume como adubação alternativa. **Coffee Science**, Lavras, v. 10, n. 3, p. 320-328, 2015.

CAMILOTTI, F. et al. Acúmulo de metais pesados em cana-de-açúcar mediante a aplicação de lodo de esgoto e vinhaça. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 27, n. 1, p. 284-293, 2007.

CASTILHOS, D. D.; TEDESCO, M. J.; VIDOR, C. Rendimentos de culturas e alterações químicas do solo tratados com resíduos de curtume e cromo hexavalente. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, n. 5, p. 1083-1092, 2002.

FERRÃO, R. G. et al. Cultivares de café conilon. **Café conilon**. Vitória: Incaper, 2007. 221 p.

KEILIG, K.; LUDWIG-MÜL, J. Effect of flavonoids on heavy metal tolerance in Arabidopsis thaliana seedlings. **Botanical Studies**, Dresden, v. 50, n. 3, p. 311-318, 2009.

MANARA, A. Plant responses to heavy metal toxicity. In: _____. **Plants and heavy metals**. Wageningen: Springer Netherlands, 2012. p. 27-53.

MICHALAK, A. Phenolic compounds and their antioxidant activity in plants growing under heavy metal stress. **Polish Journal of Environmental Studies**, Olsztyn, v. 15, n. 4, 523-530, 2006.

OLIVEIRA, D. Q. L. et al. Utilização de resíduos da indústria de couro como fonte nitrogenada para o capim-elefante. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v. 32, p. 417-424, 2008.

PANDA, S. K.; CHOUDHURY, S. Changes in nitrate reductase activity and oxidative stress response in the moss polytrichum commune subjected to chromium, copper and zinc phytotoxicity. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, Campos dos Goytacazes, v. 17, n. 2, p. 191-197, 2005.

RATHEESH, C. P. et al. Distribution of Bio-accumulated Cd and Cr in two Vigna species and the Associated Histological Variations. **Journal of Stress Physiology & Biochemistry**, Irkutsk, v. 6, n. 1, p. 4-12, 2010.

ROSSATO, O. B. et al. Sensores de reflectância e fluorescência na avaliação de teores de nitrogênio, produção de biomassa e produtividade do algodoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 47, n. 8, p. 1133-1141, ago. 2012.

SHANKER, A. K. et al. Chromium toxicity in plants. **Environment International**, Amsterdam, v. 31, n. 5, p. 739-753, 2005.

SILVA, A. M. et al. Pigmentos fotossintéticos e índice spad como descritores de intensidade do estresse por deficiência hídrica em cana-de-Açúcar. **Biosciensce Journal**, Uberlândia, v. 30, n. 1, p. 173-181, 2014.

SILVA, F. C. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília: EMBRAPA, 1999. 370 p.

SINGH, H. P. et al. Chromium toxicity and tolerance in plants. **Environmental Chemistry Letters**, Heidelberg, v. 11, p. 229-254, 2013.

SOUZA, E. P.; SILVA, I. F.; FERREIRA, L. E. Mecanismos de tolerância a estresses por metais pesados em plantas. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v. 17, n. 2/4, p. 167-173, 2011.

TORRES, N.; GOICOECHEA, N. M.; ANTOLÍN, C. Antioxidant properties of leaves from different accessions of grapevine (*Vitis vinifera* L.) cv. Tempranillo after applying biotic and/or environmental modulator factors. **Industrial Crops and Products**, Amsterdam, v. 76, p. 77-85, 2015.

ZENG, F. et al. Effects of chromium stress on the subcellular distribution and chemical form of Ca, Mg, Fe, and Zn in two rice genotypes. **Journal Plant Nutrition Soil Science**, San Francisco, v. 173, n. 1, p. 135-148, 2010.

FORNECIMENTO DE BORO, COBRE E ZINCO AO CAFEEIRO VIA INSERÇÃO DE COMPRIMIDOS NO RAMO ORTOTRÓPICO

Yonara Poltronieri[1], Herminia Emilia Prieto Martinez[2],
Junia Maria Clemente[3], Aline de Oliveira Ferreira[4]

(Recebido: 19 de fevereiro de 2016; aceito: 18 de maio de 2016)

RESUMO: O objetivo neste trabalho foi avaliar a viabilidade do fornecimento do boro (B), cobre (Cu) e zinco (Zn) ao cafeeiro (*Coffea arabica*) via inserção de comprimidos com sais desses elementos no tronco das plantas. O experimento foi instalado em uma lavoura de café utilizando o delineamento em blocos casualizados com 6 tratamentos e 4 repetições. Os tratamentos estudados foram um controle sem fornecimento de B, Cu ou Zn e duas diferentes vias de fornecimento desses nutrientes, como descrito a seguir: pulverização foliar com ácido bórico, oxicloreto de cobre e sulfato de zinco aplicados nas concentrações de 0,4%; comprimido contendo sais de B; comprimido contendo sais de Cu; comprimido contendo sais de Zn e comprimido contendo sais de B, Cu e Zn. Os comprimidos foram inseridos no alburno da haste ortotrópica do cafeeiro a 10 cm de altura em relação à superfície do solo. Ambas as vias, pulverização foliar e inserção de comprimidos no tronco, são eficientes no suprimento de B, Cu e Zn ao cafeeiro, indicando que o comprimido é uma alternativa no suprimento desses micronutrientes.

Termos para indexação: Micronutrientes, nutrição mineral, *Coffea arabica,* comprimidos implantados no tronco.

BORON, COPPER AND ZINC SUPPLY BY INSERTION TABLETS IN THE COFFEE ORTHOTROPIC STEM

ABSTRACT*: This study aimed to evaluate the viability supply of boron (B), copper (Cu) and zinc (Zn) through salts tablets implanted in Coffea arabica stem. The experiment was carried out using a coffee plantation in a randomized block design with 6 treatments and 4 replicates. The treatments were different supply routes as described next: without supply of B, Cu and Zn; foliar sprays with boric acid, copper oxychloride and zinc sulfate applied in 0.4% concentrations; tablet containing B salts; tablet containing Cu salts; tablet containing Zn salts and tablet containing B, Cu and Zn salts. Tablets were introduced in the sapwood of orthotropic branches to 10 cm above the soil surface. Both forms of supply, foliar sprays and tablets trunk insertion are efficient supply B, Cu and Zn on coffee, thus proved to be a promising way of supplying these micronutrients.*

Index Terms: *Micronutrients, mineral nutrition, Coffea arabica, trunk implanted tablets.*

1 INTRODUÇÃO

Os micronutrientes, embora exigidos em menor quantidade, desempenham funções específicas e essenciais no metabolismo das plantas, sendo que a falta pode ocasionar perdas no crescimento, produção e qualidade do cafeeiro (GONTIJO; GUIMARÃES; CARVALHO, 2008; POLTRONIERI; MARTINEZ; CECON, 2011).

O café é uma das espécies mais sensíveis e responsivas ao boro (B). A deficiência desse elemento resulta em redução do sistema radicular, aborto de flores, malformação de frutos e deformidades nos elementos de vasos (ROSOLEM; LEITE, 2007). O B é integrante de compostos que constituem a hemicelulose, atua no desenvolvimento do tubo polínico, no transporte de açúcares através das membranas e na formação de nucleotídeos (DECHEN; NACHTIGALL, 2006).

O cobre (Cu) beneficia as plantas através do seu efeito como micronutriente e como tonificante. Esse elemento é essencial às plantas por ser componente de muitas enzimas e proteínas e por estar envolvido em inúmeras rotas metabólicas. Várias enzimas que contêm ou são ativadas pelo Cu, catalisam reações de óxido-redução em diversos processos fisiológicos das plantas (CHOUDHARY et al., 2012; GUO et al., 2010; YRUELA, 2009).

O zinco (Zn) desempenha diferentes papéis sendo importante para manter a integridade das membranas, síntese de proteínas, síntese do triptofano, aminoácido precursor do AIA, desintoxicação de radicais superóxido, integridade estrutural de ribossomos e produção de sementes (BROADLEY et al., 2007; HENRIQUES; CHALFUN-JUNIOR; AARTS, 2012). A deficiência de Zn provoca redução do

[1,4]Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais - EPAMIG/ SUDESTE - Vila Giannetti, 46 - 36.570-900 - Viçosa - MG ypoltronieri@epamig.br, alineagro03@yahoo.com.br
[2]Universidade Federal de Viçosa/UFV - Departamento de Fitotecnia/DFT - 36.570-900 - Viçosa - MG - herminia@ufv.br
[3]Universidade Federal de Viçosa/UFV - *Campus* Rio Paranaíba - Rodovia MG-230, Km 7 38.810-000 - Rio Paranaíba - MG junia.clemente@yahoo.com.br

comprimento dos internódios, folhas pequenas, estreitas e lanceoladas, formação de "rosetas" nas pontas dos ramos e menor produção de matéria seca, especialmente da parte aérea (TARIQ et al., 2007).

Deficiências de B, Cu e Zn são frequentemente observadas nas lavouras cafeeiras (FARNEZI; SILVA; GUIMARÃES, 2009; LANA et al., 2010; MARTINEZ et al., 2004). A correção dessas é feita por meio de fertilizantes fornecidos via solo ou via pulverizações foliares. No entanto, o Zn e o Cu aplicados em solos argilosos podem ficar fortemente adsorvidos na fração coloidal ou na matéria orgânica do solo, dificultando a absorção pela planta (LOPES et al., 2014; MARTÍNEZ; MOTTO, 2000; OLIVEIRA et al., 2010). Por outro lado, devido à baixa mobilidade do B, Cu e Zn no floema há comprometimento da eficácia das pulverizações foliares, dado que, folhas crescidas após as pulverizações poderão apresentar sintomas de deficiência (MANTOVANI; CALONEGO; FOLONI, 2013; SARTORI et al., 2008). Assim sendo, são necessárias, no mínimo, três aplicações ao ano, onerando o custo de produção principalmente em regiões montanhosas, podendo chegar a 50% das despesas do custeio total (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB, 2016).

Na tentativa de contornar essas dificuldades a inserção de comprimidos no tronco das plantas com a finalidade de liberação de substâncias é interessante, já que o processo de liberação de nutrientes é lento podendo ocorrer por vários anos. Este método foi utilizado ao longo do tempo em estudos de pequena escala para resolver o problema da absorção e/ou translocação de nutrientes. Abdi e Hedayat (2010) verificaram que a inserção de Fe no tronco de palma (*Phoenix dactylifera* L.) foi mais eficiente que os demais métodos de fertilização podendo ajudar a superar problemas de transporte e absorção de Fe nessa espécie. Shaaban (2009) estudando mangueiras (*Mangifera indica* L.) e videiras (*Vitis vinífera* L.) fertilizadas por meio de injeções no tronco observou que o crescimento da mangueira aumentou de 20-25% e a videira apresentou aumento no rendimento da fruta de 32-49% quando comparados com a fertilização no solo. Em cafeeiro foi verificado a viabilidade da suplementação do Zn via inserção de comprimidos na haste ortotrópica, e a resposta em termos de produtividade e qualidade dos grãos. O método foi eficiente no fornecimento deste elemento (POLTRONIERI; MARTINEZ; CECON, 2011). Também foram verificadas semelhanças nos conteúdos de Zn nas folhas dos cafeeiros pulverizados com sulfato de Zn e daqueles com inserção de comprimidos de sais desse elemento no tronco. Entretanto, os autores observaram que o fornecimento de Zn pelos comprimidos foi mais regular, durante o período experimental, quando comparado à pulverização foliar (MARTINEZ; POLTRONIERI; CECON, 2015).

O fornecimento de B, Cu e Zn, micronutrientes mais demandados pelas lavouras cafeeiras brasileiras, via inserção de comprimidos no tronco seria uma opção de suprimento desses elementos ao cafeeiro, reduzindo a demanda por mão de obra, já que se pressupõe que o fornecimento desses elementos pelo comprimido atenderia a demanda da planta por mais de dois ciclos de produção. Desta forma, o objetivo do presente trabalho é verificar a viabilidade do fornecimento do B, Cu e Zn ao *Coffea arabica* L. via inserção de comprimidos com sais desses elementos no ramo ortotrópico das plantas.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi instalado em julho 2010 e avaliado até abril 2013, sendo conduzido em uma lavoura de *Coffea arabica* cv. Catuaí Vermelho IAC-99, em espaçamento de 3 x 1m, com quatro anos de idade após a recepa, em Viçosa, situada à 581m de altitude, 20°45" Sul e 42°51" Oeste. O solo foi classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo, com clima do tipo Cwa segundo Köppen, e temperatura e precipitação média anual de 19,4ºC e 1.221,4 mm, respectivamente. As características químicas do solo, nos anos de 2010, 2011 e 2012, estão apresentadas na Tabela 1.

O delineamento utilizado foi em blocos casualizados com 6 tratamentos e 4 repetições. A parcela útil foi constituída das quatro plantas dispostas no centro da parcela de 54 m^2. Os tratamentos estudados foram: Test (testemunha, sem fornecimento de B, Cu e Zn), PF (pulverização foliar com ácido bórico, oxicloreto de cobre e sulfato de zinco aplicados nas concentrações de 0,4%), CB (comprimido contendo 12 % de B), CCu (comprimido contendo 24% de Cu), CZn (comprimido contendo 6% de Zn) e B+Cu+Zn (comprimido contendo 12, 24 e 6% de B, Cu e Zn respectivamente).

Para a elaboração dos comprimidos foi feita uma fôrma matriz, na qual o material com os micronutrientes foi acondicionado e submetido à compressão de 1 tnf por meio de uma prensa hidráulica.

TABELA 1 - Composição química da camada de 0-20 cm do solo da área experimental nos anos de 2010, 2011 e 2012.

	pH	P	K	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Al^{3+}	H+Al	CTC(T)	V	m
		mg.dm-3				cmol. dm-3			%	
2010	4,9	26	70	1,0	0,3	0,5	3,96	5,44	27	25
2011	5,1	28	132	2,3	0,8	0,4	6,80	10,22	34	10
2012	7,0	17	60	3,6	1,4	0,0	2,15	7,30	71	0,0

Os comprimidos foram inseridos no alburno da haste ortotrópica do cafeeiro a 10 cm de altura em relação à superfície do solo, no dia 16 de julho de 2010. Em cada planta foi feito um orifício, por meio de furadeira manual, por onde foi inserido o comprimido. Em seguida o mesmo foi coberto com cera de abelha para evitar o contato com o meio externo.

Foram realizadas três pulverizações em cada ano agrícola entre os meses de setembro e fevereiro. No tratamento onde o fornecimento do micronutriente foi através da inserção de comprimido no tronco não foi realizada a pulverização foliar do referido micronutriente. A calagem e a adubação, contendo nitrogênio, fósforo e potássio, foram realizadas com base em análise de solo, na produtividade esperada e nas recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais (GUIMARÃES et al., 1999).

O estado nutricional dos cafeeiros foi avaliado por meio da concentração de Cu, B e Zn das folhas do terceiro ou quarto nó, contado do ápice para a base, de ramos plagiotrópicos do terço médio das plantas no período entre a floração e a expansão rápida dos frutos nos anos de 2010 e 2011.

Para verificar a eficácia da inserção dos comprimidos no tronco, ao longo do período experimental, determinaram-se os conteúdos de B, Cu e Zn nas folhas novas localizadas no ápice dos ramos produtivos na altura mediana das plantas aos 41, 60, 94, 121, 173, 318, 365, 411, 431, 459, 480, 508, 541 e 704 dias após a aplicação dos tratamentos.

Foram realizadas a pesagem e a análise química de B, Cu e Zn nas folhas amostradas, conforme os métodos descritos por Malavolta, Vitti e Oliveira (1997). De posse das concentrações e das massas secas das folhas jovens, calcularam-se os conteúdos em µg/folha.

Os valores médios da precipitação acumulada, através da soma das precipitações diárias, nos meses de amostragem foliar estão apresentados na Figura 1.

A produção de grãos foi avaliada, nos anos agrícolas 2010/2011, 2011/2012 e 2012/2013 quando as plantas apresentaram aproximadamente 5% de frutos verdes. Os grãos foram descascados, espalhados em finas camadas e secos, até 11% de umidade, em bancadas suspensas. A produção por parcela útil foi mensurada em kg. Procedeu-se então a conversão da produção por parcela útil em sacas de 60 kg de café beneficiado por hectare, da seguinte forma: a produção obtida, por parcela, foi dividida pelo número de plantas da parcela. Esse valor foi multiplicado 3333,33 que corresponde ao número de plantas por hectare em espaçamento 3x1 m. Posteriormente, o valor alcançado foi dividido por 60 obtendo-se a produtividade em sacas por hectare.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância discriminando-se as médias dos tratamentos em relação à testemunha, sem fornecimento de B, Cu e Zn, pelo teste de Dunnett ($p \leq 0,05$).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Análise foliar de B, Cu e Zn

Em Viçosa, as faixas consideradas adequadas para os teores de B, Cu e Zn das folhas índices de café são respectivamente 29-52; 13-29 e 6-12 µg g^{-1} (MARTINEZ et al., 2004). Os teores desses micronutrientes nas folhas dos cafeeiros estudados encontram-se dentro das faixas em todos os tratamentos, exceto para o tratamento testemunha, indicando ser igualmente eficiente o fornecimento via pulverização foliar quanto via inserção de comprimidos no tronco (Tabela 2). Entretanto, observam-se padrões distintos para o B: o tratamento com comprimido BCuZn apresentou teores considerados tóxicos nas folhas índices do cafeeiro, 75,5 µg g^{-1}, no ano de 2011, apesar de não terem sido observados sintomas de toxidez nas plantas.

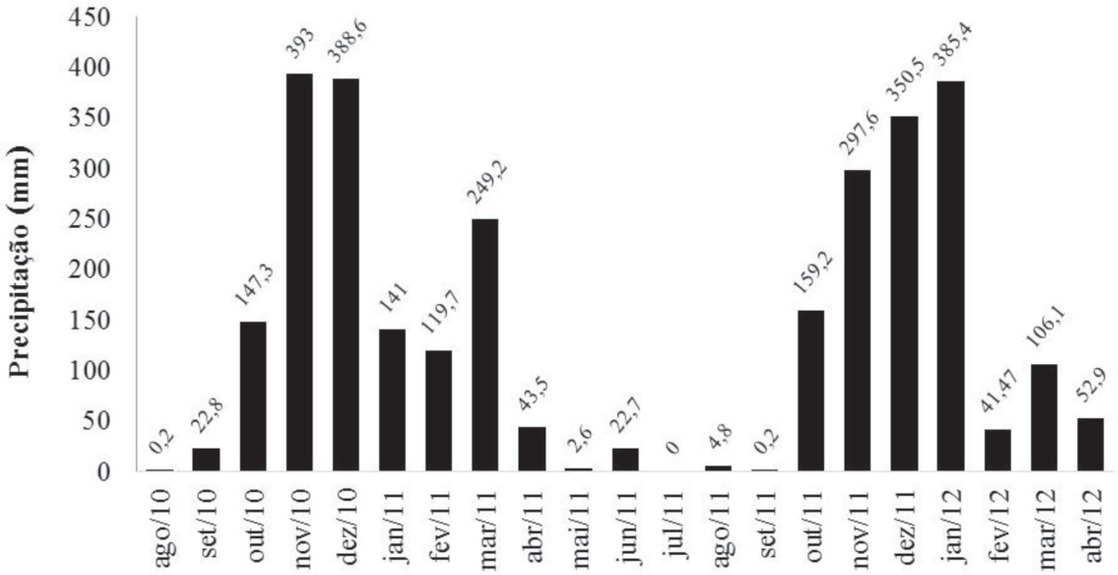

FIGURA 1 - Precipitação acumulada (mm) no período da coleta de folhas dos cafeeiros para avaliação dos conteúdos de B, Cu e Zn.

TABELA 2 - Teores de boro (B), cobre (Cu) e zinco (Zn) (µg g^{-1}) nas folhas índice de cafeeiros nos anos de 2010 e 2011 e os coeficientes de variação (CV)[1].

Tratamentos[2]	2010			2011		
	B	Cu	Zn	B	Cu	Zn
TEST	25,0b	9,7b	6,3b	27,9b	5,2b	4,4b
PF	35,7a	13,8a	9,6a	28,6b	13,1a	7,5a
CB	35,9a	11,7a	9,7a	49,9a	13,0a	6,6a
CZn	26,4b	13,1a	10,7a	38,9b	10,4a	11,5a
CCu	29,6b	16,8a	10,0a	36,9b	18,8a	6,6a
BZnCu	24,3b	16,3a	9,8a	75,5a	16,9a	9,7a
CV%	10,54	7,18	6,66	18,26	7,08	12,80

[1]Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem da testemunha, sem fornecimento de B, Cu e Zn, pelo teste de Dunnett ($p \leq 0,05$). [2]TEST (testemunha, sem fornecimento de B, Cu e Zn), PF (pulverização foliar com ácido bórico, oxicloreto de cobre e sulfato de zinco aplicados nas concentrações de 0,4%), CB (comprimido contendo sais de B), CCu (comprimido contendo sais de Cu), CZn (comprimido contendo sais de Zn) e BCuZn (comprimido contendo sais de B, Cu e Zn).

Santinato, Caione e Prado (2013) também verificaram que apesar dos teores foliares dos cafeeiros terem atingido níveis de toxicidade, as plantas não apresentaram sintomas visuais, embora a produtividade do cafeeiro tenha sido afetada. Já o fornecimento desse nutriente via pulverização foliar parece não ter sido eficiente nesse mesmo ano. Malavolta (1986) afirma que, para aumentar o teor do elemento na folha, a aplicação de B no solo é mais eficiente que a pulverização foliar, o que pode ser explicado pela dificuldade em se remover o B retido na cutícula foliar e pela baixa mobilidade deste elemento no floema. Tal comportamento é confirmado quando analisa-se o conteúdo de B nas folhas jovens ao longo do primeiro ano (Tabela 3).

TABELA 3 - Conteúdo de boro (µg) em folhas jovens de cafeeiros dos 41 aos 704 dias após a implantação do experimento e os coeficientes de variação (CV)[1].

	Dias após a implantação do experimento													
	41	60	94	121	173	318	365	411	431	459	480	508	541	704
TEST[2]	10,1b	7,8b	11,4a	14,9b	11,8a	11,1a	8,5b	4,3a	8,7a	9,8a	4,2a	6,0a	3,4a	2,0a
PF	17,2a	8,2b	16,5a	19,5b	17,4a	9,8a	7,3b	5,2a	8,0a	10,5a	3,8a	5,4a	4,3a	2,4a
CB	8,3b	17,5a	14,7a	31,8a	13,1a	15,3a	11,9a	5,0a	8,3a	8,4a	4,2a	4,5a	5,8a	2,5a
CZn	11,1b	6,7b	11,2a	26,1b	17,1a	14,0a	7,6b	4,9a	8,6a	9,4a	4,7a	4,6a	4,2a	1,7a
CCu	10,4b	7,4b	12,6a	28,6b	19,1a	13,9a	8,1b	4,7a	7,6a	10,3a	3,8a	4,6a	4,4a	2,2a
BZnCu	4,1a	12,3a	15,5a	54,4a	16,8a	14,3a	13,5a	4,6a	8,4a	10,7a	4,3a	5,7a	3,5a	2,4a
CV%	27,0	20,3	32,5	32,5	35,6	30,9	11,6	17,1	12,9	20,5	17,4	16,7	24,5	22,5

[1]Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem da testemunha pelo teste de Dunnett ($p \leq 0,05$). [(2)]TEST (testemunha, sem fornecimento de B, Cu e Zn), PF (pulverização foliar com ácido bórico, oxicloreto de cobre e sulfato de zinco aplicados nas concentrações de 0,4%), CB (comprimido contendo sais de B), CCu (comprimido contendo sais de Cu), CZn (comprimido contendo sais de Zn) e BCuZn (comprimido contendo sais de B, Cu e Zn).

Um dos sintomas da deficiência de B, Cu e Zn é a diminuição da área foliar (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997; LIMA et al., 2013; SANTOS et al., 2009), logo, a apresentação dos resultados como conteúdo de micronutrientes por folha, dá melhor informação da disponibilização destes, evitando o erro de diluição, que ocorre quando a taxa de crescimento relativo da matéria seca é superior à taxa de absorção relativa do nutriente. Os elementos estudados têm por característica baixa mobilidade no floema. Desta forma, para avaliação dos conteúdos foram utilizadas folhas jovens.

No início do período experimental (41 dias), somente os conteúdos de B, Cu e Zn nas folhas jovens dos tratamentos pulverizados foram superiores à testemunha, assinalando uma maior rapidez dessa via na correção da deficiência (Tabelas 3, 4 e 5). Entretanto, são necessárias reaplicações ao longo do período em função da baixa mobilidade desses elementos no floema.

Nas coletas de folhas realizadas no período dos 60 aos 120 dias o fruto encontrava-se na fase de crescimento denominada chumbinho. A primeira floração dos cafeeiros ocorreu aos 55 dias após início do experimento. A duração da fase de crescimento do fruto denominada chumbinho é de aproximadamente 66 dias após a floração (LAVIOLA et al., 2007). Essa é caracterizada pelo aumento da demanda por B, Zn e Cu pelos frutos em formação em detrimentos das folhas jovens, o que explica a semelhança dos conteúdos desses micronutrientes nos tratamentos testados com o tratamento testemunha (Tabelas 3, 4 e 5). Somente os tratamentos onde o B foi fornecido por meio da inserção de comprimidos no tronco dos cafeeiros diferenciaram-se do tratamento testemunha (Tabela 3). A quantidade de B fornecida pelos comprimidos foi suficiente para suprir a demanda dos frutos e ainda manter teores elevados nas folhas.

Próximo ao período de crescimento suspenso do grão, aos 173 dias após a implantação do experimento, os conteúdos de Cu e Zn diferiram da testemunha (Tabelas 4 e 5). Apenas o tratamento onde os três nutrientes foram fornecidos juntos, via comprimido, foi semelhante à testemunha. É possível que tenha ocorrido interações entre os micronutrientes. O elevado teor de B pode ter ocasionado a deficiência de Zn (RAJAIE et al., 2009) ou pode ter ocorrido interações entre os micronutrientes catiônicos, Zn e Cu (UPADHYAY; PANDA, 2010; ZABINI et al., 2008) comprometendo a eficiência do comprimido BZnCu no fornecimento desses elementos.

TABELA 4 - Conteúdo de cobre (μg) em folhas jovens de cafeeiros dos 41 aos 704 dias após a implantação do experimento e os coeficientes de variação (CV) [(1)].

	Dias após a implantação do experimento													
	41	60	94	121	173	318	365	411	431	459	480	508	541	704
TEST[2]	3,6b	6,8a	7,1a	3,9a	1,4b	3,9a	3,8a	1,5a	0,5a	0,7b	1,2a	1,2a	0,4a	1,0a
PF	6,1a	8,0a	7,7a	4,9a	2,5a	5,5a	3,3a	1,8a	0,5a	3,1a	0,9a	1,7a	0,7a	1,5a
CB	4,3b	6,4a	4,6a	4,6a	2,5a	4,5a	3,6a	1,7a	0,4a	2,5a	1,0a	1,3a	0,7a	1,1a
CZn	3,8b	6,1a	4,9a	19,7a	2,8a	5,3a	6,2a	1,7a	0,3a	3,0a	4,0a	1,2a	0,7a	1,2a
CCu	3,4b	5,6a	6,6a	6,3a	2,4a	6,4a	4,7a	3,5a	0,5a	3,1a	1,1a	5,7a	1,1a	1,2a
BZnCu	2,8b	5,8a	5,2a	6,1a	1,7b	3,7a	4,0a	1,7a	0,5a	2,8a	1,0a	3,7a	0,6a	1,0a
CV%	20,8	22,18	31,7	164,0	25,5	38,6	30,0	55,3	46,6	23,3	126,9	176,4	79,8	14,3

[1]Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem da testemunha pelo teste de Dunnett ($p \leq 0,05$). [2]TEST (testemunha, sem fornecimento de B, Cu e Zn), PF (pulverização foliar com ácido bórico, oxicloreto de cobre e sulfato de zinco aplicados nas concentrações de 0,4%), CB (comprimido contendo sais de B), CCu (comprimido contendo sais de Cu), CZn (comprimido contendo sais de Zn) e BCuZn (comprimido contendo sais de B, Cu e Zn).

TABELA 5 - Conteúdo de zinco (μg) em folhas jovens de cafeeiros dos 41 aos 704 dias após a implantação do experimento e os coeficientes de variação (CV)[1].

	Dias após a implantação do experimento													
	41	60	94	121	173	318	365	411	431	459	480	508	541	704
TEST[2]	3,9b	4,5a	5,2a	1,0a	2,9b	3,2b	5,3a	1,7a	1,9a	1,8b	1,7a	1,7a	1,2b	1,0a
PF	6,4a	5,0a	5,9a	3,6a	5,1a	4,6b	5,5a	1,8a	1,7a	2,3b	1,7a	1,9a	1,5b	1,5a
CB	5,6b	3,9a	3,7a	2,4a	4,9a	3,6b	5,7a	1,8a	1,8a	1,9b	1,8a	1,6a	1,7b	1,1a
CZn	4,6b	4,0a	3,8a	2,0a	5,4a	4,2b	6,0a	1,9a	1,9a	2,5a	2,0a	1,2a	1,4b	1,2a
CCu	3,9b	4,1a	4,4a	3,5a	6,2a	6,2a	5,5a	1,9a	1,6a	2,2b	1,7a	1,8a	2,3a	1,2a
BZnCu	3,3b	3,7a	3,7a	3,6a	4,3b	2,9b	5,4a	1,8a	1,8a	2,1b	2,0a	1,8a	1,3b	1,0a
CV%	23,2	20,1	40,5	53,8	24,0	29,8	20,0	19,6	10,2	13,8	22,4	17,2	20,2	14,3

[1] Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem da testemunha pelo teste de Dunnett ($p \leq 0,05$). [2]TEST (testemunha, sem fornecimento de B, Cu e Zn), PF (pulverização foliar com ácido bórico, oxicloreto de cobre e sulfato de zinco aplicados nas concentrações de 0,4%), CB (comprimido contendo sais de B), CCu (comprimido contendo sais de Cu), CZn (comprimido contendo sais de Zn) e BCuZn (comprimido contendo sais de B, Cu e Zn).

Em geral, nas coletas aos 318, 365, 411 e 431 dias após o inicio do experimento, os conteúdos de B, Cu e Zn nas folhas jovens dos tratamentos que receberam esses micronutrientes não diferiram da testemunha (Tabelas 3, 4 e 5). Estas coletas foram realizadas na estação seca, caracterizada pela baixa precipitação (Figura 1). Nesse período não há fornecimento de micronutrientes via pulverização foliar e o suprimento, desses elementos, via inserção de comprimidos no tronco torna-se limitado. Os nutrientes se movem na planta, do ponto de inserção até as folhas, impulsionados pela corrente transpiratória (FERNÁNDEZ DE CORDOVA; GALLEGO, 1997), portanto, a menor disponibilidade de água diminui a liberação do nutriente pelo comprimido.

A partir de 480 até 704 dias após a implantação do experimento não há diferença entre os tratamentos e a testemunha, indicando uma possível exaustão das doses de micronutrientes veiculadas pelos comprimidos, portanto, sendo necessárias novas pesquisas objetivando o aumento do período de liberação (Tabelas 3, 4 e 5).

3.2 Produtividade de grãos

Na espécie *Coffea arabica* as inflorescências ocorrem nos ramos plagiotrópicos crescidos no ano anterior, logo na primeira avaliação da produtividade, ano agrícola (2010/2011), não foram observados efeitos dos tratamentos nos cafeeiros avaliados (Tabela 6). No ano agrícola 2011/2012 também não foram verificadas diferenças significativas. Entretanto, no ano seguinte, 2012/2013, ambos os fornecimentos, foliar e via comprimidos, foram eficientes no suprimento de B, Cu e Zn promovendo maiores valores de produtividade quando comparados com a testemunha, evidenciando o êxito dos comprimidos no fornecimento desses micronutrientes (Tabela 6). Poltronieri, Martinez e Cecon (2011) avaliaram o fornecimento de Zn a cafeeiros por meio da inserção desse elemento no ramo ortotrópico e também verificaram aumento na produtividade de grãos.

Contudo, no tratamento onde B, Cu e Zn foram fornecidos juntos via comprimidos inseridos no tronco, a produtividade de grãos não diferiu da testemunha. É provável que tenha ocorrido excessiva liberação de B por esse comprimido levando os teores a níveis tóxicos com consequente diminuição da produção, apesar de não terem sidos observados sintomas (Tabelas 2 e 6).

TABELA 6 - Produtividade de grãos de café em sacas beneficiados por hectare nos anos agrícola de 2010/2011, 2011/2012, 2012/2013 e os coeficientes de variação (CV)[1].

Tratamentos[2]	2010/2011	2011/2012	2012/2013	Média das três produtividades
TEST	52,19a	64,15a	36,46b	50,93a
PF	46,80a	77,46a	67,45a	63,90a
CB	56,75a	56,77a	83,94a	65,82a
CZn	55,21a	73,98a	67,86a	66,64a
CCu	54,65a	80,23a	64,79a	68,57a
BZnCu	50,17a	55,03a	53,73b	52,98a
CV%	20,03	31,90	27,49	16,48

[1]Médias seguidas pela mesma letra não diferem da testemunha pelo teste de Dunnett ($p \leq 0,05$). [2]TEST (testemunha, sem fornecimento de B, Cu e Zn), PF (pulverização foliar com ácido bórico, oxicloreto de cobre e sulfato de zinco aplicados nas concentrações de 0,4%), CB (comprimido contendo sais de B), CCu (comprimido contendo sais de Cu), CZn (comprimido contendo sais de Zn) e BCuZn (comprimido contendo sais de B, Cu e Zn).

Quando avaliadas as médias das produtividades dos três anos agrícolas verifica-se que não houve diferenças entre os tratamentos estudados.

Ambas as vias, pulverização foliar e inserção de comprimidos no tronco, são eficientes no suprimento de B, Cu e Zn ao cafeeiro, indicando que o comprimido é uma alternativa no suprimento desses micronutrientes. Entretanto, há a necessidade de pesquisas futuras visando o suprimento, de nutrientes pelos comprimidos, por um período de tempo maior.

4 CONCLUSÕES

O uso dos comprimidos com sais de B, Cu e Zn inseridos no ramo ortotrópico do cafeeiro é uma alternativa de suprimento desses elementos, se fornecidos separadamente e para as condições em que foi realizado o experimento;

A produtividade de grãos de café aumenta a partir da terceira colheita após a implantação dos comprimidos de B, Cu e Zn no ramo ortotrópico do cafeeiro.

5 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), pelo suporte financeiro e bolsas concedidas.

6 REFERÊNCIAS

ABDI, G. H.; HEDAYAT, M. Yield and fruit physiochemical characteristics of 'Kabkab' date palm as affected by methods of potassium fertilization. **Advances in Environmental Biology**, Amman, v. 4, p. 437-442, 2010.

BROADLEY, M. et al. Zinc in plants. **New Phytologist**, Lancaster, v. 173, p. 677-702, 2007.

CHOUDHARY, S. P. et al. Interaction of brassinosteroids and polyamines enhances copper stress tolerance in Raphanus sativus. **Journal of Experimental Botany**, Lancaster, v. 63, p. 5659-5675, 2012.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Custo de produção:** culturas permanentes/café arabica_serie_2003 a 2015. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1556&t=2&Pagina_objcmsconteudos=2#A_objcmsconteudos>. Acesso em: 25 jan. 2016.

DECHEN, A. R.; NACHTIGALL, G. R. Micronutrientes. In: FERNANDES, M. F. (Ed.). **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. p. 327-354.

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

FERNÁNDEZ DE CORDOVA, J.; GALLEGO, F. J. Control de la cochinilla de la encina (*Asterolecanium ilicicola*, Targioni, 1892) mediante la inyección de insecticidas al tronco del árbol. **Boletín de Sanidad Vegetal - Plagas**, Madrid, v. 23, p. 607-612, 1997.

GONTIJO, R. A. N.; GUIMARÃES, R. J.; CARVALHO, J. G. Crescimento e teor foliar de nutrientes em cafeeiro decorrente da omissão isolada e simultânea de Ca, B, Cu e Zn. **Coffee Science**, Lavras, v. 3, p. 124-132, 2008.

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, 1999. p. 289-302.

GUO, X. Y. et al. Toxicity and accumulation of copper and nickel in maize plants cropped on calcareous and acidic field soils. **Plant and Soil**, The Hague, v. 333, p. 365-373, 2010.

HENRIQUES, A. R.; CHALFUN-JUNIOR, A.; AARTS, M. Strategies to increase zinc deficiency tolerance and homeostasis in plants. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, Londrina, v. 24, n. 1, p. 3-8, 2012.

LANA, R. M. Q. et al. Levantamento do estado nutricional de plantas de *Coffea arabica* L. pelo DRIS, na região do Alto Paranaíba, Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v. 34, p. 1147-1156, 2010.

LAVIOLA, B. G. et al. Acúmulo de nutrientes em frutos de cafeeiro em duas altitudes de cultivo: micronutrientes. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v. 31, p. 1439-1449, 2007.

LIMA, A. D. et al. Adubação borácica na cultura do girassol. **Revista Agro@mbiente**, Boa Vista, v. 7, p. 269-276, 2013.

LOPES, C. et al. Adsorção de cobre em Latossolo Bruno e Nitossolo Vermelho. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lages, v. 13, n. 1, p. 56-63, 2014.

MALAVOLTA, E. Nutrição, adubação e calagem para o cafeeiro. In: RENA, A. B. E. et al. (Ed.). **Cultura do cafeeiro:** fatores que afetam a produtividade. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1986. p. 165-274.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas:** princípios e aplicações. 2. ed. Piracicaba: Potafos, 1997. 319 p.

MANTOVANI, J. P. M.; CALONEGO, J. C.; FOLONI, J. S. S. Adubação foliar de boro em diferentes estádios fenológicos da cultura do amendoim. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 60, n. 2, p. 270-278, 2013.

MARTÍNEZ, C. E.; MOTTO, H. L. Solubility of lead, zinc and copper added to mineral soils. **Environmental Pollution**, New York, v. 107, p. 153-158, 2000.

MARTINEZ, H. E. P. et al. **Nutrição mineral, fertilidade do solo e produtividade do cafeeiro nas regiões de Patrocínio, Manhuaçu, Viçosa, São Sebastião do Paraíso e Guaxupé**. Viçosa, MG: EPAMIG, 2004. 60 p. (Boletim Técnico, 72).

MARTINEZ, H. E. P.; POLTRONIERI, Y.; CECON, P. R. Supplying zinc salt tablets increased zinc concentration and yield of coffee trees. **Journal of Plant Nutrition**, London, v. 38, p. 1073-1082, 2015.

OLIVEIRA, L. F. C. et al. Isotermas de sorção de metais pesados em solos do cerrado de Goiás. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 7, p. 776-782, 2010.

POLTRONIERI, Y.; MARTINEZ, H. E. P.; CECON, P. R. Effect of zinc and its form of supply on production and quality of coffee beans. **Journal of Science and Food Agriculture**, Chichester, v. 91, p. 2431-2436, 2011.

RAJAIE, M. et al. Effect of zinc and boron interaction on growth and mineral composition of lemon seedlings in a calcareous soil. **International Journal of Plant Production**, Gorgan, v. 3, p. 39-50, 2009.

ROSOLEM, C. A.; LEITE, V. M. Coffee leaf and stem anatomy under boron deficiency. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, p. 477-483, 2007.

SANTOS, H. et al. Cu e Zn na cultura do sorgo cultivado em três classes de solos: I., crescimento vegetativo e produção. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 13, p. 125-130, 2009.

SARTORI, R. H. et al. Absorção radicular e foliar de ^{65}Zn e sua redistribuição em laranjeiras. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 30, n. 2, p. 523-527, 2008.

SATINATO, F.; CAIONE, G.; PRADO, R. M. Toxicidade de boro em cafeeiro arábica, em fase de formação. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 8., 2013, Salvador. **Resumos Expandidos...** Brasília: EMBRAPA Café, 2013. 1 CD-ROM.

SHAABAN, M. M. Injection fertilization: a full nutritional technique for fruit trees saves 90-95% of fertilizers and maintains a clean environment. **Fruit, Vegetable and Cereal Science and Biotechnology**, Kita-Gun, v. 3, p. 22-27, 2009.

TARIQ, M. et al. Effect of foliar application on the yield and quality of sweet orange (*Citrus sinensis* L.). **Pakistan Journal Biological Sciences**, Karachi, v. 10, p. 1823-1828, 2007.

UPADHYAY, R.; PANDA, S. K. Zinc reduces copper toxicity induced oxidative stress by promoting antioxidant defense in freshly grown aquatic duckweed *Spirodela polyrhiza* L. **Journal of Hazardous Materials**, Amsterdam, v. 175, p. 1081-1084, 2010.

YRUELA, I. Copper in plants: acquisition, transport and interactions. **Functional Plant Biology**, Melbourne, v. 36, p. 409-430, 2009.

ZABINI, A. V. et al. Concentração de micronutrientes e características bioquímicas de progênies de cafeeiros (*Coffea arabica* L.) eficientes no uso de zinco. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 23, p. 95-103, 2008.

VOLATILIZAÇÃO DE AMÔNIA DE UREIAS PROTEGIDAS NA CULTURA DO CAFEEIRO CONILON

José de Oliveira Rodrigues[1], Fábio Luiz Partelli[2], Fábio Ribeiro Pires[3], Gleison Oliosi[4], Marcelo Curitiba Espindula[5], José Antônio Monte[6]

(Recebido: 29 de fevereiro de 2016; aceito: 29 de junho de 2016)

RESUMO: Dentre as fontes de nitrogênio (N) utilizadas na agricultura, a ureia é o fertilizante mais utilizado no Brasil. Todavia, apresenta problemas com a aplicação na superfície do solo devido às perdas de N por volatilização de amônia, decorrentes da ação da enzima urease. Objetivou-se determinar as perdas de N por volatilização de amônia e a produtividade de plantas de cafeeiro Conilon adubadas com ureias protegidas. O experimento foi instalado em Nova Venécia – ES, em lavoura comercial de café Conilon 'Vitória INCAPER 8142' com cinco fontes de fertilizantes nitrogenados: Ureia Comum-45% N (UC45), Ureia-45% N + NBPT (U45+NBPT), Ureia-44,6% N + 0,15% de Cu + 0,4% de B (U44,6+Cu+B), Ureia-37% N + 17% de S (U37+S) e Nitrato de Amônio-34% N (NA34). O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso com cinco tratamentos e seis repetições. Foram instalados coletores de amônia, em cada parcela experimental, imediatamente após a aplicação dos fertilizantes. As ureias protegidas pelo inibidor NBPT e pelos micronutrientes Cu + B apresentam as menores perdas por volatilização em relação à ureia não protegida. O recobrimento da ureia com enxofre não proporciona redução das perdas de N por volatilização. A produtividade dos cafeeiros não é afetada pela utilização de ureias protegidas com NBPT, Cu + B e S, sob as condições estudadas.

Termos de indexação: Perdas de N-NH_3, nitrogênio, *Coffea canephora.*

AMMONIA VOLATILISATION FROM COATED UREA IN CONILON COFFEE CROP

***ABSTRACT*:** *Among the sources of nitrogen (N) used in agriculture urea is the most widely used fertilizer in Brazil. However, this source presents problems with the application on the soil surface due to N losses by NH_3 volatilisation, resulting from the action of the enzyme urease. This study aimed to determine the losses of nitrogen (N) by Ammonia volatilisation and yield of Conilon coffee plants fertilized with protected ureas. The experiment was installed in Nova Venécia – Espírito Santo state, Brazil, in commercial coffee farming Conilon 'Vitória INCAPER 8142' with five sources of nitrogen fertilizers: Common Urea-45% N (UC45), Urea-45% N + NBPT (U45+NBPT), Urea-44.6% N + 0.15% Cu + 0.4 % B (U44.6+Cu+B); Urea-37% N + 17% de S (U37+S), and Ammonium Nitrate-34% N (AN34). The experimental design was randomized blocks with five treatments and six replicates. Ammonia collectors were installed in each plot immediately after fertilizer application. Ureas protected by NBPT inhibitor and the Cu + B micronutrients have lower volatilisation losses in relation to unprotected urea. The coating of urea with sulfur does not provide reduced losses of N by volatilisation. The coffee yield is not affected by the use of protected ureas with NBPT, Cu + B and S under the conditions studied.*

Index terms: *N-NH_3 losses, nitrogen, Coffea canephora.*

1 INTRODUÇÃO

O Nitrogênio (N) é o nutriente mais acumulado no fruto do cafeeiro conilon (*Coffea canephora* Pierre ex A.Froehner), tendo comportamento sigmoidal (PARTELLI et al., 2014), bem como em toda planta do cafeeiro Conilon, com 38% do total de macronutrientes distribuídos entre os diversos órgãos. Uma planta adulta, com seis anos de idade, acumula cerca de 250 g planta^{-1} de N, o que equivale à imobilização de 554 kg ha^{-1} de N. Do total de N acumulado, aproximadamente 29% são alocados nas folhas; 24% no tronco + ramos ortotrópicos; 20% nas raízes; 17% nos frutos e 10% nos ramos plagiotrópicos (BRAGANÇA et al., 2008). Diante disso, é dada a importância para os fertilizantes nitrogenados.

A ureia é o fertilizante nitrogenado mais utilizado no Brasil devido ao seu baixo custo relativo, alta solubilidade e pela boa assimilação dos produtos de sua hidrólise pelas plantas. Porém, esta fonte de N tem apresentado problemas com a aplicação em superfície do solo devido às perdas de N por volatilização na forma de amônia decorrentes da ação da enzima urease.

[1,2,3]Universidade Federal do Espírito Santo/UFES - Centro Universitário Norte do Espírito Santo/CEUNES - Departamento de Ciências Agrárias e Biológicas/DCAB - 29932-540 - Rodovia BR 101 Norte - km 60 - Bairro Litorâneo - São Mateus - ES rodrigolajinha@gmail.com, partelli@yahoo.com.br, pires.fr@gmail.com
[4]Universidade Federal do Espírito Santo/UFES - Centro Universitário Norte do Espírito Santo/CEUNES - Fazenda Experimental 29.932-540 - Rodovia BR 101 Norte - km 60 - Bairro Litorâneo - São Mateus - ES - gleison.oliosi@hotmail.com
[5]Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária/EMBRAPA - Centro de Pesquisa Agroflorestal de Rondônia - BR 364 - km 5,5 Zona Rural - Cx. P. 127 – 76.815-800 - Porto Velho - Rondônia - marcelo.espindula@embrapa.br
[6]Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro/UFRRJ - Departamento de Fitotecnia - Instituto de Agronomia - BR 465 - km 7 23.890-000 - Seropédica - RJ jam1agr@yahoo.com.br

As perdas de N por volatilização de amônia (N-NH_3) são influenciadas principalmente por condições climáticas, tais como ventos e temperatura do ar (MALHI et al., 2001), e condições do solo, tais como classe de solo (VALE; SOUSA; SCIVITTARO, 2014), umidade solo (DUARTE et al., 2007) e presença de restos culturais (ROJAS et al., 2012). Como na aplicação da ureia em superfície torna-se difícil manejar os fatores que influenciam a volatilização, os trabalhos de pesquisa têm sido voltados para a busca de substâncias que, adicionados à ureia, retardem a ação da enzima urease e reduzem as perdas de N-NH_3 por volatilização.

A substância que tem se mostrado mais eficiente para redução das perdas de N por volatilização é o NBPT (N-(n-butil) tiofosfórico triamida) (BERNARDI et al., 2014), no entanto, esta substância não é capaz de controlar completamente as perdas de N-NH_3, sendo eficiente apenas para minimização das perdas (OKUMURA; MARIANO, 2012). Por isso, substâncias alternativas são constantemente testadas em comparação ao NBPT.

As principais substâncias testadas no Brasil incluem a zeólita natural (BERNARDI et al., 2013), carvão vegetal (PAIVA et al., 2012) e compostos acidificantes (CANTARELLA et al., 2008). As substâncias acidificantes incluem sulfato de amônio (OLIVEIRA et al., 2014), sulfato de cálcio (STAFANATO et al., 2013), sulfato de cobre e ácido bórico (FARIA et al., 2014) e enxofre elementar (OLIVEIRA et al., 2014). Esses compostos diminuem o pH no entorno dos grânulos permitindo que o N da ureia permaneça na forma do íon amônio.

O ácido bórico, além de fornecer nutriente e contribuir para a redução da volatilização do N-NH_3 pela redução do pH, também atua como inibidor direto da enzima urease sendo esta inibição dada por competição com a ureia pelos sítios de ligação da enzima urease. Na reação, dois dos três átomos de oxigênio do ácido (H_3BO_3) se ligam aos dois átomos de Ni que compõe a enzima urease inibindo sua ação (KRAJEWSKA, 2009).

Em ambiente controlado, utilizando um Planossolo Háplico, a incorporação de Cu e B na ureia pastilhada demonstrou ser eficiente contra as perdas de N-NH_3 por volatilização, reduzindo em até 54% a volatilização, quando comparada com ureia granulada comercial (STAFANATO et al., 2013). No entanto, quando testados em Latossolo Vermelho-Amarelo oriundos de plantio de cana de açúcar, a ureia recoberta por B + Cu não afetou as perdas totais de N-NH_3, apesar de terem retardado o pico de volatilização (FARIA et al., 2014).

Com relação ao enxofre elementar, Oliveira et al. (2014) não encontraram efeitos positivos com o recobrimento da ureia com este elemento, mas sugeriram que a compactação de ureia com bentonita em conjunto com fontes de enxofre demonstraram ser alternativas viáveis para aumentar a eficiência do N-ureia. Desse modo objetivou-se determinar as perdas de nitrogênio por volatilização de amônia e a produtividade de plantas de café Conilon adubadas com ureias protegidas.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no município de Nova Venécia - Espírito Santo - Brasil (18°43'43" S; 40°23'09" O; altitude de 89 m). O clima, conforme classificação de Köppen é Aw, tropical com inverno seco (ALVARES et al., 2013). O solo foi classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA, 2013), de textura argilosa. Utilizaram-se seis genótipos de *Coffea canephora* L., denominados 1V, 2V, 3V, 4V, 5V e 6V que fazem parte da cultivar 'Vitória Incaper 8142', com dois anos de idade, e implantados no espaçamento com 3 m na entrelinha e 1 m entre plantas.

Os tratamentos foram cinco fontes de fertilizantes nitrogenados: T1 = Ureia Comum-45% N (UC45); T2 = Ureia-45% N + NBPT (U45+NBPT); T3 = Ureia-44,6% N + 0,15% de Cu + 0,4% de B (U44,6+Cu+B); T4 = Ureia-37% N + 17% de S (U37+S); e T5 = Nitrato de Amônio-34% N (NA34). Os tratamentos T2, T3 e T4 são considerados como ureias protegidas, e o tratamento T5 foi considerado como a testemunha positiva do experimento, ou seja, tratamento em que as perdas por volatilização de N-NH_3 são mínimas. O experimento foi instalado no delineamento em blocos casualizados, com seis repetições, onde cada genótipo (linha de plantio) constituiu um bloco, e a parcela experimental foi composta por três linhas com seis plantas, sendo que as quatro plantas centrais constituíram a parcela útil.

O experimento foi realizado durante os anos agrícolas de 2010/2011 e 2011/2012. Durante esse período os fertilizantes nitrogenados foram aplicados manualmente a cada 60 dias, aproximadamente (outubro, dezembro, março, maio, junho e agosto). A adubação nitrogenada foi

estabelecida conforme os dados da análise do solo e a expectativa de produtividade de 100 sacas ha^{-1}. O N foi aplicado na dose de 24 g por planta em cada adubação, equivalente a 80 kg ha^{-1} por aplicação e 480 kg ha^{-1} por ano. O potássio, o fósforo e os micronutrientes foram aplicados separadamente conforme recomendação de adubação.

A colheita foi realizada no período de abril a julho de cada ano, de forma manual, colhendo-se um genótipo por vez, com 80% dos grãos maduros. A produção média dos grãos do cafeeiro foi quantificada em litros por planta, e extrapolada para sacas por hectares, considerando a relação de 320 L de café maduro ser equivalente a uma saca de 60 kg de café beneficiado.

As quantificações das perdas de $N\text{-}NH_3$ por volatilização foram realizadas em três épocas: outubro e dezembro de 2011 e março de 2012, utilizando a metodologia descrita por Araújo et al. (2009). Os coletores de amônia foram instalados, em cada parcela experimental, imediatamente após a aplicação do fertilizante. As esponjas coletoras de amônia com 2,5 cm de largura e 25 cm de comprimento foram trocadas a cada 120 h (5 dias), e com período de avaliação até 360 h (15 dias).

As esponjas de cada frasco de 50 mL foram transferidas para tubos de erlenmeyer de 250 mL, com massa previamente conhecida (P1). Posteriormente, adicionou-se 40 cm^3 de água destilada a cada tubo. Os tubos com a solução e a lâmina de espuma foram levados a um agitador horizontal a 220 rpm. Após 20 min, os tubos foram removidos do agitador e pesados (P2). Uma alíquota de 5 a 10 cm^3, conforme a concentração de NH_4^+ esperada foi analisada por destilação a vapor e submetida à titulação posterior, para a quantificação do N amoniacal conforme Alves et al. (1994).

As esponjas foram acondicionadas em frascos de 50 mL e conduzidas ao Laboratório de Nutrição Mineral do Centro Universitário Norte do Espírito Santo (CEUNES), onde foi quantificado o teor de N volatilizado. Os resultados foram obtidos em miligramas de NH_4^+ por área do coletor (mg cm^{-2}) e transformados para kg ha^{-1}. A umidade do solo antes e após a avaliação foi igual em todos os tratamentos e em todas as épocas amostradas.

Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Houve volatilização de $N\text{-}NH_3$ de forma semelhante entre as cinco fontes de N, na primeira avaliação, em outubro de 2011, nos três períodos de avaliação após a aplicação dos fertilizantes (Tabela 1). Isso ocorreu provavelmente devido a precipitação pluvial de 20,8 mm ocorrida no mesmo dia da adubação em 12/10/2011 (Figura 1A), fazendo com que os fertilizantes fossem dissolvidos e incorporados no perfil do solo. Resultados semelhantes foram relatados para um Latossolo Bruno alumínico (ROJAS et al., 2012). Estes autores afirmaram que a perda de $N\text{-}NH_3$ por volatilização é relacionada à ocorrência de chuva no período imediatamente após à aplicação da ureia.

Na segunda avaliação, em dezembro de 2011, aos cinco dias após a aplicação dos fertilizantes, o nitrato de amônio promoveu menor perda por volatilização de $N\text{-}NH_3$, seguido pela ureia + NBPT e pela ureia + Cu e B (Tabela 1). A ureia perolada comum e a ureia + S foram as fontes de N que apresentaram maiores perdas de $N\text{-}NH_3$ e não diferiram estatisticamente entre si. Aos 10 dias após a aplicação dos fertilizantes, não houve diferença significativa entre as médias da perda de $N\text{-}NH_3$ para todas as fontes de N avaliadas. Esse fato foi provavelmente devido às precipitações anteriores a data de coleta, reduzindo assim a taxa de volatilização de $N\text{-}NH_3$ das fontes de N estudadas (Figura 1B). Aos 15 dias após aplicação dos fertilizantes, não houve diferença estatística entre as fontes de N estudadas, exceto entre o nitrato de amônio e a ureia + S, em que a volatilização de $N\text{-}NH_3$ do tratamento contendo ureia + S foi 88,8% maior que a do nitrato de amônio.

Com relação ao total volatilizado, as médias da volatilização de $N\text{-}NH_3$ das fontes ureia perolada comum e a ureia + S não diferiram estatisticamente entre si e apresentaram a maior volatilização acumulada, sendo seguidas pelas fontes ureia + Cu e B e ureia + NBPT que também não diferiram entre si. O nitrato de amônio apresentou a menor perda de volatilização de $N\text{-}NH_3$. Resultados semelhantes foram relatados para um Planossolo Háplico do município de Seropédica, Rio de Janeiro, onde a ureia + Cu e B e a ureia + NBPT promoveram menores perdas que a ureia granulada (STAFANATO et al., 2013). No entanto, estes autores relatam que entre as duas fontes, a ureia + Cu e B promoveram menores perdas de $N\text{-}NH_3$ que a ureia + NBPT.

A baixa taxa de volatilização de $N\text{-}NH_3$ da ureia + NBPT está relacionada ao NBPT que ocupa o local de atuação da urease, inativando essa enzima, retardando o início da reação e reduzindo a velocidade de volatilização de $N\text{-}NH_3$ (KRAJEWSKA, 2009).

TABELA 1 - Perdas de N por volatilização de amônia (kg ha^{-1}) avaliada após a aplicação de fontes nitrogenadas no solo.

Tratamentos	Dia após a aplicação dos fertilizantes			Total
	5	10	15	
		Primeira avaliação (Outubro de 2011)		
UC45	0,88 a	0,42 a	0,45 a	1,75 a
U45+NBPT	0,37 a	0,63 a	0,35 a	1,35 a
U44,6+Cu+B	0,50 a	0,35 a	0,50 a	1,35 a
U37+S	0,72 a	0,33 a	0,43 a	1,48 a
NA34	0,43 a	0,48 a	0,42 a	1,33 a
CV (%)	74,15	69,90	51,39	41,09
		Segunda avaliação (Dezembro de 2011)		
UC45	17,73 a	2,62 a	1,78 ab	22,13 a
U45+NBPT	10,10 c	3,48 a	1,80 ab	15,38 b
U44,6+Cu+B	13,32 b	3,33 a	1,80 ab	16,03 b
U37+S	19,57 a	3,72 a	2,70 a	25,98 a
NA34	01,87 d	2,50 a	1,43 b	05,80 c
CV (%)	10,00	43,97	34,84	18,93
		Terceira avaliação (Março de 2012)		
UC45	9,10 a	5,24 a	1,19 ab	15,53 a
U45+NBPT	6,57 b	2,76 bc	1,18 ab	10,52 b
U44,6+Cu+B	4,42 c	2,39 bc	1,00 ab	07,22 bc
U37+S	5,58 bc	4,28 ab	1,85 a	11,71 ab
NA34	1,75 d	1,31 c	0,73 b	04,12 c
CV (%)	34,51	36,92	52,96	27,55

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

A demora na hidrólise reduz a concentração de N-NH_3 na superfície do solo, aumentando as chances de que chuvas ou irrigação incorporem a ureia ao solo, diminuindo o potencial de volatilização.

Já para os efeitos da ureia + Cu e B, a inibição da atividade está relacionada ao íon Cu cuja inibição tem sido relatada como não competitiva, onde o íon se liga a grupos "tiol" da enzima, resultando na formação de mercaptides. Há também evidências que esses íons podem atuar por outras formas ainda pouco estudadas (KRAJEWSKA, 2009).

Na terceira avaliação, em março de 2012, não houve diferença significativa entre as fontes de N estudadas, aos 15 dias após a aplicação do adubo, mas houve diferença aos cinco dias e dez dias após a aplicação do adubo nitrogenado (Tabela 1). A ausência de diferença aos 15 dias está relacionada à redução da disponibilidade de moléculas de ureia para serem hidrolisadas visto que, segundo Duarte et al. (2007), as maiores perdas de N por volatilização ocorrem dentro do intervalo de três dias após a aplicação do fertilizante. Aos cinco dias a ureia perolada comum apresentou as maiores perdas e o nitrato de amônio as menores perdas. As ureias protegidas apresentaram menores volatilizações que a ureia perolada comum, mas, maiores perdas que o nitrato de amônio. Aos dez dias, as maiores taxas de volatilização de N-NH_3 ocorreram nas fontes ureia perolada comum e na fonte ureia + S, que não diferiram estatisticamente entre si. Também não foi verificada diferença entre ureia + NBPT, ureia + Cu e B e nitrato de amônio (Tabela 1). Estes resultados corroboram os relatados para um solo arenoso cultivado com cana de açúcar no município de Piracicaba, São Paulo, onde as fontes ureia comum e ureia + S elementar tiveram semelhantes perdas de N-NH_3, tendo ambas apresentado maiores perdas que a ureia + Cu e B (NASCIMENTO et al., 2013).

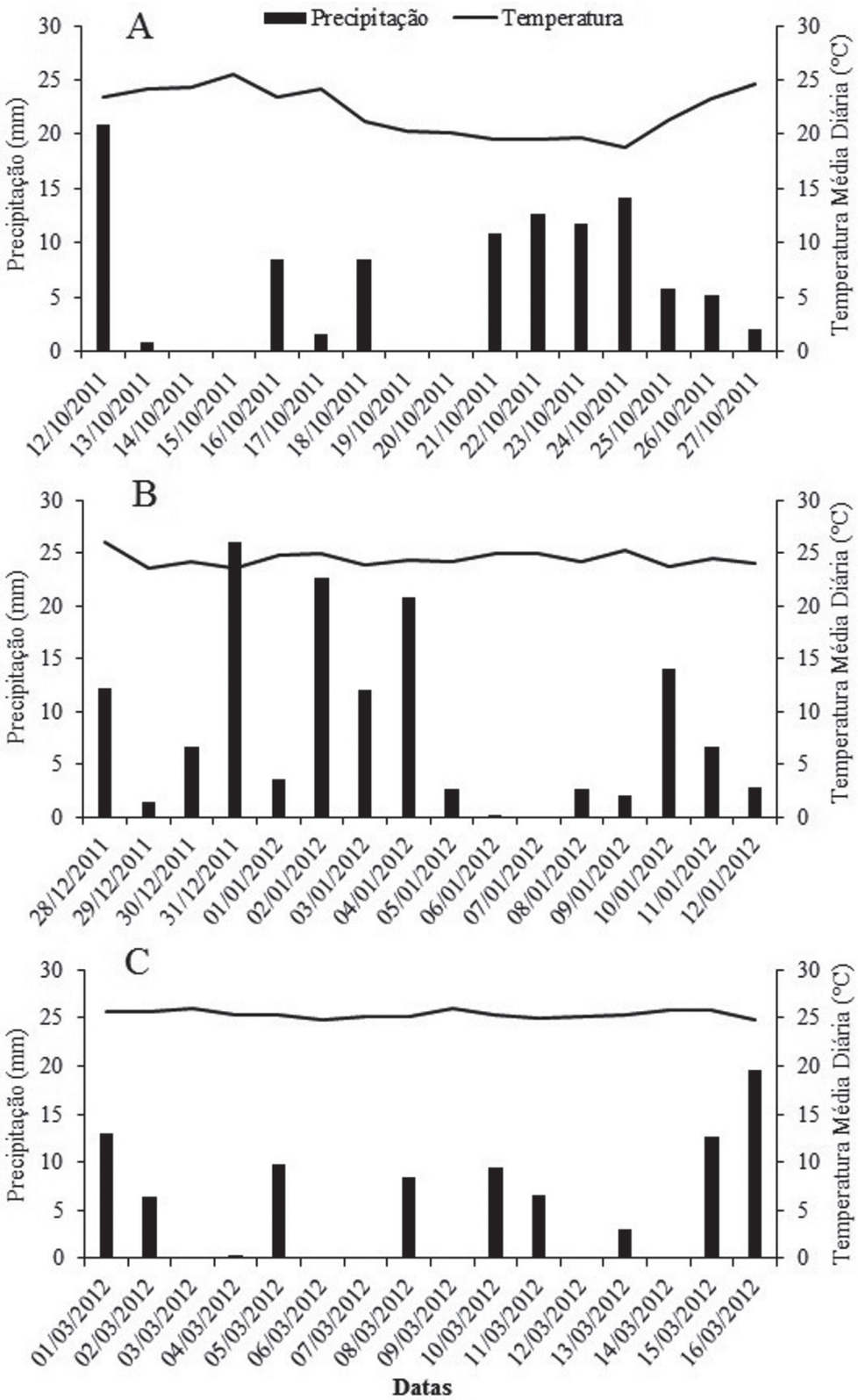

FIGURA 1 - Precipitações e temperaturas médias registradas em outubro de 2011 (A), dezembro de 2011(B) e março de 2012 (C).

Estes resultados indicam que o emprego do sulfato de cobre e o ácido bórico, da categoria dos íons metais pesados, ao lado do Hg^{2+} e do Ag^{+} (ZABORSKA; KRAJEWSKA; OLECH, 2004) podem ser uma alternativa viável para minimização das perdas por volatilização de $N\text{-}NH_3$ juntamente com o NBPT que tem sido o principal inibidor de urease utilizado em adição a ureia conforme sugerido por Nascimento et al. (2013) e Stafanato et al. (2013).

As perdas totais de $N\text{-}NH_3$, na terceira avaliação (março de 2012), foram menores quando se utilizou nitrato de amônio e maior quando se utilizou ureia perolada comum e ureia + S, que não diferiram significativamente entre si. Também não foi verificada diferença significativa nas perdas totais entre os tratamentos ureia + NBPT, ureia + Cu e B e a ureia + S (Tabela 1).

As reduções nas perdas de N por volatilização podem ser explicadas pela ação inibitória tanto do boro quanto do cobre sobre a atividade da enzima urease. Segundo Benini et al. (2004), o acido bórico atua como inibidor competitivo com a urease em relação a ureia, uma vez que a molécula da ureia apresenta conformação semelhante à do ácido bórico, competindo assim pelos mesmos sítios enzimáticos com a enzima urease, o que atribui ao boro maior potencial em inibir a atividade da urease. Assim o boro pode fazer com que a ureia permaneça no solo por tempo maior sem se dissociar, aumentando assim a eficácia do adubo.

Em relação à produção de frutos do cafeeiro Conilon, não foi observada diferença significativa entre as cinco fontes nitrogenadas nas safras 2011 e 2012 (Tabela 2). Trabalhos realizados no Brasil com NBPT adicionado à ureia aplicada em cana de açúcar colhida sem despalha a fogo indicaram que o inibidor reduziu à metade as perdas de $N\text{-}NH_3$ por volatilização (CANTARELLA et al., 2002). Contudo, não houve diferença entre o rendimento de colmos obtidos com ureia e ureia tratada com NBPT. Os benefícios da mistura ureia + NBPT são dependentes das mesmas variáveis que controlam a volatilização da amônia e ainda não se pode assumir que a redução das perdas de $N\text{-}NH_3$ será convertida em aumento de produção de culturas (WATSON; POLAND; ALLEN, 1998).

Malta, Nogueira e Guimarães (2003) relataram que as médias da produtividade de *Coffea arabica* L., cultivar Topázio não foram influenciadas tanto pelas fontes e doses de N quanto pela interação entre esses dois fatores. Diante disso, sugere-se que os experimentos conduzidos com espécies do gênero *Coffea* spp., sejam conduzidos por pelo menos quatro safras.

TABELA 2 - Produtividade do cafeeiro Conilon nas safras dos anos 2011 e 2012, submetido a cinco fontes de fertilizantes nitrogenados.

Tratamento	Produtividade (Sacas ha^{-1})	
	Safra 2011	Safra 2012
UC45	49,2 a	102,1 a
U45+NBPT	51,4 a	102,7 a
U44,6+Cu+B	49,1 a	99,1 a
U37+S	47,4 a	85,1 a
NA34	50,2 a	104,7 a
CV (%)	14,66	22,47

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

4 CONCLUSÃO

As ureias protegidas pelo inibidor NBPT e pelos micronutrientes Cu e B apresentam as menores perdas por volatilização de N-NH_3 que a ureia não protegida.

O recobrimento da ureia com enxofre não proporciona redução das perdas de N-NH_3 por volatilização.

A produtividade dos cafeeiros não é afetada pela utilização de ureias protegidas com NBPT, Cu + B e S, sob as condições estudadas.

5 AGRADECIMENTOS

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudos. Às empresas Fertilizantes Heringer e Fertipar Fertilizantes. À Universidade Federal do Espírito Santo pelo suporte à pesquisa e ao produtor rural Sr. João Batista Marré por disponibilizar a área para o estudo.

6 REFERÊNCIAS

ALVARES, C. A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, Stuttgart, v. 22, n. 6, p. 711-728, dec. 2013.

ALVES, B. J. R. et al. Métodos de determinação do nitrogênio em solo e planta. In: HUNGRIA, M. E.; ARAÚJO, R. S. (Ed.). **Manual de métodos empregados em estudos de microbiologia agrícola**. Brasília: EMBRAPA-SPI, 1994. p. 449-470.

ARAÚJO, E. S. et al. Calibração de câmara semi aberta estática para quantificação de amônia volatilizada do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 44, n. 7, p. 769-776, jul. 2009.

BENINI, S. et al. Molecular details of urease inhibition by boric acid: Insights into the catalytic mechanism. **Journal of the American Chemical Society**, Washington, v. 126, n. 12, p. 3714-3715, Mar. 2004.

BERNARDI, A. C. C. et al. Ammonia volatilization from soil, dry- matter yield, and nitrogen levels of Italian ryegrass. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 45, n. 2, p. 153-162, dec. 2014.

_____. Brazilian sedimentary zeolite use in agriculture. **Microporous and Mesoporous Materials**, Mülheim an der Ruhr, v. 167, p. 16-21, Feb. 2013.

BRAGANÇA, S. M. et al. Accumulation of macronutrients for the Conilon coffee tree. **Journal of Plant Nutrition**, Philadelphia, v. 31, n. 1, p. 103-120, dec. 2007 - 2008.

CANTARELLA, H. et al. Ammonia volatilisation from urease inhibitor-treated urea applied to sugarcane trash blankets. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 65, n. 4, p. 397-401, jul./ago. 2008.

_____. **Evaluation of the effect of the urease inhibitor NBPT (N-(n-butil) tiophosphoric acid triamide) on the efficiency of urea fertilizer under Brazilian soil conditions:** technical report. Campinas: Instituto Agronômico; FUNDAG, 2002.

DUARTE, F. M. et al. Perdas de nitrogênio por volatilização de amônia com aplicação de uréia em solo de várzea com diferentes níveis de umidade. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 37, n. 3, p. 705-711, maio/jun. 2007.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3. ed. Brasília, 2013. 353 p.

FARIA, L. A. et al. Hygroscopicity and ammonia volatilization losses from nitrogen sources in coated urea. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 38, n. 3, p. 942-948, 2014.

KRAJEWSKA, B. Ureases I: functional, catalyctic and kinetic properties: a review. **Journal of Molecular Catalysis B: Enzymatic**, Amsterdam, v. 59, n. 1, p. 9-21, jun. 2009.

MALHI, S. S. et al. Nitrogen fertilization management for no-till cereal production in the Canadian Great Plains: a review. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 60, n. 3, p. 101-122, July 2001.

MALTA, M. R.; NOGUEIRA, F. D.; GUIMARÃES, P. T. G. Composição química, produção e qualidade do café fertilizado com diferentes fontes e doses de nitrogênio. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 27, n. 6, p. 1246-1252, nov./dez. 2003.

NASCIMENTO, C. A. C. et al. Ammonia volatilization from coated urea forms. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 37, n. 4, p. 1057-1063, jul/ago. 2013.

OKUMURA, R. S.; MARIANO, D. C. Aspectos agronômicos da ureia tratada com inibidor de urease. **Ambiência**, Guarapuava, v. 8, n. 2, p. 403-414, maio/ago. 2012.

OLIVEIRA, J. A. et al. Volatilização de amônia proveniente de ureia compactada com enxofre e bentonita, em ambiente controlado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 38, n. 5, p. 1558-1564, set./out. 2014.

PAIVA, D. M. et al. Urea coated with oxidized charcoal reduces ammonia volatilization. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 36, n. 4, p. 1221-1229, jul./ago. 2012.

PARTELLI, F. L. et al. Dry matter and macronutrient accumulation in fruits of conilon coffee with different ripening cycles. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 38, n. 1, p. 214-222, jan./fev. 2014.

ROJAS, C. A. L. et al. Volatilização de amônia da ureia alterada por sistemas de preparo de solo e plantas de cobertura invernais no centro-sul do Paraná. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 36, n. 1, p. 261-270, jan/fev. 2012.

STAFANATO, J. B. et al. Volatilização de amônia oriunda de ureia pastilhada com micronutrientes em ambiente controlado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 37, n. 3, p. 726-732, mai./jun. 2013.

VALE, M. L. C. do; SOUSA, R. O.; SCIVITTARO, W. B. Evaluation of ammonia volatilization losses by adjusted parameters of a logistic function. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 38, n. 1, p. 223-231, jan.fev. 2014.

WATSON, C. J.; POLAND, P.; ALLEN, M. B. D. The efficacy of repeated applications of the urease inhibitor N-(n-butyl) thiophosphoric triamide for improving the efficiency of urea fertilizer utilization on temperature grassland. **Grass and Forage Science**, Oxford, v. 53, n. 2, p. 137-145, May 1998.

ZABORSKA, W.; KRAJEWSKA, B.; OLECH, Z. Heavy metal ions inhibition of jack bean urease: potential for rapid contaminant probing. **Journal of Enzyme Inhibition and Medicinal Chemistry**, London, v. 19, n. 1, p. 65-69, Feb. 2004.

VIDA DE PRATELEIRA DE IOGURTE SABOR CAFÉ

Ana Flávia Carvalho Fernandes[1], Poliana Coste e Colpa[2], Elisângela Ferreira Furtado Paiva[3], Leandro Carlos Paiva[4], Aline Manke Nachtigall[5], Brígida Monteiro Vilas Boas[6]

(Recebido: 07 de março de 2016; aceito: 09 de maio de 2016)

RESUMO: Objetivou-se determinar a vida de prateleira de iogurte sabor café, por meio de análises físicas, químicas e microbiológicas. Durante o processamento do iogurte, procedeu-se a homogeneização do leite e açúcar (10%), pasteurização (83ºC por 30 minutos) e resfriamento até à temperatura de 42ºC a 45ºC. Em seguida, foi adicionado o fermento termofílico. A fermentação foi conduzida a 45ºC por 6 horas, e logo após, armazenou-se à temperatura de 4ºC e adicionou-se, homogeneizando, o café solúvel a 0,2%. O iogurte foi armazenado a 4ºC, por 28 dias. Observou-se redução linear nos valores de pH do iogurte contendo 0,2% de café solúvel durante o armazenamento. Os valores L*, h° e C* (análise de cor) do iogurte não sofreram alteração durante o armazenamento, nos quais as respectivas médias foram 68,11, 88,53 e 14,21. O tempo de armazenamento não afetou os teores de acidez titulável, proteína e gordura do iogurte, que foram, em média, 0,70% de ácido láctico, 3,76% e 5,2%, respectivamente. O iogurte contendo 0,2% de café solúvel apresentou 2,9 x 10^7 UFC.g^{-1} de bactérias lácticas viáveis. Os resultados das análises de coliformes a 35°C e a 45°C e bolores e leveduras do iogurte armazenado por 28 dias estão em conformidade aos padrões microbiológicos estabelecidos pela legislação vigente para leites fermentados. O iogurte contendo 0,2% de café solúvel pode ser armazenado a 4ºC por 28 dias, com características físicas, químicas e microbiológicas adequadas.

Termos para indexação: Leite fermentado, café solúvel, qualidade, armazenamento.

SHELF LIFE OF YOGURT TASTE COFFEE

ABSTRACT: *This study aimed to determine the shelf life of yogurt flavored coffee through physical, chemical and microbiological analyzes. During processing of yogurt, it was proceeded the homogenization of milk and sugar (10%), pasteurization (83ºC for 30 minutes) and cooling until the inoculation temperature (42°C to 45°C). Then, the thermophilic yeast was added. The fermentation was conducted at 45°C for 6 hours, and soon after, stored at a temperature of 4°C and was added by homogenizing the soluble coffee 0.2%. The yogurt was stored at 4ºC for 28 days. Observed linear reduction in pH of yogurt containing 0.2% soluble coffee during storage. The values L*, h° and C* (color analysis) of yogurt were unchanged during storage, in which the respective mean values were 68.11, 88.53 and 14.21. The storage time did not affect the levels of acidity, protein and fat yogurt, were 0.70% lactic acid, 3.76% and 5.2%, respectively. The yogurt containing 0.2% soluble coffee had 2.9 x* 10^7 *UFC.g lactic bacteria. The results of the analyzes of coliforms at 35°C and 45°C, molds and yeast yogurt stored for 28 days are in accordance to the microbiological standards established by legislation for fermented milks. The yogurt containing 0.2% soluble coffee can be stored at 4°C for 28 days, with physical, chemical and microbiological appropriate.*

Index terms: *Fermented milk, soluble coffee, quality, storage.*

1 INTRODUÇÃO

Vários produtos podem ser obtidos através da fermentação do leite, dentre eles o iogurte. O iogurte constitui uma rica fonte de proteínas, cálcio, fósforo, vitaminas e carboidratos. O consumo deste produto está relacionado à imagem positiva de alimento saudável e nutritivo, associado às suas propriedades sensoriais (TEIXEIRA et al., 2000).

De acordo com o Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade de Leites Fermentados da Instrução Normativa Nº 46, de 23 de outubro de 2007, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), entende-se por iogurte o produto cuja fermentação se realiza com cultivos protosimbióticos de *Streptococcus salivarius* subsp. *thermophilus* e *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* aos quais podem-se acompanhar, de forma complementar, outras bactérias ácido-lácticas que, por sua atividade contribuem para a determinação das características do produto final. Esta legislação estabelece um mínimo de 1,0 x 10^7 UFC (unidades formadoras de colônias).g^{-1} de bactérias lácticas viáveis em iogurte (BRASIL, 2007).

O iogurte, por estar sujeito a alterações microbiológicas, físicas e químicas, deve ser submetido a análises periódicas, de forma a estabelecer por qual período de tempo o produto pode ser mantido no comércio em condições compatíveis com o consumo humano. Há vantagens econômicas na extensão da vida de prateleira do produto, entretanto, durante o período de validade, o alimento deve atender às exigências

[1,2,3,4,5,6]Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas Gerais/IFSULDEMINAS - *Campus* Machado Rodovia Machado - Paraguaçú, km 3 - Bairro Santo Antônio - 37.750-000 - Machado - MG - ana-flavia-ps@hotmail.com, poliana.colpa@ifsuldeminas.edu.br, elisangelaff.paiva@gmail.com, leandro.paiva@ifsuldeminas.edu.br, aline.manke@ifsuldeminas.edu.br, brigida.monteiro@ifsuldeminas.edu.br

de qualidade determinadas pela legislação vigente (COELHO et al., 2009).

O iogurte é um alimento funcional que apresenta grande demanda devido à busca por uma vida e alimentação mais saudáveis. De forma a ampliar o mercado consumidor, diversos são os sabores existentes, satisfazendo as mais variadas preferências. O sabor, a consistência e viscosidade do iogurte são alguns dos principais fatores envolvidos na qualidade e aceitação do produto (MATHIAS et al., 2011).

Arruda et al. (2009), ao realizar um estudo com 250 consumidores, residentes em Belo Horizonte/MG, relataram que ainda existe uma pequena parcela da população (6,7%) que resiste a inovações relacionadas ao café e afirmaram que não comprariam nenhum outro produto além do café tradicional. No entanto, dentre os que apontaram algum produto, 3,3% citaram o iogurte sabor café.

Aliando os benefícios do iogurte à saúde e o sabor do café, uma das bebidas mais consumidas e apreciadas no Brasil, Fernandes et al. (2013) concluíram que houve maior aceitabilidade sensorial e intenção de compra pelo iogurte com menor concentração de café solúvel 0,2%, ao elaborar um iogurte com diferentes concentrações de café solúvel (0,2%, 0,4% e 0,6%). A partir deste resultado, este trabalho tem por objetivo determinar a vida de prateleira de iogurte contendo 0,2% de café solúvel, por meio de análises físicas, químicas e microbiológicas.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado na Cozinha Experimental do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas Gerais (IFSULDEMINAS) - *Campus* Machado. Para elaboração do iogurte, o açúcar e o café solúvel foram adquiridos no comércio local de Machado/MG, o leite integral não padronizado foi proveniente do Setor de Bovinocultura e o fermento do Setor de Laticínio do instituto.

Os iogurtes foram processados, separadamente, em quatro repetições, com um volume de 1,5 litros por repetição. Durante o processamento do iogurte, procedeu-se a homogeneização do leite e açúcar cristal (10%) e, em seguida, realizou-se a pasteurização, em banho-maria, sob agitação constante até atingir a temperatura de 83ºC, em que foi mantida por 30 minutos. Após este período, a mistura foi resfriada em banho de gelo e água até atingir a temperatura de inoculação (42ºC a 45ºC). Em seguida, foi adicionado o fermento termofílico cultura YF-L811 da CHR HANSEN, na diluição recomendada pelo fabricante. A fermentação foi conduzida a 45ºC por 6 horas, e o pH final do iogurte foi determinado usando pHmetro digital (INSTITUTO ADOLFO LUTZ, 2008). O iogurte foi armazenado à temperatura de 4ºC, logo após adicionou-se, homogeneizando, o café solúvel tradicional a 0,2%. O produto foi envasado em garrafas plásticas (200 mL) e armazenado em câmara BOD (demanda bioquímica de oxigênio) à temperatura de 4°C, durante o período de 28 dias.

As análises físicas e químicas dos iogurtes sabor café foram realizadas, a cada sete dias, no Laboratório de Bromatologia do IFSULDEMINAS - *Campus* Machado, sendo as seguintes:

pH - realizada utilizando pHmetro (INSTITUTO ADOLFO LUTZ, 2008).

Acidez titulável (g de ácido láctico.100 g^{-1}) determinada por titulação usando solução de hidróxido de sódio 0,1 mol.L^{-1} e indicador fenolftaleína (INSTITUTO ADOLFO LUTZ, 2008).

Gordura (g.100 g^{-1}) - determinado pelo método de Gerber e o resultado obtido por meio da leitura direta no butirômetro (INSTITUTO ADOLFO LUTZ, 2008).

Proteína (g.100 g^{-1}) - obtida por meio do teor de nitrogênio por destilação em aparelho de Microkjedahl (semimicro). Para o cálculo do teor de proteína bruta foi utilizado o fator 6,38 (INSTITUTO ADOLFO LUTZ, 2008).

Valores L*, hº e C* - As leituras dos valores L*, hº e C* foram realizadas, em duplicata, no iogurte contido em uma placa de quartzo, com 4 cm de diâmetro e 1,5 cm de altura, para cada repetição, utilizando-se colorímetro marca Minolta, modelo CR 400, com iluminante D_{65} e no sistema de cor CIEL*a*b* (MINOLTA, 1998).

As análises microbiológicas dos iogurtes sabor café foram realizadas, a cada 14 dias, no Laboratório de Microbiologia de Alimentos do IFSULDEMINAS - Campus Machado, sendo as seguintes:

Bactérias lácticas viáveis (UFC.g^{-1}) - 25 g do iogurte sabor café foram diluídas em 225 mL de solução salina peptonada 0,1% e as demais diluições. As bactérias lácticas viáveis foram quantificadas pelo método de plaqueamento em profundidade, utilizando meio de cultura Ágar de Man, Rogosa & Sharpe (MRS). Os micro-rganismos foram incubados em atmosfera

microaerófila, através da adição de uma sobrecamada de meio de cultivo após a inoculação. As placas foram incubadas a 30ºC por 2 a 3 dias (SILVA et al., 2010).

Coliformes a 35ºC e a 45ºC (NMP.g^{-1}) - o preparo da amostra foi feito homogeneizando-se 25 g do iogurte em 225 mL de solução salina peptonada 0,1% e feitas as diluições seriadas para inoculação. Os coliformes a 35ºC foram quantificados utilizando-se a técnica do número mais provável (NMP). O teste presuntivo foi realizado com a inoculação de alíquotas da amostra em três séries de três tubos, contendo tubos de Durhan e caldo lauril sulfato triptose, sendo incubados em estufa a 35ºC, por 24 a 48 horas. Os coliformes a 45ºC foram quantificados, utilizando-se a técnica do NMP. Alíquotas foram transferidas dos tubos positivos do teste presuntivo para tubos contendo caldo *Escherichia coli*, com tubos de Durhan; os tubos de ensaio foram incubados em banho-maria, a 45ºC, por 24 a 48 horas (SILVA et al., 2010).

Bolores e leveduras (UFC.g^{-1}) - o preparo da amostra foi feito homogeneizando-se 25 g de iogurte em 225 mL de solução salina peptonada 0,1% e feitas as diluições seriadas para inoculação. Os bolores e leveduras foram quantificados pelo método de plaqueamento em superfície, utilizando meio batata dextrose ágar (BDA) acidificado com ácido tartárico a 10%, para evitar crescimento de bactérias. As placas foram incubadas a 25ºC por 3 a 5 dias (SILVA et al., 2010).

O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado (DIC), em que os tratamentos foram constituídos por cinco tempos de armazenamento (0, 7, 14, 21 e 28 dias), com quatro repetições, para as análises físicas e químicas. A parcela experimental foi constituída por uma garrafa plástica descartável contendo, aproximadamente, 200 mL de iogurte sabor café. A análise estatística foi realizada com o auxílio do software Sisvar (FERREIRA, 2008). Após análise de variância, os modelos de regressões polinomiais foram selecionados com base na significância de teste de F de cada modelo testado e, também, pelo coeficiente de determinação.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O pH do iogurte contendo 0,2% de café solúvel foi influenciado significativamente pelo tempo de armazenamento. Observou uma redução linear nos valores de pH durante o armazenamento do iogurte sabor café (Figura 1).

De acordo com Klaver, Kingma e Weerkamp (1993), tal queda pode ser conferida pela pós-acidificação do produto, sendo *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus*, uma das bactérias do iogurte, que produz ácido lático durante a estocagem refrigerada. Outros autores também observaram redução nos valores de pH durante o armazenamento refrigerado de iogurtes (BEZ et al., 2015; DUALDO et al., 2010; FONSECA et al., 2014; TAN; KOREL, 2007).

Gallina et al. (2011) também verificaram decréscimo no valor de pH ao longo do armazenamento refrigerado dos leites fermentados, atribuído à contínua produção de ácidos pelas bactérias lácticas.

Os teores de acidez titulável do iogurte sabor café não foram afetados significativamente pelo tempo de armazenamento. O valor médio da acidez titulável foi 0,70 g de ácido láctico.100 g^{-1}, estando dentro do limite estabelecido pela legislação vigente para iogurte, que especifica valores de acidez entre 0,6 a 1,5 g de ácido lático.100 g^{-1} (BRASIL, 2007). Gallina et al. (2011) também encontraram valores de acidez (0,75 a 0,78 g de ácido lático.100 g^{-1}) de acordo com o especificado pela legislação brasileira.

Não houve diferença significativa entre os teores de gordura e proteínas do iogurte sabor café, durante o armazenamento. O teor de gordura do iogurte contendo 0,2% de café solúvel foi 5,2 g.100 g^{-1}, estando de acordo com o estabelecido nos padrões de identidade e qualidade de leites fermentados, que especifica de 3,0 a 5,9 g.100 g^{-1} para leite fermentado integral. O teor de proteína encontrado foi 3,76 g.100 g^{-1} também está condizente com a legislação vigente, que estabelece um mínimo de 2,9 g.100 g^{-1} (BRASIL, 2007).

Bez et al. (2015) também observaram que os teores de gordura (3,55 g.100 g^{-1}) e proteína (3,47 g.100 g^{-1}) de iogurtes de leite de vaca com adição de uva itália desidratada mantiveram-se estáveis durante 45 dias de armazenamento a 4ºC, e dentro do preconizado pela legislação mencionada.

O tempo de armazenamento não afetou significativamente os valores L*, hº e C* do iogurte contendo 0,2% de café solúvel, portanto a cor do iogurte não sofreu alteração durante o armazenamento.

Pimentel, Garcia e Prudencio (2012) também observaram que os parâmetros L*, a* e b* dos iogurtes não alteram durante o armazenamento (4ºC por 28 dias), ao avaliar o efeito da adição de frutanos tipo inulina de diferentes graus de polimerização nas características físico-químicas e microbiológicas e na estabilidade ao armazenamento de iogurtes desnatados probióticos. As respectivas médias foram 68,11, 88,53 e 14,21.

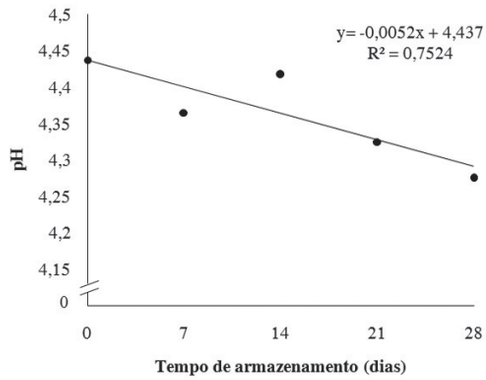

FIGURA 1 - Valores médios, equação de regressão e coeficiente de determinação de pH de iogurte contendo 0,2% de café solúvel armazenado a 4ºC, por 28 dias.

O iogurte contendo 0,2% de café solúvel apresentou 2,9 x 10^7 UFC.g^{-1} de bactérias lácticas viáveis no início do armazenamento e 2,0 x 10^7 UFC.g^{-1} no final, ou seja, a adição de café solúvel no iogurte e o tempo de armazenamento não comprometeram a viabilidade destas bactérias, sendo que os valores encontrados estão dentro do mínimo estabelecido de 1,0 x 10^7 UFC.g^{-1}, pela legislação (BRASIL, 2007). Um dos principais parâmetros de qualidade do iogurte consiste na sobrevivência e viabilidade de bactérias láticas (*Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* e *Streptococcus salivarius* subsp. *thermophilus*), pelo menos durante o período de vida útil do produto. Por esta razão, ao se pesquisar novos aditivos e ingredientes deve-se avaliar a sua ação perante estes micro-organismos benéficos (FONSECA et al., 2014).

Os resultados das análises de coliformes a 35°C e a 45°C e bolores e leveduras do iogurte contendo 0,2% de café solúvel armazenado por 28 dias (Tabela 1) estão em conformidade aos padrões microbiológicos estabelecidos pela legislação vigente para leites fermentados (BRASIL, 2007), que especifica um limite máximo tolerado para coliformes a 35ºC e a 45ºC, de 10^2 e 10 NMP.g^{-1}, respectivamente, e para bolores e leveduras de 2 x 10^2 UFC^{-1}.g e de acordo com o padrão microbiológico para leite fermentado, com ou sem adições, refrigerado, e com bactérias lácticas viáveis nos números mínimos que especifica um limite máximo tolerado para coliformes a 45ºC de 10 NMP.g^{-1} (BRASIL, 2001). Estes resultados podem estar relacionados às boas condições higiênico-sanitárias durante o processo de elaboração do iogurte e armazenamento.

Fernandes et al. (2011) também observaram contagem de bolores e leveduras menores que 10 UFC.g^{-1} em iogurtes de quatro diferentes fabricantes no decorrer do armazenamento nas gôndolas dos supermercados. No entanto Coelho et al. (2009), ao avaliar o prazo de validade de iogurte de diferentes marcas no mercado, detectaram presença de bolores e leveduras no término do prazo de validade, acima do estabelecido pela legislação vigente, podendo ser conferidos por falhas no controle de qualidade durante o processamento e armazenamento do produto.

Portanto, a aquisição de matéria-prima de boa qualidade e de boa procedência, e o seu correto armazenamento em temperatura adequada durante estocagem, transporte e comercialização também são importantes, pois diminuem a incidência de levedura e fungos no produto final (OLIVEIRA; LYRA; ESTEVES, 2013).

TABELA 1 - Análise microbiológica do iogurte contendo 0,2% de café solúvel armazenado a 4ºC, por 28 dias.

Análises microbiológicas	Tempo de armazenamento (dias)		
	0	14	28
Coliformes a 35ºC (NMP.g^{-1})	6,4	< 3	< 3
Coliformes a 45ºC (NMP.g^{-1})	< 3	< 3	< 3
Bolores e leveduras (UFC.g^{1})	< 10^{1}	< 10^{1}	< 10^{1}

4 CONCLUSÃO

O iogurte contendo 0,2% de café solúvel armazenado a 4ºC durante 28 dias atende às normas estabelecidas pela legislação vigente mantendo suas características microbiológicas, físicas e química adequadas.

5 REFERÊNCIAS

ARRUDA, A. C. et al. Justificativas e motivações do consumo e não consumo de café. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 29, n. 4, p. 754-763, 2009.

BEZ, E. et al. Composição físico-química e aceitabilidade de iogurte de leite de cabra e de vaca com adição de uva itália desidratada. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v. 17, n. 4, p. 409-415, 2015.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**. Instrução Normativa nº 46**, de 23 outubro de 2007. Regulamento técnico de identidade e qualidade de leites fermentados. Brasília, 2007. Disponível em: <http://extranet.agricultura.gov. br/sislegisconsulta/consultarLegislacao.do?operacao=visualizar&id=18164>. Acesso em: 19 jul. 2013.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Resolução da Diretoria Colegiada (RDC) nº 12**, de 2 janeiro 2001. Regulamento técnico sobre os padrões microbiológicos para alimento. Brasília, 2001. Disponível em: <http://www.anvisa.gov.br/legis/resol/12_01rdc.htm>. Acesso em: 19 jul. 2013.

COELHO, F. J. O. et al. Avaliação do prazo de validade do iogurte. **Ciência Animal Brasileira**, Goiânia, v. 10, n. 4, p. 1155-1160, 2009.

DUALDO, L. C. S. et al. Avaliação da pós-acidificação e viabilidade de bactérias lácticas utilizando o método convencional e o sistema Compact Dry TC® durante a estocagem refrigerada de iogurtes. **Revista do Instituto de Laticínios Cândido Tostes**, Juiz de Fora, v. 374, n. 65, p. 33-40, 2010.

FERNANDES, A. F. C. et al. Aceitabilidade sensorial e intenção de compra de iogurte sabor café. In: JORNADA CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA, 5., 2013, Inconfidentes. **Resumos Expandidos...** Inconfidentes: IFSULDEMINAS, 2013. 1 CD-ROM.

FERNANDES, S. S. et al. Monitoramento da microbiota de iogurtes comerciais. **Revista do Instituto de Laticínios Cândido Tostes**, Juiz de Fora, v. 66, n. 382, p. 5-11, 2011.

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

FONSECA, C. M. et al. Iogurte produzido com cajuí (*Anacardium othonianum* Rizz). **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 35, n. 4, p. 1829-1836, 2014.

GALLINA, D. A. et al. Caracterização de leites fermentados com e sem adição de probióticos e prebióticos e avaliação da viabilidade de bactériais lácticas e probióticas durante a vida-de-prateleira. **UNOPAR Científica Ciências Biológicas Saúde**, Londrina, v. 13, n. 4, p. 239-244, 2011.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. 4. ed. São Paulo, 2008. 1020 p.

KLAVER, F. A. M.; KINGMA, F.; WEERKAMP, A. H. Growth and survival of bifidobacteria in milk. **Netherlands Milk Dairy Journal**, Wageningen, v. 47, p. 151-164, 1993.

MATHIAS, T. R. dos S. et al. Rheological characterization of coffee flavored yogurt with different types of thickener. **Alimentos e Nutrição**, Araraquara, v. 22, n. 4, p. 521-529, 2011.

MINOLTA. **Precise color communication:** color control from perception to instrumentation. Sakai, 1998. 59 p. Encarte.

OLIVEIRA, F. M. de; LYRA, I. N.; ESTEVES, G. S. G. Avaliação microbiológica e físico-química de iogurtes de morango industrializados e comercializados no município de Linhares-ES. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v. 15, n. 2, p. 147-155, 2013.

PIMENTEL, T. C.; GARCIA, S.; PRUDENCIO, S. H. Iogurte probiótico com frutanos tipo inulina de diferentes graus de polimerização: características físico-químicas e microbiológicas e estabilidade ao armazenamento. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 33, n. 3, p. 1059-1070, 2012.

SILVA, N. et al. **Manual de métodos de análise microbiológica de alimentos e água**. 4. ed. São Paulo: Varela, 2010. 624 p.

TAN, G.; KOREL, F. Quality of flavored yogurt containing added coffee and sugar. **Journal of Food Quality**, Blackwell, v. 30, n. 3, p. 342-356, 2007.

TEIXEIRA, A. C. P. et al. Qualidade do iogurte comercializado em Belo Horizonte. **Leite & Derivados**, São Paulo, v. 1, n. 51, p. 32-39, 2000.

NORMAS FOLIARES E DIAGNÓSTICO NUTRICIONAL DO CAFEEIRO CONILON NA PRÉ-FLORADA E GRANAÇÃO, NO ESPÍRITO SANTO

Fábio Luiz Partelli[1], Wander Ramos Gomes[2], Marcos Goes de Oliveira[3], Jairo Rafael Machado Dias[4], Marcelo Curitiba Espindula[5]

(Recebido: 09 de março de 2016; aceito: 30 de maio de 2016)

RESUMO: As tecnologias de cultivo do *Coffea canephora* avançaram significativamente, bem como as exigências nutricionais das plantas. Objetivou-se estabelecer faixa de suficiência e normas DRIS, para lavouras de cafeeiro Conilon em pré-florada e enchimento de grãos no Espírito Santo, bem como realizar diagnóstico nutricional na região por diferentes métodos. As lavouras selecionadas para o estabelecimento dos padrões foliares apresentaram produtividade igual ou superior a 6.000 kg ha^{-1}. As coletas foram realizadas em 20 lavouras em duas épocas, pré-florada (junho e julho de 2012) e no enchimento dos grãos (outubro e novembro de 2012). Para verificar as diferenças entre as normas (média, desvio padrão e coeficiente de variação do nutriente e de suas respectivas relações com outros nutrientes) utilizou-se o teste F (Anova). O diagnóstico nutricional foi realizado utilizando as faixas de suficiência e o índice DRIS, sendo diagnosticadas 245 lavouras amostradas no período de enchimento dos grãos e 313 na pré-florada. As normas estabelecidas são apropriadas para um diagnóstico nutricional representativo para o Espírito Santo, uma vez que são baseadas em lavouras de alta produtividade. As concentrações médias de N, P, K, S, Cu e Zn foram maiores no período de granação do cafeeiro Conilon, enquanto as concentrações médias de Ca, Mg, Mn e Fe foram maiores no período de pré-florada. Houve diferença em 87 relações de nutrientes dentre as 110, entre duas épocas de amostragem. Sugere-se que as faixas de suficiência e normas DRIS sejam específicas para cada época de amostragem, caso contrário, os diagnósticos podem ser incoerentes.

Termos para indexação: *Coffea canephora*, nutrição mineral, fenologia, faixa de suficiência.

LEAF NORMS AND NUTRITION DIAGNOSIS OF COFFEE CONILON IN FLOWETING AND GRAINING IN ESPIRITO SANTO

ABSTRACT: *The cultivation technology of Coffea canephora advanced significantly, as well as the nutritional requirements of the plants. The objective of this study was to establish the sufficiency range and Leaf Norms (DRIS) of Conilon coffee crops in floweting and grain graining in Espírito Santo, as well as nutritional diagnosis assessment in the region by different methods. The crops selected for the establishment of leaf patterns showed productivity greater than or equal to 6,000 kg* ha^{-1}*. The samples were collected in 20 farms in two seasons, floweting (June and July 2012) and grain graining (October and November 2012). To check the differences between the standards (mean, standard deviation and coefficient of variation of the nutrient and their respective relationships with other nutrients) the F test (ANOVA) was used. Nutritional diagnosis was performed using the sufficiency ranges and DRIS index. 245 fields sampled in the phase of grain filling and 313 in the pre-flowering phase. The standards set are appropriate for a representative nutritional diagnosis to the north of the Espírito Santo, since they are based on high-yield crops. The average concentrations of N, P, K, S, Cu and Zn were higher in the graining period of Conilon coffee, while the average concentrations of Ca, Mg, Mn and Fe were higher in floweting period. There were differences in 87 relations of nutrients among the 110, between two sampling periods. It is suggested that the sufficiency range approach and DRIS norms are specific to each sampling time, otherwise the diagnosis can be inconsistent.*

Index terms**:** *Coffea canephora, mineral nutrition, phenology, leaf norms.*

1 INTRODUÇÃO

O gênero *Coffea* é representado por mais de 120 espécies, destacando-se comercialmente as espécies *Coffea arabica* L. e *Coffea canephora* Pierre ex A.Froehner, conhecido popularmente como cafeeiro arábica e conilon/robusta, respectivamente (DAVIS et al., 2011). A produção mundial do café nos últimos anos foi superior a 142 milhões de sacas (INTERNATIONAL COFFEE ORGANIZATION - ICO, 2015). O Brasil destaca-se como segundo maior produtor mundial de *C. canephora*, com produção estimada de 11,34 milhões de sacas para o ano de 2015, sendo o Estado do Espírito Santo responsável por mais de 70% dessa produção (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB, 2015).

[1,2,3]Universidade Federal do Espírito Santo/UFES - Departamento de Ciências Agrárias e Biológicas/DCAB - Rodovia BR 101 Norte - Km 60 - Bairro Litorâneo - 29.932-540 - São Mateus - ES - partelli@yahoo.com.br, mgoesoliveira@hotmail.com
[2]Cooabriel - Rua João XXIII, 8 - Lot. Orzani Silva - 29.780-000 - São Gabriel da Palha - ES - wander@cooabriel.coop.br
[4]Universidade Federal de Rondônia/UNIR - Av Norte Sul, n° 7300 - Bairro Nova Morada - 76.940-000 - Rolim de Moura - RO jairorafaelmdias@hotmail.com
[5]Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa Rondônia - Rodovia BR - 364 km 5,5 - Cidade Jardim - 76.815-800 Porto Velho - RO - Cx. P.127- marcelo.espindula@embrapa.br

Nos últimos anos as tecnologias de cultivos avançaram significativamente chegando a lavouras de café Conilon com produtividade superior a 6.000 kg de café beneficiado por hectare, devido principalmente ao uso correto de calagem, fertilizantes, irrigação, sistema de poda, adensamento, seleção de genótipos apropriados e controle fitossanitário. Portanto, nota-se que a nutrição equilibrada é fundamental para esse desempenho produtivo, com racionalidade dos recursos naturais, tornando a atividade sustentável.

Na cultura do cafeeiro a interpretação da análise química foliar e avaliação do estado nutricional são realizadas principalmente pelo método conhecido como Faixa de suficiência (FS), principalmente pela facilidade de interpretação dos resultados. De forma alternativa, o Sistema Integrado de Diagnose e Recomendação (DRIS) tem sido proposto como ferramenta de diagnóstico por incorporar o conceito de balanço nutricional e por minimizar, na interpretação do estado nutricional das plantas aqueles efeitos atribuídos aos fatores não nutricionais, como déficit hídrico e problemas fitossanitários. O DRIS baseia-se na obtenção de índices para cada nutriente, os quais são calculados normalmente por funções que expressam as razões das concentrações de cada elemento com os demais (BALDOCK; SCHULTE, 1996; BEAUFILS, 1973; JARREL; BEVERLY, 1981), portanto, podendo proporcionar diagnóstico nutricional eficiente (PARTELLI et al., 2007).

Por sua vez, a eficiência desses métodos está relacionada ao seu padrão estabelecido, que muitas vezes deve ser regionalizado (PARTELLI et al., 2014a; REIS JÚNIOR; MONERAT, 2003), de acordo com a época do ano ou estádio fenológico da planta (DIAS et al., 2013; PARTELLI et al., 2007) e que represente a realidade tecnológica da cultura.

Recentemente, muitos pesquisadores têm estabelecido padrões nutricionais às mais diversas culturas, como o café (FARNEZI; SILVA; GUIMARÃES, 2009; PARTELLI et al., 2007), cana-de-açúcar (MCCRAY et al., 2010; SANTOS et al., 2013), cupuaçu (DIAS et al., 2010, 2011; WADT et al., 2012), algodão (KURIHARA et al., 2013; SERRA et al., 2010, 2013), laranja (DIAS et al., 2013), goiaba (SOUZA et al., 2013), batata (QUEIROZ et al., 2014), tomate (SCUCUGLIA; CRESTE, 2014), uva (TEIXEIRA et al., 2015), maçã (XU et al., 2015a, 2015b), dentre outras culturas. Portanto, a busca contínua para conhecer as demandas e exigências nutricionais das plantas é necessária para proporcionar um manejo nutricional mais sustentável.

A correta interpretação de resultados de análises foliares proporciona informações que favorecem o uso racional de insumos, evita desperdício, melhora o equilíbrio nutricional das plantas e, consequentemente, proporciona aumento da produtividade. Portanto, preconiza-se a utilização de normas de referência e métodos que disponibilizem subsídios para um diagnóstico nutricional eficiente e prático a partir de resultados analíticos das folhas de uma lavoura.

Neste sentido, objetivou-se estabelecer faixa de suficiência e normas DRIS, para lavouras de café Conilon em pré-florada e enchimento de grãos no Norte do Espírito Santo, bem como realizar diagnóstico nutricional.

2 MATERIAL E MÉTODOS

No ano de 2012 e 2013 foram monitoradas 578 lavouras comerciais de café Conilon localizada na região norte do Estado do Espírito Santo, onde predomina clima tropical, quente e úmido no verão e inverno seco com precipitação e temperatura média anual de 1.200 mm e de 23 °C respectivamente (INSTITUTO CAPIXABA DE PESQUISA, ASSISTÊNCIA TÉCNICA E EXTENSÃO RURAL - INCAPER, 2015). A região apresenta, em sua maioria, altitude entre 0 e 200 m. Coletou-se folhas em lavouras dos municípios de Vila Valério, Jaguaré, Nova Venécia, São Mateus, São Gabriel da Palha, Boa Esperança, Vila Pavão, São Domingos do Norte, Águia Branca e Governador Lindenberg.

Do total de lavouras monitoradas, 20 apresentavam produtividade igual ou superior a 6.000 kg ha^{-1} (média por ano das safras de 2012 e 2013) e, foram utilizadas para o estabelecimento dos padrões de foliares, sendo consideradas de alta produtividade. Essas lavouras foram manejadas com a utilização de técnicas, como irrigação, adubação, calagem, controle fitossanitário, sistema de plantio clone em linha, dentre outras tecnologias, com 2.777 a 3.570 plantas por hectare. Em cada lavoura de alta produtividade foram coletadas amostras de folhas, formando amostras compostas, separadas conforme o genótipo da variedade Vitória Incaper 8142 (5V, 6V, 8V, 9V, 10V, 12V e 13V). As amostras foliares foram coletadas em dois estádios fenológicos (pré-antese e enchimento do grão), obtendo-se 140 amostras foliares em cada período.

Lavouras que apresentaram rendimento inferior a 6.000 kg ha^{-1} (558 lavouras) foram consideradas de baixa produtividade, ficando

sujeitas ao diagnóstico nutricional (313 lavouras amostradas no período da pré-florada e 245 durante o enchimento dos grãos). As coletas foram realizadas nos meses de junho e julho (pré-antese) e, em outubro e novembro (enchimento de grãos). As amostras foram coletadas nos sentidos leste e oeste da planta, localizadas no terço mediano dos ramos ortotrópicos, em folhas localizadas no terceiro ou quarto par de folhas, a partir do ápice dos ramos plagiotrópicos.

As folhas foram acondicionadas em sacos de papel contendo a identificação do genótipo, época de coleta, propriedade e município. Esse material foi encaminhado para o laboratório de Análise de Tecido Vegetal sendo realizadas as análises de N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Zn, Fe e Mn conforme Silva (2009).

As normas DRIS foram constituídas pelas médias e pelo desvio-padrão das relações bivariadas, obtidas nas formas direta e inversa, entre todos os nutrientes avaliados. Para o método de FS, os valores-padrão foram definidos pela amplitude do intervalo determinado pela média ± o desvio-padrão da concentração foliar de cada nutriente no conjunto de lavouras da população de alta produtividade, conforme Partelli et al. (2007, 2014a). Verificou-se a diferença entre as normas estabelecidas na pré-antese e no enchimento de grãos pelo teste F.

O diagnóstico nutricional nas lavouras foi obtido, a partir da fórmula de Jones (1981), em que: $f(A/B) = (A/B - a/b)/s_{(a/b)}$. A/B representa o valor da relação entre as concentrações de dois nutrientes da planta diagnosticada e, a/b e $s_{(a/b)}$, respectivamente, a média e o desvio padrão de cada relação bivariada na população de referência, conforme a época do ano específica. O índice DRIS (IN) foi então determinado pela expressão: $IN = [\sum (f(A/Bi- a/bi/si_{(a/b)})) + \sum (f(B/Ai- b/ai/si_{(b/a)}))]/2n$; em que i varia de 1 até n, e n corresponde ao número de nutrientes B avaliados em relação ao nutriente A.

Foi também calculado o índice de balanço nutricional (IBN) pelo somatório, em módulo, dos índices nutricionais DRIS, e o índice de balanço nutricional médio (IBNm), obtido dividindo-se o IBN pelo número de nutrientes avaliados em cada amostra foliar. Nas lavouras de baixa produtividade, para a interpretação do estado nutricional pelo DRIS, adotaram-se três classes de acordo com Wadt (2005): insuficiente (quando o módulo do índice nutricional negativo foi maior que o IBNm), equilibrado (quando o módulo do índice nutricional foi menor que o IBNm) ou excessivo (quando o módulo do índice nutricional positivo foi maior que o IBNm).

Para a interpretação do estado nutricional, das lavouras de baixa produtividade, pelo método FS foram estabelecidas três classes nutricionais: deficiente (concentração do nutriente no tecido foliar abaixo do limite inferior da FS), suficiente (concentração no tecido foliar contida no intervalo entre os teores máximos e mínimos da FS) e consumo de luxo (quando a concentração do nutriente no tecido foliar estava acima do limite superior da FS).

As frequências de número de lavouras diagnosticadas pelo DRIS e FS, foram contrastadas entre si pelo teste qui-quadrado, ao nível de 5% de significância. Para isso, definiu-se como frequência esperada a distribuição das lavouras nos estados deficiência, suficiência e consumo de luxo pelo método da FS, e a, seguir, calculou-se o valor do qui-quadrado considerando como frequência observada a distribuição de lavouras nos estados de insuficiente, equilíbrio e excessivo pelo método DRIS. Esses dados permitiram identificar as diferenças entre os métodos.

Posteriormente ajustou-se a faixa de suficiência, de modo que o diagnóstico nutricional das faixas fosse semelhante ao encontrado pelo método DRIS. Utilizou-se o valor superior e inferior de cada nutriente encontrado nas lavouras diagnosticadas, quando o número de lavouras deficientes ou excesso fosse igual à frequência observada utilizando o DRIS.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As concentrações foliares de N, P, K, S, Cu e Zn foram maiores e as de Ca, Mg, Fe e Mn foram menores no estádio fenológico da granação comparativamente à pré-florada. Para B não houve variação quanto à concentração foliar entre as duas épocas amostradas (Tabela 1).

As maiores concentrações de N, P e K no período de granação, provavelmente estão relacionadas às fertilizações que se iniciam em julho, e nesse período geralmente os produtores já efetuaram três adubações, coincidindo também com o período em que as chuvas são mais constantes proporcionando uma maior absorção de nutrientes pelo cafeeiro.

Essas faixas de suficiência também devem ser específicas para a região, pois são observadas diferentes faixas de suficiência para o café arábica, as quais variam de acordo com os pesquisadores e regiões estudadas (MARTINEZ et al., 2003), e baseado nos trabalhos de Dara, Fixen e Gelderman (1992), Partelli et al. (2014a) e Reis Júnior e Monnerat (2003), fica evidenciado que os valores de referência devem ser regionais.

TABELA 1 - Faixa de suficiência, média, desvio padrão, coeficiente de variação (CV) e significância do Teste F, das concentrações foliares de lavouras de cafeeiro Conilon de alta produtividade em duas épocas de amostragem, pré-florada e granação, para a região Norte do Espírito Santo.

	Amostragem no Pré-florada				Amostragem na Granação				
Nutrientes	Faixa de Suficiência	Média	Desvio Padrão	CV	Faixa de Suficiência	Média	Desvio Padrão	CV	Teste F
N (g kg^{-1})	23,1 – 28,7	25,9	2,77	10,7	25,2 – 30,6	27,9	2,69	9,62	**
P (g kg^{-1})	1,01 – 1,44	1,22	0,22	17,8	1,10 – 1,53	1,32	0,22	16,6	**
K (g kg^{-1})	9,90 – 14,9	12,4	2,52	20,3	13,0 – 18,8	15,9	2,91	18,3	**
Ca (g kg^{-1})	15,2 – 26,5	20,9	5,62	27,0	13,8 – 22,6	18,2	4,36	23,9	**
Mg (g kg^{-1})	2,57 – 4,65	3,61	1,04	28,8	2,53 – 4,11	3,32	0,79	23,7	**
S (g kg^{-1})	1,02 – 1,71	1,36	0,34	25,3	1,05 – 1,85	1,45	0,40	27,3	*
B (mg kg^{-1})	50,7 – 99,2	75,0	24,2	32,3	57,6 – 102	79,9	22,3	27,9	NS
Cu (mg kg^{-1})	4,36 – 14,5	9,43	5,07	53,7	6,41 – 19,8	13,1	6,72	51,2	**
Fe (mg kg^{-1})	67,0 – 195	131	64,2	48,9	67,3 – 145	106	39,0	36,7	**
Mn (mg kg^{-1})	62,4 – 226	144	81,7	56,7	50,4 – 188	119	68,7	57,7	**
Zn (mg kg^{-1})	4,85 – 8,05	6,45	1,60	24,8	5,36 – 17,3	11,4	5,99	52,8	**

NS = Não significativo; ** = Significativo ($P < 1\%$); * = Significativo ($P < 5\%$).

Partelli, Vieira e Martins (2006) também encontraram maiores concentrações foliares de K e Zn para cafeeiro arábica em amostras realizadas no verão (novembro e dezembro), comparadas a amostras coletadas no inverno, e maior concentração de Ca no inverno, corroborando com parte dos resultados encontrados em café Conilon. Essas diferenças estão relacionadas a diferenças climáticas e/ou a fase de crescimento/desenvolvimento da planta. Trabalho de Marré et al. (2015) e Partelli et al. (2014b) indicam que as exigências nutricionais de macronutrientes são diferentes conforme a época do ano/dias após a florada e conforme o período de maturação dos genótipos estudados, sugerindo que os padrões foliares podem apresentar oscilações em função da demanda dos frutos e da translocação dos nutriente das folhas para os frutos.

Observa-se que no período de granação os valores de N, Ca, B, Fe Mn e Zn foram maiores (numericamente) comparados aos encontrados por Partelli, Vieira e Martins (2006), enquanto os demais apresentaram valores inferiores. Ao comparar os valores publicados por Prezotti e Fullin (2007), verificou-se que N, P, Ca, B, Cu e Mn, foram maiores no trabalho apresentado. Contudo, vale destacar que os valores obtidos nesse trabalho são baseados em lavouras de produtividade igual ou superior a 100 sacas por hectare, enquanto os outros dois trabalhos em lavouras com produtividade igual e ou superior a 60 sacas por hectare. Dessa forma, as normas apresentadas correspondem de forma mais eficiente ao nível tecnológico atual, na região norte do estado do Espírito Santo e para duas épocas.

Quando se observa os valores médios dos nutrientes Ca, Mg, Fe e Mn maiores na pré florada, esse fato pode estar ocorrendo provavelmente por motivos climáticos e tecnológicos, são nesses períodos (maio a julho) que se realiza a calagem, geralmente com calcários dolomíticos, ficando assim uma disponibilidade maior dos cátions Ca, Mg, e Mn, é evidente que segue a mesma tendência de absorção do Ca e Mg. Para o Fe há uma maior disponibilidade de Fe^2, o qual é absorvido pelas células das raízes, por ser um período de estiagem, ficando com um volume de água no solo baixo, proporcionado assim uma maior disponibilidade de Fe^2. É aceito também que o Fe^3 seja reduzido a Fe^2 antes de entrar na célula (CHANEY; BROWN; TIFFIN, 1972), sendo a velocidade dessa redução dependente do pH, quanto mais baixo o pH maior é esse processo.

As faixas de suficiência estabelecidas neste trabalho podem ser utilizadas para efetuar o diagnóstico nutricional de lavouras de cafeeiro Conilon no norte do Estado do Espírito Santo em duas épocas, pré-florada e granação. Observa-se

ainda que para todos os nutrientes as faixas de suficiência propostas para pré-florada e granação, apresentam um intervalo em comum. Entretanto, apresentam diferenças dos extremos das faixas, pois ao realizar um diagnóstico de uma lavoura na pré-florada que apresenta teor de N foliar de 24,2 g kg^{-1}, utilizando a faixa própria (pré-florada), indicará que N está com a concentração adequada. No entanto, se este mesmo valor for encontrado no período de granação, este será considerado baixo, conforme a faixa de suficiência indicada para a época de granação. Fato similar ocorre para outros nutrientes. Diferenças conforme a época do ano ou estádio fenológico da planta também foram encontradas em cafeeiro arábica (PARTELLI et al., 2007) e em laranjeira (DIAS et al., 2013).

Das 110 relações nutricionais, apenas 23 são semelhantes ($p \leq 0,05$), indicando que 79% dos índices nutricionais diferem entre os períodos de amostragem foliar (Tabela 2).

TABELA 2 - Média, desvio padrão, coeficiente de variação (CV) e significância do Teste F das relações dos teores de nutrientes foliares das lavouras de cafeeiro Conilon de alta produtividade em duas épocas de amostragem (pré-florada e granação) para a região Norte do Espírito Santo.

	Amostragem no Pré-florada			Amostragem na Granação			
Relações	Média	Desvio Padrão	CV (%)	Média	Desvio Padrão	CV (%)	Teste F
N/P	21,65	3,747	17,3	21,69	3,523	16,2	NS
N/K	2,175	0,523	24,0	1,822	0,430	23,6	**
N/Ca	1,334	0,393	29,5	1,624	0,418	25,7	**
N/Mg	7,803	2,510	32,2	8,906	2,389	26,8	**
N/S	19,97	4,431	22,2	20,63	5,728	27,8	NS
N/B	0,391	0,167	42,7	0,380	0,123	32,4	NS
N/Cu	3,579	1,885	52,7	3,025	2,208	73,0	*
N/Fe	0,236	0,091	38,5	0,292	0,094	32,0	**
N/Mn	0,242	0,136	56,3	0,310	0,170	54,8	**
N/Zn	4,210	0,952	22,6	3,060	1,326	43,3	**
P/N	0,047	0,007	14,9	0,047	0,008	16,6	*
P/K	0,104	0,030	29,0	0,085	0,020	23,8	**
P/Ca	0,063	0,019	30,1	0,077	0,024	30,6	**
P/Mg	0,368	0,132	35,8	0,420	0,125	29,8	**
P/S	0,942	0,241	25,6	0,969	0,280	28,9	NS
P/B	0,018	0,009	46,5	0,018	0,007	38,5	NS
P/Cu	0,171	0,095	55,6	0,143	0,107	74,4	*
P/Fe	0,011	0,004	39,0	0,014	0,005	37,1	**
P/Mn	0,012	0,007	60,5	0,015	0,009	61,1	**
P/Zn	0,199	0,053	26,6	0,144	0,064	44,1	**
K/N	0,485	0,110	22,8	0,574	0,111	19,3	**
K/P	10,59	3,534	33,4	12,33	2,759	22,4	**
K/Ca	0,663	0,299	45,1	0,933	0,314	33,7	**
K/Mg	3,898	1,806	46,3	5,190	1,908	36,8	**
K/S	9,593	2,839	29,6	11,82	3,917	33,1	**
K/B	0,190	0,091	47,7	0,216	0,077	35,7	*
K/Cu	1,691	0,893	52,8	1,644	1,074	65,4	NS

K/Fe	0,114	0,052	45,7	0,166	0,058	34,8	**
K/Mn	0,118	0,072	60,4	0,175	0,098	55,7	**
K/Zn	2,039	0,642	31,5	1,739	0,819	47,1	**
Ca/N	0,810	0,221	27,3	0,658	0,173	26,3	**
Ca/P	17,38	5,027	28,9	14,23	4,267	30,0	**
Ca/K	1,802	0,766	42,5	1,198	0,425	35,5	**
Ca/Mg	5,974	1,568	26,2	5,652	1,400	24,8	NS
Ca/S	16,04	5,586	34,8	13,44	5,216	38,8	**
Ca/B	0,305	0,131	43,1	0,239	0,067	28,2	**
Ca/Cu	2,940	1,798	61,2	1,992	1,596	80,2	**
Ca/Fe	0,185	0,072	38,6	0,188	0,068	36,2	NS
Ca/Mn	0,190	0,109	57,3	0,193	0,097	50,1	NS
Ca/Zn	3,367	1,104	32,8	1,997	1,056	52,9	**
Mg/N	0,141	0,043	30,4	0,120	0,032	26,2	**
Mg/P	3,025	0,960	31,7	2,606	0,822	31,5	**
Mg/K	0,317	0,159	50,0	0,224	0,097	43,2	**
Mg/Ca	0,177	0,039	22,2	0,189	0,052	27,7	*
Mg/S	2,776	0,985	35,5	2,440	0,907	37,2	**
Mg/B	0,052	0,020	39,0	0,044	0,015	34,0	**
Mg/Cu	0,504	0,317	62,8	0,370	0,314	84,9	**
Mg/Fe	0,032	0,014	41,7	0,034	0,011	33,0	NS
Mg/Mn	0,032	0,019	57,3	0,036	0,019	52,3	NS
Mg/Zn	0,584	0,200	34,2	0,361	0,168	46,7	**
S/N	0,053	0,013	24,4	0,052	0,013	25,8	NS
S/P	1,137	0,316	27,8	1,119	0,324	29,0	NS
S/K	0,114	0,035	31,0	0,095	0,034	36,2	**
S/Ca	0,069	0,022	31,3	0,083	0,024	29,5	**
S/Mg	0,406	0,152	37,4	0,452	0,128	28,4	**
S/B	0,020	0,007	36,8	0,019	0,006	30,9	NS
S/Cu	0,186	0,103	55,5	0,146	0,088	60,1	**
S/Fe	0,012	0,005	41,9	0,015	0,005	36,4	**
S/Mn	0,013	0,008	62,2	0,016	0,008	52,9	**
S/Zn	0,217	0,052	24,2	0,154	0,070	45,1	**
B/N	2,937	1,027	35,0	2,898	0,895	30,9	NS
B/P	63,24	23,18	36,6	62,96	22,19	35,2	NS
B/K	6,429	2,869	44,6	5,221	1,905	36,5	**
B/Ca	3,743	1,215	32,4	4,507	1,226	27,2	**
B/Mg	21,78	7,903	36,3	25,06	8,119	32,4	**
B/S	56,99	20,06	35,2	57,89	19,28	33,3	NS
B/Cu	10,28	6,410	62,3	8,016	4,796	59,8	**
B/Fe	0,659	0,275	41,7	0,806	0,264	32,7	**

B/Mn	0,693	0,459	66,3	0,834	0,406	48,6	**
B/Zn	12,10	4,521	37,4	8,663	4,578	52,8	**
Cu/N	0,366	0,196	53,6	0,471	0,236	50,2	**
Cu/P	8,051	4,955	61,5	10,22	5,461	53,4	**
Cu/K	0,777	0,4271	55,0	0,821	0,394	48,0	NS
Cu/Ca	0,498	0,332	66,6	0,776	0,485	62,5	**
Cu/Mg	2,852	1,800	63,1	4,243	2,535	59,8	**
Cu/S	7,195	3,998	55,6	9,254	4,754	51,4	**
Cu/B	0,139	0,086	62,0	0,169	0,089	52,5	**
Cu/Fe	0,085	0,062	72,2	0,132	0,074	56,2	**
Cu/Mn	0,080	0,052	65,6	0,128	0,070	54,6	**
Cu/Zn	1,513	0,835	55,2	1,296	0,733	56,6	*
Fe/N	5,170	2,787	53,9	3,883	1,598	41,2	**
Fe/P	109,3	55,32	50,6	83,19	32,86	39,5	**
Fe/K	11,18	6,961	62,3	7,010	3,335	47,6	**
Fe/Ca	6,739	4,105	60,9	6,154	2,656	43,2	NS
Fe/Mg	39,43	23,64	60,0	33,45	13,48	40,3	**
Fe/S	101,6	57,27	56,4	78,73	37,56	47,7	**
Fe/B	1,913	1,141	59,6	1,396	0,542	38,8	**
Fe/Cu	17,54	10,88	62,1	10,93	7,590	69,4	**
Fe/Mn	1,205	0,817	67,8	1,113	0,517	46,5	NS
Fe/Zn	21,28	11,37	53,5	11,78	7,421	63,0	**
Mn/N	5,540	2,983	53,9	4,303	2,477	57,6	**
Mn/P	120,2	68,22	56,8	94,40	59,85	63,4	**
Mn/K	12,41	8,356	67,4	7,721	4,572	59,2	**
Mn/CA	7,182	4,199	58,5	6,622	3,537	53,4	NS
Mn/Mg	41,04	21,97	53,5	37,32	22,21	59,5	NS
Mn/S	112,3	72,71	64,8	87,62	58,61	66,9	**
Mn/B	2,088	1,319	63,2	1,520	0,817	53,8	**
Mn/Cu	18,00	11,50	63,9	11,35	9,120	80,4	**
Mn/Fe	1,300	0,900	69,2	1,217	0,828	68,0	NS
Mn/Zn	23,22	13,96	60,2	12,18	7,559	62,0	**
Zn/N	0,250	0,058	23,1	0,408	0,212	52,1	**
Zn/P	5,397	1,514	28,0	8,862	4,955	55,9	**
Zn/K	0,545	0,200	36,6	0,732	0,393	53,6	**
Zn/Ca	0,328	0,107	32,6	0,655	0,365	55,8	**
Zn/Mg	1,917	0,656	34,2	3,591	2,134	59,4	**
Zn/S	4,878	1,174	24,1	8,135	4,172	51,3	**
Zn/B	0,095	0,038	39,5	0,149	0,079	53,1	**
Zn/Cu	0,876	0,462	52,7	1,055	0,672	63,7	**
Zn/Fe	0,058	0,024	41,0	0,117	0,066	56,6	**
Zn/Mn	0,060	0,037	62,3	0,116	0,070	60,7	**

NS = Não significativo; ** = Significativo (P < 1%); *
= Significativo (P < 5%).

Neste caso, o mais indicado é que normas DRIS sejam específicas para cada estádio fenológico do cafeeiro. Caso contrário as normas DRIS poderão não representar adequadamente as lavouras sob diagnóstico. Dara, Fixen e Gelderman (1992) e Reis Júnior e Monnerat (2003) relatam ainda que as normas DRIS precisam ser regionalizadas. Ainda com relação às normas DRIS estabelecidas, utilizando-se as fórmulas de Beaufils (1973), por meio da média e coeficiente de variação, pode-se realizar o diagnóstico nutricional em lavouras de cafeeiros Conilon na região norte do Espírito Santo.

Ao basear-se no DRIS e valores em módulos superiores ao IBNm, o Mn, Mg, B e Cu foram os nutrientes que se apresentaram mais vezes como limitantes no período de granação (Tabela 3). No Período de pré-florada o resultado foi similar, mantendo-se o Mn como o mais limitante, seguidos pelos Ca, Mg e Cu. Contudo, ao basear-se na faixa original estabelecida (Tabela 1) o Ca, Mg, B e Mn foram os nutrientes que se apresentaram mais vezes como limitantes no período de granação e, o Mn, Ca, Mg e N no período de pré-florada (Tabela 3). Essas alterações de limitação nutricional podem estar associadas às diferentes demandas nutricionais da planta (MARRÉ et al., 2015; PARTELLI et al., 2014b) e até mesmo às diferenças de manejo e climáticas a que as plantas são submetidas.

Ao considerar os nutrientes mais excessivos, nota-se que o S aparece mais vezes, independentemente da época do ano e método utilizado. O Zn vem em segundo lugar, com exceção do período de granação, utilizando o procedimento de faixa de suficiência.

Ao utilizar o método DRIS o Ca não foi destaque entre os nutrientes considerados como mais limitantes da produção (maior índice negativo) e apresentou-se como o segundo nutriente com índice maior em módulo que o IBNm no período de granação. Contudo, foi o que esteve maior número de vezes abaixo da faixa de suficiência no mesmo período avaliado (Tabela 3). O contrário ocorre com Mn, que foi o nutriente mais limitante da produção ao utilizar o DRIS e com baixo destaque ao utilizar a faixa de suficiência. No caso do N, observou-se que este não se destaca como nutriente em excesso ao utilizar o DRIS, porém ao utilizar a faixa de suficiência este apresentou-se como o segundo nutriente em excesso no período de granação.

TABELA 3 - Número de lavouras amostradas no período de granação e pré-florada, nas quais os nutrientes se apresentaram inferiores e superiores à faixa de suficiência (<FC e >FC, respectivamente), e em que o índice DRIS foi o maior, sendo mais negativo (+ Neg) e mais positivo (+ Pos) e maior em módulo que o IBNm, sendo negativo (Neg) e positivo (Pos), utilizando as normas adequadas e teste qui-quadrado, ao nível de 5% de significância.

	Lavouras amostradas no período de granação										
	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
< FC	12^{ns}	17^{ns}	18^{ns}	79^{*}	76^{ns}	11^{ns}	58^{ns}	21^{ns}	25^{ns}	56^{*}	4^{*}
> FC	117	115	83	12	17	168	18	26	55	28	89
+ Neg	7^{ns}	4^{ns}	6^{ns}	20^{*}	31^{ns}	1^{ns}	27^{ns}	26^{ns}	18^{ns}	74^{*}	23^{*}
+ Pos	18	7	10	1	4	114	4	3	27	12	45
Neg	12^{ns}	14^{ns}	15^{ns}	90^{ns}	76^{ns}	5^{ns}	61^{ns}	63^{*}	41^{ns}	115^{ns}	40^{*}
Pos	42	69	38	0	13	169	15	20	45	26	96
	Lavouras amostradas no período da pré florada										
< FC	36	14	24	82	52	1	34	4	29	86	1
> FC	88	91	47	24	65	288	35	40	49	19	265
+ Neg	22	10	20	68	29	1	17	7	44	95	2
+ Pos	1	0	0	0	3	179	4	5	5	3	113
Neg	62	45	61	118	69	2	36	17	94	135	0
Pos	6	11	8	4	28	271	18	24	19	13	257

ns = não significativo. * significativo a 5%, entre os contrastes < FC com + Neg e < FC com Neg. Os contrastes entre + Neg e Neg não foram significativos.

Portanto, essas diferenças seriam em função da amplitude da faixa, alta para o Mn e baixa para o N e Ca.

Observaram-se diferenças de diagnósticos entre os métodos DRIS e Faixa de Suficiência (Tabela 3). Os diagnósticos foram diferentes para Ca, Cu, Mn e Zn. Diferenças entre os métodos também foram encontradas em café arábica (PARTELLI et al., 2007), porém o trabalho não permitiu aferir qual dos métodos é mais eficiente. Por sua vez, para a obtenção do índice DRIS, há necessidade de se calcular a relação normal reduzida das concentrações de dois nutrientes, cujo cálculo se baseia na média da norma e da lavoura a ser diagnosticada e da variação dos dados das normas, sendo utilizado o coeficiente de variação na fórmula de Beaufils (1973) e o desvio padrão na fórmula descrita por Jones (1981). Assim, o DRIS considera o efeito da variação dos dados, ou seja, quanto maior o desvio padrão do nutriente da norma, menor será o valor da relação normal reduzida deste nutriente e, consequentemente, menor será o índice DRIS do nutriente, em comparação se este mesmo nutriente apresentasse um desvio menor. Dessa forma o DRIS, naturalmente segue a tendência das variações encontradas no banco de dados que geraram as normas para fazer o diagnóstico de uma lavoura. Partindo desse pressuposto, estabeleceram-se novos padrões foliares, ajustados conforme os diagnósticos obtidos pelo DRIS (Tabela 4), tendo valores onde frequências observadas são iguais às esperadas.

4 CONCLUSÕES

Foram estabelecidas faixas de suficiência e normas DRIS para o cafeeiro Conilon nos estádios fenológicos da pré-florada e granação para lavouras cultivadas na região norte do Estado do Espírito Santo, a partir de lavouras com produtividade igual e superior a 6.000 kg de café beneficiado por hectare.

As concentrações médias de N, P, K, S, Cu e Zn foram maiores no período de granação do cafeeiro Conilon, enquanto as concentrações médias de Ca, Mg, Mn e Fe foram maiores no período de pré-florada.

Sugere-se que a FS e as normas DRIS sejam específicas para cada estádio fenológico, caso contrário, poderão não representar adequadamente as lavouras sob diagnóstico.

Para alguns nutrientes os diagnósticos foram distintos entre os métodos FS e DRIS. O Mn, Mg, B e Cu foram os nutrientes que se apresentaram maior frequência como limitantes no período de granação e o Mn, Ca, Mg e Cu no período de pré-florada. Os mais excessivos foram o S e Zn para as duas épocas avaliadas.

TABELA 4 - Faixa de suficiência ajustada conforme diagnóstico DRIS, tendo o mesmo número de frequência encontrada e da observada, das concentrações foliares de lavouras de cafeeiro Conilon de alta produtividade nos estágios fenológicos de pré-florada e granação na região norte do Estado do Espírito Santo.

Nutrientes	Amostragem no Pré-florada	Amostragem na Granação
N (g kg^{-1})	24,3 – 34,2	25,2 – 33,3
P (g kg^{-1})	1,11 – 1,76	1,10 – 1,70
K (g kg^{-1})	10,6 – 17,5	12,5 – 20,5
Ca (g kg^{-1})	16,9 – 31,6	14,2 – 25,9
Mg (g kg^{-1})	2,70 – 5,40	2,52 – 4,18
S (g kg^{-1})	1,12 – 2,10	0,83 – 1,86
B (mg kg^{-1})	52,0 – 106	60,0 – 103
Cu (mg kg^{-1})	6,00 – 17,0	8,00 – 21,0
Fe (mg kg^{-1})	92,0 – 223	73,0 – 157
Mn (mg kg^{-1})	83,0 – 283	78,0 – 190
Zn (mg kg^{-1})	4,00 – 9,00	8,00 – 17,0

5 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Universidade Federal do Espírito Santo, Cooperativa Agrária dos Cafeicultores de São Gabriel - Cooabriel, Fullin Laboratório e à CAPES.

6 REFERÊNCIAS

BALDOCK, J. O.; SCHULTE, E. E. Plant analysis with standardized scores combines DRIS and sufficiency range approaches for corn. **Agronomy Journal**, Madison, v. 88, p.448-456, 1996.

BEAUFILS, E. R. **Diagnosis and recommendation integrated system (DRIS):** a general scheme of experimentation and calibration based on principles developed from research in plant nutrition. Pietermaritzburg: University of Natal, 1973. 132 p. (Soil Science Bulletin, 1).

CHANEY, R. L.; BROWN, J. C.; TIFFIN, L. O. Obligatory reduction of ferric chelates in iron uptake by soybeans. **Plant Physiology**, Bethesda, v. 50, p. 208-2013, 1972.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira:** segundo levantamento safra café 2015 junho/2015. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/15_06_10_09_24_57_boletim_cafe_junho_2015.pdf>. Acesso em: 20 jul. 2015.

DARA, S. T.; FIXEN, P. E.; GELDERMAN, R. H. Sufficiency level and diagnosis and recommendation integrated system approaches for evaluating the nitrogen *status* of the corn. **Agronomy Journal**, Madison, v. 84, n. 6, p. 1006-1010, 1992.

DAVIS, A. P. et al. Growing coffee: *Psilanthus* (Rubiaceae) subsumed on the basis of molecular and morphological data implications for the size, morphology, distribution and evolutionary history of *Coffea*. **Botanical Journal of the Linnean Society**, London, v. 167, n. 4, p. 357-377, 2011.

DIAS, J. R. M. et al. Antecipação do período de diagnose foliar em laranjeira 'Pêra' no Amazonas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 48, p. 757-764, 2013.

DIAS, J. R. M. et al. Dris formulas for evaluation of nutritional status of cupuaçu trees. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, n. 6, p. 2083-2091, 2011.

DIAS, J. R. M. et al. Normas DRIS para cupuaçuzeiro cultivado em monocultivo e em sistemas agroflorestais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 45, n. 1, p. 64-71, jan. 2010.

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

INSTITUTO CAPIXABA DE PESQUISA, ASSISTÊNCIA TÉCNICA E EXTENSÃO RURAL. **Caracterização climáticas dos municípios:** São Mateus. Disponível em: <http://hidrometeorologia.incaper.es.gov.br/caracterizacao/saomateuscrac.php>. Acesso em: 20 mar. 2015.

INTERNATIONAL COFFEE ORGANIZATION. **Trade statistics**. Disponível em: <http://www.ico.org/trade_statistics.asp>. Acesso em: 20 jul. 2015.

JARREL, W. M.; BEVERLY, R. B. The diluition effect in plant nutrition studies. **Advances in Agronomy**, New York, v. 34, n. 5, p. 197-224, Oct. 1981.

JONES, W. W. Proposed modifications of the diagnosis and recommendation integrated system (DRIS) for interpreting plant analyses. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, Philadelphia, v. 12, p. 785-794, 1981.

KURIHARA, C. H. et al. Faixas de suficiência para teores foliares de nutrientes em algodão e em soja, definidas em função de índices DRIS. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 60, n. 3, p. 412-419, 2013.

MARRÉ, W. B. et al. Micronutrient accumulation in conilon coffee berries with different maturation cycles. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 38, p. 214-222, 2015.

MARTINEZ, H. E. P. et al. 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.

MCCRAY, J. M. et al. Sugarcane response to DRIS-based fertilizer supplements in Florida. **Journal of Agronomy**, Madison, v. 156, n. 1, p. 66-75, 2010.

PARTELLI, F. L. et al. Avaliação nutricional de feijoeiro irrigado pelos métodos CND, DRIS e faixas de suficiência. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 38, p. 858-866, 2014a.

PARTELLI, F. L. et al. Diagnosis and recommendation integrated system norms, sufficiency range, and nutritional evaluation of Arabian coffee in two sampling periods. **Journal of Plant Nutrition**, New York v. 30, p. 1651-1667, 2007.

PARTELLI, F. L. et al. Dry matter and macronutrient accumulation in fruits of conilon coffee with different ripening cycles. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 38, n. 1, p. 214-222, 2014b.

PARTELLI, F. L.; VIEIRA, H. D.; MARTINS, M. A. Nutritional diagnosis of the organic conilon coffee trees (*Coffea Canephora* Pierre ex Froehn): suffiency range approach for leaves and soil. **Coffee Science**, Lavras, v. 1, n. 1, p. 43-49, 2006.

PREZOTTI, L. C.; FULLIN, E. A. Avaliação da fertilidade do solo do estado nutricional das plantas. In: PREZOTTI, L. C. et al. (Ed.). **Manual de recomendação de calagem e adubação para o Estado do Espírito Santo:** 5ª aproximação. Vitória: SEEA/INCAPER/CEDAGRO, 2007. p. 11-42.

QUEIROZ, A. A. et al. Productivity and establishment of DRIS indices for tubers of the potato cultivar 'Agata'. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 45, n. 2, p. 351-360, 2014.

REIS JÚNIOR, R. A.; MONNERAT, P. H. Norms establishment of the Diagnosis and Recommendation Integrated System (DRIS) for nutritional diagnosis of sugarcane. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, n. 2, p. 277-282, fev. 2003.

SANTOS, E. F. et al. Faixas normais de nutrientes em cana-de-açúcar pelos métodos CHM, DRIS e CND e nível crítico pela distribuição normal reduzida. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 37, p. 1651-1658, 2013.

SCUCUGLIA, C. L.; CRESTE, J. E. Diagnosis and recommendation integrated system (DRIS) of tomato in greenhouse. **Horticultura Brasileira**, Presidente Prudente, v. 32, n. 2, p. 200-204, 2014.

SERRA, A. P. et al. Determinação de faixas normais de nutrientes no algodoeiro pelos métodos ChM, CND e DRIS. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, n. 1, p. 97-104, 2010.

SERRA, A. P. et al. Estabelecimento de normas DRIS para o algodoeiro com diferentes critérios de seleção da população de referência. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 48, n. 11, p. 1472-1480, nov. 2013.

SILVA, F. C. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2. ed. rev. e ampl. Brasília: EMBRAPA Informação Tecnológica; Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos, 2009. 627 p.

SOUZA, H. A. et al. Normas preliminares Dris e faixas de suficiência para goiabeira 'paluma'. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 35, n. 1, p. 282-291, 2013.

TEIXEIRA, L. A. J. et al. Normas Dris e níveis críticos de nutrientes para videira 'Niagara Rosada' cultivada na região de Jundiaí-SP. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 37, n. 1, p. 247-255, 2015.

WADT, P. G. S. Relationships between soil class and nutritional status of coffee crops. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, p. 227-234, 2005.

WADT, P. G. S. et al. Interpretação de Índíces Drís para a cultura do cupuaçu. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 36, p. 125-135, 2012.

XU, M. et al. Preliminary the Diagnosis and Recommendation Integrated System (DRIS) norms for evaluating the nutrient status of apple. **Advance Journal of Food Science and Technology**, Faisalabad, v. 7, n. 2, p. 74-80, 2015a.

XU, M. et al. Nutritional diagnosis for apple by DRIS, CND and DOP. **Advance Journal of Food Science and Technology**, Faisalabad, v. 7, n. 4, p. 266-273, 2015b.

SELEÇÃO DE PROGÊNIES F_4 ORIUNDAS DO CRUZAMENTO ICATU E CATUAÍ AMARELO COM RESISTÊNCIA À FERRUGEM

Diego de Abreu Cardoso[1], Antonio Nazareno Guimarães Mendes[2], Alex Mendonça Carvalho[3], Amador Eduardo de Lima[4], Cesar Elias Botelho[5], Gladyston Rodrigues Carvalho[6], Rodrigo Elias Batista Almeida Dias[7]

(Recebido: 14 de março de 2016; aceito: 14 de junho de 2016)

RESUMO: Objetivou-se neste trabalho avaliar e selecionar progênies de cafeeiros em geração F_4 visando à obtenção de cultivares resistentes à ferrugem e com características agronômicas superiores às cultivares tradicionais. Este trabalho foi conduzido com 33 progênies obtidas do cruzamento entre cultivares do grupo Icatu com Catuaí Amarelo IAC 62 e IAC 17,as progênies IAC 5002 e IAC 5010 e três testemunhas suscetíveis. O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados com quatro repetições, dez plantas por parcela. A produtividade (sacas.ha^{-1}), porcentagem de grãos retidos em peneira "17 e acima", vigor vegetativo, incidência e severidade da ferrugem foram avaliados por quatro safras. Os resultados indicaram que as progênies avaliadas apresentaram variabilidade para as características analisadas. Conclui-se que as progênies H 141-17-46 Cova 8, H 41-26-48 Cova 14 e H 141-10-10 Cova 5 apresentam os maiores valores para produtividade na média dos quatro anos avaliados, baixa incidência e severidade da ferrugem e alto vigor vegetativo, demonstrando a possibilidade de selecionar progênies em circulação na população estudada.

Termos para indexação: Melhoramento genético, herdabilidade, produtividade, *Hemileia vastatrix.*

PROGENIES SELECTION F4 FROM ICATU AND CATUAÍ AMARELO CROSSING WITH RESISTANCE TO RUST

ABSTRACT: *We aimed at evaluate and select coffee tree progenies in F_4 generation in order to obtain rust resistant cultivars and agronomic characteristics superior to traditional cultivars. This research was carried out with 33 progenies resulted from crossing of Icatu cultivars and Catuaí Amarelo IAC 62, IAC 17 and the progenies IAC 5002 and IAC 5010; and three susceptible controls. The experimental design used was a randomized block with four replicates with ten plants per plot. The coffee yield (sc.ha^{-1}), percentage of grains retained in sieve "17 and above", vegetative vigor, incidence and severity of rust were evaluated. The results indicated that the evaluated progenies exhibited variability for the caracteristics analysed. We conclude that the H 141-17-46 progenies Cova 8, H 41-26-48 Cova 14 and H 141-10-10 Cova 5 have the highest value of productivity and low incidence and severity of rust allied with high vegetative vigor, and the possibility of selecting outstanding progenies in the studied population.*

Index terms: *Coffee breeding, heritability, productivity, Hemileia vastatrix.*

1 INTRODUÇÃO

O desenvolvimento de uma cafeicultura brasileira mais sustentável passa pelo aumento da rentabilidade do produtor, bem como sua permanência na atividade depende de sistemas de cultivo estáveis que proporcionem maior longevidade para as lavouras.Cultivares produtivas e possuidoras de características adaptativas a cada sistema de cultivo estão entre os principais componentes da sustentabilidade da cafeicultura

Cultivares dos grupos Catuaí e Mundo Novo ainda representam a maior parte do parque cafeeiro da espécie *Coffea arabica* L. no Brasil (CARVALHO et al., 2006, 2009). Aliando alto potencial produtivo, elevado vigor vegetativo e excelente qualidade de bebida, essas cultivares têm apresentado ampla adaptabilidade e estabilidade fenotípica em diversas regiões cafeeiras do País (ANDRADE et al., 2013; BOTELHO et al., 2010a). No entanto, esses materiais genéticos são suscetíveis à ferrugem alaranjada do cafeeiro causada pelo fungo *Hemileia vastatrix* Berk. et Br. Atualmente, esse patógeno constitui o principal problema fitossanitário do cafeeiro, causando sérios prejuízos econômicos ao cafeicultor (BARBOSA; SOUZA; VIEIRA, 2010; BRITO et al., 2010; REZENDE et al., 2013; SILVA et al., 2006).

O germoplasma Icatu vem sendo muito utilizado nos programas de melhoramento visando resistência à ferrugem. Esse germoplasma apresenta

[1,2,,4,7]Universidade Federal de Lavras/UFLA - Departamento de Agricultura/DAG - Cx. P. 3037 - 37.200-000 - Lavras MG diegocardoso5@hotmail.com, nazareno.ufla@hotmail.com, carvalho.am@hotmail.com, eduardolima@prp.ufla.br, rodrigoodias@hotmail.com
[3]Universidade Estadual Paulista/UNESP - Campus Registro - 11.900-000 alexcarvalho@registro.unesp.br
[5,6] Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais/EPAMIG - Cx. P. 176 - 37.200-000 cesarbotelho@epamig.com.br, carvalho@epamig.ufla.br

rusticidade, alto vigor vegetativo, qualidade de grãos (peneira alta), qualidade de bebida superior, ganhos de produtividade e, principalmente, variabilidade para resistência à ferrugem, tanto do tipo vertical como horizontal (BOTELHO et al., 2010b). Além das características agronômicas mencionadas, vários autores também aliaram resistência à ferrugem dos materiais de Icatu com alta produtividade, peneira alta e bom vigor vegetativo (BONONO et al., 2004; CARVALHO et al., 2009; PEREIRA et al., 2013).

A estimativa dos componentes genéticos é muito importante nos programas de melhoramento, pois com essas estimativas, é possível conhecer a natureza da ação dos genes envolvidos no controle dos caracteres quantitativos e também avaliar a eficiência da estratégia de melhoramento adotada. Dentre os parâmetros de maior importância, destacam-se as variâncias, as correlações e a herdabilidade (BOTELHO et al., 2010b).

Neste trabalho, objetivou-se avaliar 33 progênies de cafeeiros obtidas de cruzamentos a partir de cultivares de Icatu, com resistência à ferrugem e com boas características agronômicas.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi instalado em 2007, em Machado, Região Sul de Minas Gerais. O experimento está situado numa região com temperatura média anual de 19,8 ºC, precipitação média anual de 1.670 mm, a 900 metros de altitude, latitude 21º 40' S e longitude 45º 55' W, em solo predominantemente do tipo Latossolo Vermelho de textura média, na Fazenda Experimental da Epamig. Foram avaliadas 33 progênies em geração F_4 (Tabela 1), selecionadas pelo método genealógico, e três cultivares utilizadas como testemunhas: Rubi MG 1192, Topázio MG 1190 e Catuaí Amarelo IAC 62. Essas progênies foram obtidas no programa de Melhoramento Genético do Cafeeiro em Minas Gerais, coordenado pela Epamig, e com participação da Universidade Federal de Lavras (UFLA) e Universidade Federal de Viçosa (UFV). Utilizou-se o delineamento em blocos casualizados, com quatro repetições, no espaçamento de 3,0 metros entre linhas x 0,80 metros entre plantas, correspondendo a 4.167 plantas por hectare, e a parcela experimental foi composta por 10 plantas.

A produção foi analisada por meio da produtividade média em sacas.ha^{-1}, obtida pela média de duas colheitas consecutivas combinadas em biênio entre os meses de maio a julho, nas safras de 2009/2010 a 2013/2014. Segundo alguns autores esse procedimento melhora a precisão experimental, por reduzir os efeitos da bienalidade da produção (BONOMO et al., 2004). A produtividade em sacas de café beneficiado por hectare (sc. ha$^{-1)}$. foi estimada considerando a produção por parcela, a densidade de plantio e a conversão de 480 litros de café recém-colhido para cada saca de café beneficiado, conforme utilizado por Carvalho et al. (2009).

O vigor vegetativo foi avaliado nos anos de 2008 a 2010. Foram atribuídas notas segundo escala arbitrária variando de 1 a 10, sendo: 1 = planta amarela com abundante seca de ramos e acentuado sintoma de depauperamento e 10 = planta verde-escura com abundante ramificação dos ramos plagiotrópicos e elevada carga pendente, conforme escala arbitrária proposta por Carvalho et al. (2009).

A classificação por peneiras foi realizada após o beneficiamento do café. A partir de uma amostra de 300 gramas de café passada pelo conjunto de peneiras (17/64 a 19/64, para grãos chatos), os dados obtidos foram expressos em percentagem de grãos retidos em peneira "17 e acima" (BRASIL, 2003). A avaliação característica foi realizada em 2010, 2011, 2012 e 2013.

A avaliação da incidência e severidade da ferrugem foi realizada, em ano de alta carga pendente, na safra de 2013. Coletou-se 10 folhas do 3º e/ou 4º par de folhas por planta, dos ramos plagiotrópicos, no terço médio das plantas. As amostras coletadas foram levadas para a avaliação em laboratório, onde se estimou a incidência (%) de ferrugem pela contagem do número de folhas com ferrugem com pústulas esporuladas, dividido pelo total de folhas da amostra. Para a severidade, contou-se o número de pústulas por folha, dividindo-se esse valor pelo número de folhas infectadas, valor expresso em número médio de pústulas por folha infectada (BOTELHO et al., 2010b).

A análise de variância dos dados de produtividade de café beneficiado foi feita em esquema de parcelas subdividas no tempo (STEEL; TORRIE, 1980) considerando-se como subparcela os dois biênios (conjunto de duas colheitas consecutivas). Na análise das demais características agronômicas, considerou-se a média dos dados obtidos em cada ano de avaliação e efetuou-se a análise conjunta dos dados. Adotou-se nível de significância de 1% de probabilidade, para o teste F. Quando diferenças significativas foram detectadas, as médias foram agrupadas pelo teste de Skott-Knott, a 5% de probabilidade. As análises foram feitas utilizando-se o programa computacional 'Sisvar' (FERREIRA, 2011).

TABELA 1 - Relação de origem de 33 progênies e 3 cultivares de *C. arabica* avaliadas em experimento conduzido em Machado, MG.

Nº	Progênies	Genitores
1	H 141-17-46 Cova 1	Icatu Am. IAC 2944x Catuaí Am. IAC 62
2	H 141-17-46 Cova 8	Icatu Am. IAC 2944xCatuaí Am. IAC 62
3	H 141-17-46 Cova 9	Icatu Am. IAC 2944xCatuaí Am. IAC 62
4	H 141-17-46 Cova 16	Icatu Am. IAC 2944xCatuaí Am. IAC 62
5	H 141-17-46 Cova 18	Icatu Am. IAC 2944xCatuaí Am. IAC 62
6	H 141-17-46 Cova 19	Icatu Am. IAC 2944xCatuaí Am. IAC 62
7	H 140-18-02 Cova 6	Icatu Verm. IAC 4042xCatuaí Am. IAC 62
8	H 101-71-44 Cova 5	Icatu Verm. IAC 4040xIAC 5010
9	H 101-71-44 Cova 15	Icatu Verm. IAC 4040xIAC 5010
10	H 108-43-37 Cova 6	Icatu Verm. IAC 4042xIAC 5002
11	H 108-43-37 Cova 18	Icatu Verm. IAC 4042xIAC 5002
12	H 41-26-48 Cova 5	Icatu Am. IAC 2944xCatuaí Am. IAC 62
13	H 41-26-48 Cova 14	Icatu Am. IAC 2944xCatuaí Am. IAC 62
14	H 105-01-39 Cova 1	Icatu Am. IAC 2944xIAC 5002
15	H 105-01-39 Cova 4	Icatu Am. IAC 2944xIAC 5002
16	H 105-01-39 Cova 12	Icatu Am. IAC 2944xIAC 5002
17	H 140-03-41 Cova 8	Icatu Verm. IAC 4042xCatuaí Am. IAC 62
18	H 145-17-17 Cova 2	Icatu Verm. IAC 4042xCatuaí Am. IAC 17
19	H 145-17-17 Cova 10	Icatu Verm. IAC 4042xCatuaí Am. IAC 17
20	H 140-09-02 Cova 1	Icatu Verm. IAC 4042xCatuaí Am. IAC 62
21	H 141-27-40 Cova 11	Icatu Am. IAC 2944xCatuaí Am. IAC 62
22	H 141-27-40 Cova 12	Icatu Am. IAC 2944xCatuaí Am. IAC 62
23	H 111-38-5 Cova 12	Icatu Verm. IAC 4040xCatuaí Am. IAC 62
24	H 107-47-02 Cova 1	Icatu Verm. IAC 4040xIAC 5002
25	H 107-47-02 Cova 6	Icatu Verm. IAC 4040xIAC 5002
26	H 130-65-45 Cova 8	Icatu Verm. IAC 2942xIAC 5002
27	H 130-65-45 Cova 10	Icatu Verm. IAC 2942xIAC 5002
28	H 141-10-10 Cova 1	Icatu Am. IAC 2944xCatuaí Am. IAC 62
29	H 141-10-10 Cova 5	Icatu Am. IAC 2944xCatuaí Am. IAC 62
30	H 141-10-10 Cova 8	Icatu Am. IAC 2944xCatuaí Am. IAC 62
31	H 141-10-10 Cova 11	Icatu Am. IAC 2944xCatuaí Am. IAC 62
32	H 141-10-10 Cova 12	Icatu Am. IAC 2944xCatuaí Am. IAC 62
33	H 141-10-10 Cova 19	Icatu Am. IAC 2944xCatuaí Am. IAC 62
34	Rubi MG 1192	Cultivar*
35	Topázio MG 1190	Cultivar*
36	Catuaí Amarelo IAC 62	Cultivar*

*Cultivares como testemunhas

Para as características incidência e severidade da ferrugem houve a necessidade de transformação dos dados em após a verificação da não normalidade dos erros pelo teste de Shapiro-Wilk.

Para estimativa dos parâmetros genéticos foi utilizado o software GENES (CRUZ, 2001). Com as estimativas das variâncias genéticas e fenotípica foi possível obter a herdabilidade no sentido amplo para todas as características estudadas.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise em esquema de parcelas subdivididas no tempo permite o estudo das interações progênies x colheitas, e possibilita o estudo do comportamento das progênies ao longo das colheitas. Além disso, é possível estimar a variância de progênies ou genética, livre da variância da interação (STEEL; TORRIE, 1980).

No resumo da análise de variância e as estimativas dos parâmetros genéticos para as características estudadas (Tabela 2), observou-se para produtividade o efeito significativo para tratamentos, biênios e interação tratamentos x biênio na análise de produção.

Esse resultado demonstra que o comportamento das cultivares não é coincidente nos ambientes avaliados (anos), refletindo um comportamento diferenciado das cultivares frente ás mudanças do ambiente. Segundo Ramalho et al. (1993) essa interação ocorre devido a não coincidência de comportamento das cultivares nos vários ambientes, isto é, reflete as diferentes sensibilidades dos genótipos às mudanças do ambiente, sendo, portanto, um agravante nos programas de melhoramento.

Houve também, efeito significativo dos tratamentos para vigor, peneira "17 e acima", incidência e severidade de ferrugem.

Verifica-se por meio da estimativa da variância genética entre as progênies (Tabela 2), que as características produtividade, peneira "17 e acima", incidência e severidade de ferrugem obtiveram valores de 88,83; 47,13; 768,9 e 75,73, respectivamente.

Carvalho et al. (2009) e Pereira et al. (2013) encontraram baixos valores referentes à variação genética para as mesmas características estudadas. Estimativas de variâncias genéticas positivas e diferentes de zero, indicam a existência de variabilidade entre as progênies, sendo assim, a partir desses valores é possível a seleção de progênies superiores para aquelas características.

Os valores encontrados a partir da estimativa da herdabilidade (h^2_a) no sentido amplo, para as características de produtividade, peneira, incidência e severidade de ferrugem, foram respectivamente, 94,24; 82,97; 99,52 e 96,01. As progênies apresentaram elevada herdabilidade para resistência à ferrugem, indicando o seu potencial para resistência e alta variabilidade genética para seleção de materiais resistentes. Um dos requisitos para o sucesso na seleção é que a herdabilidade do caráter de interesse seja alta, ou seja, a variação fenotípica deve ser em função da ação dos genes e não do ambiente.

O valor do coeficiente de variação genético CVg (%) é um indicador da grandeza relativa das mudanças de um caráter, que podem ser obtidas por meio da seleção (FERRÃO et al., 2008). Neste estudo os valores obtidos foram de 16,93, 26,7, 23,73, 99,5e 83,04%, para produtividade, vigor, peneira "17 e acima", incidência e severidade da ferrugem, respectivamente. Valores de coeficiente de variação genético de alta magnitude indicam que a seleção das progênies possibilitará expressivo aumento no valor genético da população, em relação ao caráter em questão. Os valores encontrados no presente trabalho são semelhantes aos obtidos por Bonomo et al. (2004), que variaram entre 10,81 a 31,73%, e aos encontrados por Pereira et al. (2013), os quais variaram 0,88 a 30,03%.

Com relação ao coeficiente de variação relativa (CVg/CVe), quando esse valor é próximo ou superior a 1,0 indica uma situação favorável à seleção. No presente estudo os coeficientes de variação relativa favoráveis à seleção foram para produtividade, peneira "17 e acima", incidência e severidade de ferrugem, com valores que variaram de 1,1 a 7,2. Dessa forma, a seleção das melhores progênies foram realizadas a partir da produtividade, sendo este o principal critério de seleção de cafeeiros (OLIVEIRA et al., 2011), e também, pelas características incidência e severidade de ferrugem e tamanho de grãos (Tabela 2), por apresentarem valores satisfatórios de coeficiente de variação relativa.

Para os resultados de produção das progênies para cada biênio, considerando a média dos biênios das progênies (Tabela 3), houve diferença entre os biênios de produção, sendo que a produção média do primeiro biênio foi superior à do segundo. Pereira et al. (2013) estudando progênies derivadas de Icatu com Catuaí também verificaram que no último biênio avaliado a produção foi menor em relação ao anterior.

TABELA2 - Resumo da análise de variância e estimativas de parâmetros genéticos para produtividade em sacas. ha^{-1}, vigor vegetativo, peneira "17 e acima", incidência de ferrugem (IF) e severidade de ferrugem (SF) de 33 progênies e três testemunhas avaliadas de 2010 a 2013 na Fazenda Experimental da EPAMIG em Machado – MG.

		Quadrados médios				
FV	**GL**	**Produção**	**Vigor**	**"17 e acima"**	**IF[1]**	**SF[1]**
Blocos	3	19,09	0,36	326,23	0,25	0,13
Tratamentos(T)	35	247,07*	3,79*	286,82*	30,51*	2,80*
Erro a	105	11,90	-	-	-	-
Biênios(B)	1	1540,31*	-	-	-	-
Erro b	3	8,0933	-	-	-	-
T x B	35	196,84*	-	-	-	-
Erro c	105	9,09	0,46	35,56	0,45	0,08
Média		37,04	7,04	37,15	4,60	2,23
CV (%)		a 9,32	9,04	16,05	14,67	12,79
		b 7,68				
		c 8,14				
σ^2_f		94,25	15,84	56,8	772,6	15,48
σ^2_g		88,83	4,93	47,13	768,96	14,86
σ^2_a		5,42	10,91	9,67	3,7	0,61
h^2_a (%)		94,24	31,13	82,97	99,52	96,01
CVg (%)		16,93	26,7	23,73	99,5	83,04
CVg/CVe		2,02	0,34	1,1	7,2	2,45

FV: Fontes de variação; GL: Graus de liberdade; *: Significante a 1% de probabilidade pelo teste F; σ^2f: Variância fenotípica; σ^2g: Variância genotípica; σ^2a: Variância ambiental; h^2a: herdabilidade no sentido amplo; CVg: Coeficiente de variação genotípica; CV_g/CV_e: coeficiente de variação relativa (CV_r)

[1]Dados transformados

TABELA 3 - Produtividade média por biênio, em sacas de café beneficiado.ha^{-1}, de 33 progênies e três cultivares de cafeeiro avaliadas em Machado – MG. UFLA, Lavras, MG, 2014.

Nº	**Progênies**	**Biênio 1**	**Biênio2**	**Média**
13	H 41-26-48 Cova 14	47,00 b	45,28 a	46,14 a
15	H 105-01-39 Cova 4	34,32 d	57,28 a	45,80 a
29	H 141-10-10 Cova 5	51,51 a	38,31 a	44,91 a
09	H 101-71-44 Cova 15	51,70 a	36,73 a	44,21 a
02	H 141-17-46 Cova 8	55,78 a	32,54 a	44,16 a
28	H 141-10-10 Cova 1	45,98 b	38,77 a	42,38 a
16	H 105-01-39 Cova 12	34,67 d	48,07 a	41,37 b
01	H 141-17-46 Cova 1	53,21 a	29,49 a	41,35 b
32	H 141-10-10 Cova 12	45,44 b	36,93 a	41,18 b
35	Topázio MG 1190	43,95 b	37,84 a	40,90 b
24	H 107-47-02 Cova 1	41,24 c	39,89 a	40,56 b

05	H 141-17-46 Cova 18	42,36 c	37,66 a	40,01 b
25	H 107-47-02 Cova 6	45,89 b	33,94 a	39,91 b
26	H 130-65-45 Cova 8	44,42 b	35,15 a	39,78 b
04	H 141-17-46 Cova 16	42,82 c	35,57 a	39,20 b
14	H 105-01-39 Cova 1	35,23 d	42,77 a	39,00 b
33	H 141-10-10 Cova 19	44,67 b	31,88 a	38,27 c
03	H 141-17-46 Cova 9	38,06 d	36,25 a	37,15 c
10	H 108-43-37 Cova6	28,41 e	45,66 a	37,03 c
08	H 101-71-44 Cova 5	40,45 c	33,38 a	36,92 c
30	H 141-10-10 Cova 8	39,79 c	32,82 a	36,30 d
36	Catuaí Am. IAC 62	44,42 b	25,62 a	35,49 d
22	H 141-27-40 Cova 12	40,03 c	30,13 a	35,08 d
18	H 145-17-17 Cova 2	37,28 d	31,44 a	34,36 d
21	H 141-27-40 Cova 11	38,45 d	29,57 a	34,01 d
31	H 141-10-10 Cova 11	33,41 d	34,59 a	34,00 d
07	H 140-18-02 Cova 6	39,04 d	27,80 a	33,42 d
12	H 41-26-48 Cova 5	30,59 e	36,08 a	33,34 d
06	H 141-17-46 Cova 19	36,88 d	29,31 a	33,10 d
17	H 140-03-41 Cova 8	36,51 d	28,17 a	32,34 e
34	Rubi MG 1192	33,86 d	30,18 a	32,02 e
27	H 130-65-45 Cova 10	31,32 e	32,36 a	31,84 e
11	H 108-43-37 Cova 18	30,27 e	32,24 a	31,25 e
19	H 145-17-17 Cova 10	28,27 e	30,87 a	29,57 e
23	H 111-38-5 Cova 12	23,79 f	23,34 a	23,56 f
20	H 140-09-02 Cova 1	24,39 f	21,95 a	23,17 f
Média Geral		39,34 A	34,72 B	37,04

*Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha pertencem a um mesmo grupo, pelo teste de Scott Knott a 5% de probabilidade.

Em relação ao biênio 2, apesar do teste F ter sido significativo para o desdobramento das progênies dentro dos biênios, o teste de média não detectou essa diferença significativa entre as médias. Observações semelhantes foram relatados por Pedro et al. (2011) em trabalho realizado com cultivares do grupo Catuaí, após serem avaliadas quatro colheitas. Essa diferença de produtividade entre os dois biênios pode ser atribuída às variações edafoclimáticas dos biênios utilizados para a formação dos ambientes no presente trabalho (CARVALHO et al., 2008; GICHIMU; OMONDI, 2010).

Quando se considera média geral de produção dos dois biênios, observa-se diferença com a formação de seis grupos (Tabela 3). O grupo superior foi composto pelas progênies 13, 15, 29, 9, 2 e 28, com médias variando de 42,38 a 46,14 sacas.ha^{-1}. Deve- se destacar que dessas seis progênies cinco foram obtidas da cultivar Icatu Amarelo IAC 2944. Dessa forma, o desempenho superior das melhores progênies, em relação à produtividade, pode ser explicado pelo bom potencial produtivo dos parentais envolvidos nos cruzamentos.

Dias et al. (2005) em ensaio com cultivares no sul de Minas Gerais, observaram que as progênies oriundas de Catucaí Amarelo e Vermelho 2SL apresentaram produções estatisticamente iguais às cultivares comerciais Catuaí Vermelho IAC 99 e Topázio 1190.

Correa, Mendes e Bartholo (2006), após avaliação de oito colheitas de 11 progênies de Icatu em Machado e São Sebastião do Paraíso, constataram produtividade média variando de 47,7 a 59,3 sacas.ha^{-1}. Moura et al. (2001), trabalharam com diferentes populações de café, em Patrocínio – MG, e após três colheitas consecutivas constataram produção média de 38,88 sacas.ha^{-1} para a cultivar Icatu Amarelo IAC 2944 e, entre 20,45 e 30,86 sacas.ha^{-1} para 13 progênies de Catimor.

O segundo grupo é composto por 10 progênies, com médias que variaram de 39,00 a 41,37 sacas.ha^{-1}, mesmo grupo que se encontra a testemunha Topázio MG 1190. O fato das progênies terem permanecido no mesmo grupo da cultivar Topázio MG 1190, pode ser considerado bom, pois esta cultivar apresenta bons níveis de produção e é amplamente cultivada nas principais regiões cafeeiras do país.

O terceiro e quarto grupos foram formados por 13 progênies, inclusive a testemunha Catuaí Amarelo IAC 62, e obtiveram produtividades médias de 33,10 a 38,27 sacas.ha^{-1}. E o quinto e sexto grupo foram formados por seis progênies mais a testemunha Rubi MG 1192, com produções entre 23,17 e 31,25 sacas.ha^{-1}; com destaque para as progênies 11, 17, 19, 20, 23 e 27, que apresentaram menor média produtiva. O baixo desempenho da testemunha Rubi MG 1192 pode ser explicado pela ausência do tratamento fitossanitário para a ferrugem, pois é sabido que essa cultivar é altamente susceptível à doença.

A característica vigor vegetativo utilizada na avaliação do potencial produtivo de café, tem sido investigada por diversos autores com o objetivo de aumentar a eficiência na seleção de plantas superiores devido à correlação existente entre essa característica e a produtividade (SEVERINO et al., 2008).

Com relação à característica vigor vegetativo (Tabela 4), observa-se a formação de três grupos. O grupo superior formado por 26 progênies, com notas altas variando de 6,90 a 8,10, com destaque para as progênies 1, 2, 3, 5, 6, 9,13, 19, 24, 28 e 29, as quais também apresentaram as maiores médias de produção no período avaliado. Vale ressaltar que essas progênies foram superiores às cultivares comerciais utilizadas como testemunhas, visto que nenhum tratamento fitossanitário para o controle da ferrugem foi aplicado.

As progênies 20, 23 e a testemunha Catuaí Amarelo IAC 62 apresentaram as menores notas de vigor vegetativo. As testemunhas Topázio MG 1190 e Rubi MG 1192 apresentaram valores intermediários para o vigor vegetativo, sendo que a cultivar Rubi MG 1192 também apresentou baixa produtividade, fato que pode ser explicado por não ter sido realizado controle da ferrugem, já que essa cultivar é suscetível à essa doença. Esses resultados encontrados, também foram observados por Pereira et al. (2013) em trabalho de competição nacional de cultivares resistentes à ferrugem.

A classificação por peneiras é recomendada, por se tratar de uma característica agronômica correlacionada à obtenção de bebidas de qualidade superior (PAIVA et al., 2010; PEDRO et al., 2011), e também, com melhor qualidade fisiológica (GIOMO; NAKAGAWA; GALLO, 2008). Para a classificação por peneiras, verifica-se que a formação de três grupos pelo teste de médias, demonstrando a grande variabilidade encontrada para essa característica. Nessa pesquisa médias de porcentagem variaram de 23,18% (progênie 11) a 53,21% (progênie 3) (Tabela 4).

Pereira et al. (2013) estudaram o comportamento de progênies derivadas de Icatu e Catuaí e relataram que a classificação por peneiras foi a característica que obteve maior variância genética, comprovado pela grande variação genotípica.

As progênies do grupo superior que apresentaram maior porcentagem de grãos retidos em peneira “17 e acima” foram as de número 1, 2, 3, 5, 6, 19 e 24, com valores variando de 47,13% a 53,21% (Tabela 4). As progênies de número 1, 2, 3, 5 e 6 são derivadas do cruzamento entre Icatu Amarelo IAC 2944 e Catuaí Amarelo IAC 62, a progênie 19 é oriunda do cruzamento Icatu Verm. IAC 4042 e Catuaí Am. IAC 17, e a progênie 24 foi obtida do cruzamento de Icatu Vermelho IAC 4040 e IAC5002.

Ainda na Tabela 4 observa-se que as progênies 1, 5 e 24, além de apresentarem as maiores porcentagens de peneira, também apresentaram alta produtividade e altas notas de vigor, características muito desejáveis para a cafeicultura. Esses valores são semelhantes aos encontrados por Pinto et al. (2012), que avaliaram 18 progênies derivadas de Catuaí com Icatu e Híbrido de Timor, e encontraram valores variando de 31,58% a 54,73%.

TABELA 4 - Notas de vigor vegetativo e porcentagem de grãos classificados em peneira "17 e acima" e produção média de 33 progênies e três cultivares de cafeeiro avaliadas em 2010, 2011, 2012 e 2013, em Machado – MG.

Nº	Progênies	Vigor	"17 e acima"	Produção média
13	H 41-26-48 Cova 14	7,93 a	32,70 c	46,14 a
15	H 105-01-39 Cova 4	7,76 a	39,59 b	45,80 a
29	H 141-10-10 Cova 5	7,69 a	30,88 c	44,91 a
09	H 101-71-44 Cova 15	7,56 a	26,22 c	44,21 a
02	H 141-17-46 Cova 8	8,10 a	47,13 a	44,16 a
28	H 141-10-10 Cova 1	7,82 a	32,73 c	42,38 a
16	H 105-01-39 Cova 12	6,88 a	35,46 c	41,37 b
01	H 141-17-46 Cova 1	7,51 a	49,23 a	41,35 b
32	H 141-10-10 Cova 12	7,85 a	37,96 c	41,18 b
35	Topázio MG 1190	6,17 b	29,62 c	40,90 b
24	H 107-47-02 Cova 1	7,28 a	50,81 a	40,56 b
05	H 141-17-46 Cova 18	8,04 a	47,44 a	40,01 b
25	H 107-47-02 Cova 6	7,04 a	28,88 c	39,91 b
26	H 130-65-45 Cova 8	7,25 a	25,66 c	39,78 b
04	H 141-17-46 Cova 16	7,51 a	43,70 b	39,20 b
14	H 105-01-39 Cova 1	7,02 a	40,41 b	39,00 b
33	H 141-10-10 Cova 19	7,92 a	31,70 c	38,27 c
03	H 141-17-46 Cova 9	8,08 a	53,21 a	37,15 c
10	H 108-43-37 Cova 6	7,53 a	37,90 c	37,03 c
08	H 101-71-44 Cova 5	6,53 b	34,41 c	36,92 c
30	H 141-10-10 Cova 8	6,10 b	31,16 c	36,30 d
36	Catuaí Am. IAC 62	4,84 c	33,17 c	35,49 d
22	H 141-27-40 Cova 12	5,97 b	44,96 b	35,08 d
18	H 145-17-17 Cova 2	7,20 a	28,41 c	34,36 d
21	H 141-27-40 Cova 11	7,33 a	32,44 c	34,01 d
31	H 141-10-10 Cova 11	7,45 a	35,30 c	34,00 d
07	H 140-18-02 Cova 6	7,89 a	44,24 b	33,42 d
12	H 41-26-48 Cova 5	6,47 b	31,33 c	33,34 d
06	H 141-17-46 Cova 19	7,75 a	52,16 a	33,10 d
17	H 140-03-41 Cova 8	5,56 b	26,60 c	32,34 e
34	Rubi MG 1192	6,05 b	37,05 c	32,02 e
27	H 130-65-45 Cova 10	6,90 a	33,20 c	31,84 e
11	H 108-43-37 Cova 18	7,62 a	23,18 c	31,25 f
19	H 145-17-17 Cova 10	7,33 a	51,44 a	29,57 f
23	H 111-38-5 Cova 12	5,22 c	45,79 b	23,56 f
20	H 140-09-02 Cova 1	4,11 c	31,43 c	23,17 f

*Médias seguidas da mesma letra na coluna pertencem a um mesmo grupo, pelo teste de Scott Knott a 5% de probabilidade.

As testemunhas Rubi MG 1192, Catuaí Amarelo IAC 62 e Topázio MG 1190 apresentaram porcentagens de grãos retidos em peneira "17 e acima" inferiores à maioria das progênies testadas. Segundo Botelho et al. (2010b) cultivares de Icatu apresentam maior porcentagem de grãos retidos em peneira "17 e acima" em relação às cultivares Catuaí e Rubi utilizadas como testemunhas.

Com relação à ferrugem, além da avaliação incidência, a estimativa da severidade é recomendada, pois as plantas que apresentarem menor severidade, possivelmente toleram mais a doença devido ao menor desfolhamento. Além disso, menores índices de severidade podem indicar resistência horizontal em condições naturais de epidemia (BOTELHO et al., 2010b).

De acordo com os resultados da avaliação de incidência e severidade de ferrugem, verifica-se que as cultivares Rubi MG 1192, Topázio MG 1190, Catuaí Amarelo IAC 62, utilizadas como testemunhas apresentaram alta suscetibilidade ao patógeno, e ficaram no grupo de maior reação à doença, com alta incidência e severidade da ferrugem (Tabela 5). Esses resultados das testemunhas estão em acordo com os encontrados por Botelho et al. (2010b) e Pereira et al. (2013).

A alta suscetibilidade à ferrugem das testemunhas, provavelmente, foi uma das causas do reduzido vigor vegetativo observado, em consequência de sintomas de depauperamento.

Pode-se notar que houve a formação de seis grupos para incidência e severidade da ferrugem. Destacaram-se nove progênies no grupo inferior, com valores variando de 0,0% a 1,5% para incidência, e 0,0 a 1,12 pústulas por folha infectada para a severidade. São as progênies de número 1, 2, 3, 4, 5 e 6, oriundas do cruzamento entre Icatu Amarelo IAC 2944 e Catuaí Amarelo IAC 62; as de número 13 e 29, oriundas do cruzamento entre Icatu Amarelo IAC 2944 e Catuaí Amarelo IAC 62 e, as progênies de número 18 e 19 obtidas de Icatu Verm. IAC 4042 e Catuaí Amarelo IAC 17. Esses resultados corroboram os obtidos por Pereira et al. (2013) que verificaram que as progênies derivadas do grupo Icatu IAC 2944 e Icatu Vermelho IAC 4040 apresentaram, além de alta produtividade e peneira alta, notas baixas de reação à ferrugem.

As progênies 2, 13 e 29 que mostram-se promissoras em relação à reação à ferrugem, merecem destaque, pois encontram-se no grupo de maior produção e maior nota de vigor para os dois biênios estudados. A alta produtividade das progênies, combinada com a resistência à ferrugem é um dos principais objetivos das pesquisas do melhoramento genético do cafeeiro.

É importante salientar que incidência e severidade intermediárias, podem indicar resistência horizontal e, em condições naturais de epidemia, a severidade é o componente que melhor discrimina níveis de resistência horizontal (BOTELHO et al., 2010b).

Visando à seleção de progênies com resistência horizontal, não é possível selecionar para esse tipo de resistência em progênies que não apresentam incidência alguma, pois provavelmente apresentam resistência vertical ou específica, que encobre a resistência horizontal. Nesse sentido, a incidência intermediária torna-se importante (BOTELHO et al., 2010b). Assim sendo, as progênies de número 14, 15, 16, 28 e 32 mostram-se promissoras e poderão ser selecionadas, pois apresentam valores intermediários de incidência e severidade, aliado com alto vigor. Dessas progênies, as de número de ordem 15 e 28, encontram-se no grupo superior de produção, e as demais, apresentaram produção média semelhante à testemunha Topázio MG 1190.

TABELA 5 - Médias de incidência (IF) e severidade (SF) de ferrugem de 33 progênies e de três testemunhas avaliadas no ano de 2013 em Machado – MG.

Nº	Progênies	IF[1]	SF[1]
20	H 140-09-02 Cova 1	100,00 a	19,25 a
22	H 141-27-40 Cova 12	59,00 b	10,71 b
34	Rubi MG 1192	87,00 b	9,57 b
35	Topázio MG 1190	73,00 b	10,30 b
17	H 140-03-41 Cova 8	65,50 b	6,66 c
30	H 141-10-10 Cova 8	56,50 b	7,23 c
36	Catuaí Amarelo IAC 62	71,00 b	7,73 c

12	H 41-26-48 Cova 5	45,00 c	6,63 c
26	H 130-65-45 Cova 8	19,50 d	7,41 c
15	H 105-01-39 Cova 4	12,00 e	6,55 c
32	H 141-10-10 Cova 12	11,50 e	7,19 c
23	H 111-38-5 Cova 12	57,50 b	5,50 d
21	H 141-27-40 Cova 11	40,50 c	5,37 d
24	H 107-47-02 Cova 1	38,00 c	5,38 d
31	H 141-10-10 Cova 11	24,50 d	4,90 d
33	H 141-10-10 Cova 19	24,00 d	5,26 d
14	H 105-01-39 Cova 1	9,00 e	4,94 d
28	H 141-10-10 Cova 1	13,00 e	5,71 d
3	H 141-17-46 Cova 9	5,50 e	4,66 d
9	H 101-71-44 Cova 15	37,50 c	4,13 e
10	H 108-43-37 Cova 6	37,50 c	3,23 e
8	H 101-71-44 Cova 5	33,00 d	4,08 e
25	H 107-47-02 Cova 6	32,50 d	3,65 e
7	H 140-18-02 Cova 6	9,50 e	2,40 e
11	H 108-43-37 Cova 18	13,50 e	2,74 e
16	H 105-01-39 Cova 12	12,50 e	4,24 e
27	H 130-65-45 Cova 10	13,50 e	3,71 e
1	H 141-17-46 Cova 1	0,00 f	0,00 f
2	H 141-17-46 Cova 8	0,25 f	0,25 f
4	H 141-17-46 Cova 16	1,50 f	1,12 f
5	H 141-17-46 Cova 18	0,00 f	0,00 f
6	H 141-17-46 Cova 19	0,00 f	0,00 f
13	H 41-26-48 Cova 14	0,00 f	0,00 f
18	H 145-17-17 Cova 2	0,00 f	0,00 f
19	H 145-17-17 Cova 10	0,00 f	0,00 f
29	H 141-10-10 Cova 5	0,00 f	0,00 f

*Médias seguidas pela mesma letra na coluna pertencem a um mesmo grupo, pelo teste de Scott Knott a 5% de probabilidade; 1Dados sem transformação.

4 CONCLUSÕES

A existência de variabilidade genética entre progênies estudadas para produtividade, alto vigor vegetativo, com peneira alta, e com resistência à ferrugem, permite a seleção de progênies superiores e promissoras para obtenção de novas cultivares.

As progênies H 141-17-46 Cova 8, H 41-26-48 Cova 14 e H 141-10-10 Cova 5 foram superiores às demais progênies avaliadas, sendo selecionadas para serem utilizadas para o avanço de gerações no programa de melhoramento.

5 AGRADECIMENTOS

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), ao Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia (INCT/Café), ao Consórcio Pesquisa Café e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), pelo suporte financeiro ao projeto.

6 REFERÊNCIAS

ANDRADE, V. T. et al. Interação genótipo x ambiente em genótipos de cafeeiro Mundo Novo por modelos não lineares e multiplicativos. **Bragantia**, Campinas, v. 72, n. 4, p. 338-345, 2013 .

BARBOSA, D. H. S. G.; SOUZA, R. M.; VIEIRA, H. D. Field assessment of coffee (*Coffea arabica* L.) cultivars in *Meloidogyne exigua*-infestedor–freefields in Rio de Janeiro State, Brazil. **Crop Protection**, Guildford, v. 29, n. 2, p. 175-177, 2010.

BONOMO, P. et al. Avaliação de progênies obtidas de cruzamentos de descendentes do Híbrido de Timor com as cultivares Catuaí Vermelho e Catuaí Amarelo. **Bragantia**, Campinas, v. 63, n. 2, p. 207-219, 2004.

BOTELHO, C. E. et al. Adaptabilidade e estabilidade fenotípica de cultivares de café arábica em Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 45, n. 12, p. 1404-1411, dez. 2010a.

BOTELHO, C. E. et al. Seleção de progênies F4 de cafeeiros obtidas pelo cruzamento de Icatu com Catimor. **Revista Ceres**, Viçosa, MG, v. 57, n. 3, p. 274-281, maio/jun. 2010b.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução normativa nº 8, de 11 de junho de 2003. Aprova o regulamento técnico de identidade e de qualidade para a classificação do café beneficiado grão cru. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, 13 jun. 2003. Seção 1, p. 4.

BRITO, G. G. et al. Inheritance of coffee leaf rust resistance and identification of AFLP markers linked to the resistance gene. **Euphytica**, Wageningen, v. 173, n. 2, p. 255-264, May 2010.

CARVALHO, A. M. et al. Avaliação de progênies de cafeeiros obtidas do cruzamento entre 'Catuaí' e 'Híbrido de Timor'. **Scientia Agraria**, Piracicaba, v. 9, n. 2, p. 249-253, 2008.

CARVALHO, G. R. et al. Avaliação e seleção de progênies resultantes do cruzamento de cultivares de café Catuaí com Mundo Novo. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 30, n. 5, p. 844-852, set./out. 2006.

CARVALHO, G. R. et al. Comportamento de progênies F4 obtidas por cruzamentos de 'Icatu' com 'Catimor'. Ciência e Agrotecnologia, Lavras, v. 33, n. 1, p. 47-52, jan./fev. 2009.

CORREA, L. V. T.; MENDES, A. N. G.; BARTHOLO, G. F. Comportamento de progênies de cafeeiro Icatu. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 30, n. 4, p. 618-622, set./out. 2006.

CRUZ, C. D. **Programa GENES:** versão Windows: aplicativo computacional em genética e estatística. Viçosa, MG: Ed. UFV, 2001. 648 p.

DIAS, F. P. et al. Caracterização de progênies do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) selecionados em Minas Gerais: caracteres relacionados à produção. **Revista Ceres**, Viçosa, MG, v. 52, n. 299, p. 85-100, 2005.

FERRÃO, R. G. et al. Parâmetros genéticos em café Conilon. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, n. 1, p. 61-69, jan. 2008.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, nov./dez. 2011.

GICHIMU, B. M.; OMONDI, C. O. Early performance of five newly developed lines of Arabica Coffee under varying environment and spacing in Kenya. **Agriculture and Biology Journal of North America**, Osaka, v. 1, p. 32-39, 2010.

GIOMO, G. S.; NAKAGAWA, J.; GALLO, P. B. Beneficiamento de sementes de café e efeitos na qualidade fisiológica. **Bragantia**, Campinas, v. 67, n. 4, p. 1011-1020, 2008.

MOURA, W. M. et al. Avaliação de progênies F_3 resultantes de cruzamentos de Catuaí e Mundo novo com Híbrido de Timor e Catimor na região de Patrocínio, Alto Paranaíba, Minas Gerais. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA CAFES DO BRASIL, 2., 2001, Vitória. **Resumos Expandidos…** Brasília, DF: EMBRAPA; Minasplan, 2001. p. 1279-1284.

OLIVEIRA, A. C. B. de et al. Prediction of genetic gains from selection in Arabica coffee progênies. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Londrina, n. 11, p. 106-113, 2011.

PAIVA, R. N. et al. Comportamento agronômico de progênies de cafeeiro (*Coffea arabica* L.) em Varginha-MG. **Coffee Science**, Lavras, v. 5, p. 49-58, 2010.

PEDRO, F. C. et al. Comportamento agronômico de progênies F_4 de cafeeiros oriundos do cruzamento entre os cultivares Mundo Novo e Catuaí. **Revista Ceres**, Viçosa, MG, v. 58, n. 3, p. 315-322, 2011.

PEREIRA, T. B. et al. Seleção de progênies F_4 de cafeeiros obtidas de cultivares do grupo Icatu. **Coffee Science**, Lavras, v. 8, n. 3, p. 337-346, jul./set. 2013.

PINTO, M. F. et al. Eficiência na Seleção de progênies de cafeeiro derivadas de Catuaí com Icatu e Híbrido de Timor. **Bragantia**, Campinas, v. 71, n. 1, p. 1-7, 2012.

RAMALHO, M. A. P.; SANTOS, J. B. dos; ZIRMMERMAM, M. J. de O. **Genética quantitativa em plantas autógamas:** aplicações ao melhoramento do feijoeiro. Goiânia: Ed. UFG, 1993. 271 p.

REZENDE, R. M. et al. Resistance of *Coffea arabica* progenies in field conditions infested by *Meloidogyne exigua*. **Nematropica**, Bradenton, v. 43, n. 2, p. 233-240, 2013.

SEVERINO, L. S. et al. Associações da produtividade com outras características agronômicas de café (*Coffea arabica* L.“Catimor”). **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 24, p. 1467-1471, 2008.

SILVA, M. C. et al. Coffee resistance to the main diseases: leaf rust and coffee berry disease. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, Piracicaba, v. 18, n. 1, p. 119-147, 2006.

STEEL, R. G. D.; TORRIE, J. H. **Principles and procedures of statistics**. 2nd ed. New York: McGraw Hill, 1980. 633 p.

BIOLOGICAL CONTROL OF *Hemileia vastatrix* Berk. & Broome WITH *Bacillus subtilis* Cohn AND BIOCHEMICAL CHANGES IN THE COFFEE

Viviane Cacefo[1], Fábio Fernando de Araújo[2], Ana Cláudia Pacheco[3]

(Recebido: 04 de abril de 2016; aceito: 03 de junho de 2016)

ABSTRACT: *Hemileia vastatrix* stands out as one of the main phytosanitary problems of the coffee culture. The objective of this study was to evaluate the efficiency of the biological control of *Hemileia vastatrix* and detect some biochemical changes in plants of cultivars Icatu and Mundo Novo treated with foliar spray of *Bacillus subtilis* and azoxystrobin under field conditions. After the applications, leaves were collected for visual assessment of *H. vastatrix* severity in accordance with diagrammatic scales. For the biochemical evaluations related to plants defense, leaf tissue samples were collected for the analysis of proline, total phenols, total protein and lipid peroxidation. *B. subtilis* acted effectively in control of *H. vastatrix* in both cultivars, but with less efficiency than the azoxystrobin. Plants treated with *B. subtilis* presented greater proline, total phenols and total proteins in their leaves on the application of azoxystrobin. The cultivar Mundo Novo was more responsive to treatments that Icatu.

Index terms: *Coffea arabica*, induced resistance, rhizobacterium.

CONTROLE BIOLÓGICO DA FERRUGEM COM *Bacillus subtilis* E ALTERAÇÕES BIOQUÍMICAS NO CAFEEIRO

***RESUMO*:** *A ferrugem destaca-se como um dos principais problemas fitossanitários da cultura do café. O objetivo deste trabalho foi avaliar a eficiência do controle biológico da ferrugem e detectar alterações bioquímicas nas plantas das cultivares Icatu e Mundo Novo em função da pulverização foliar com Bacillus subtilis e azoxistrobina em condições de campo. Após as aplicações foram coletadas folhas para avaliação visual da severidade da ferrugem de acordo com escalas diagramáticas. Para a avaliação bioquímica relacionada com a defesa nas plantas, foram coletadas amostras de tecido foliar para realização de análises de prolina, fenóis totais, proteínas totais e peroxidação de lipídeos. B. subtilis atuou de forma eficaz no controle da ferrugem nas duas cultivares testadas, porém com desempenho inferior a azoxistrobina. O tratamento com B. subtilis proporcionou maiores teores de prolina, fenóis totais e proteínas totais nas folhas em relação à aplicação de azoxistrobina, com a cultivar Mundo Novo sendo mais responsiva aos tratamentos que a Icatu.*

***Termos de indexação*:** *Coffea arabica, indução de resistência, rizobactéria.*

1 INTRODUCTION

The fungus *Hemileia vastatrix* Berk. & Broome (coffee rust) stands out as the main cause of the coffee disease due to major damages. It causes a foliar disease that initially cause chlorotic spots on the underside of the leaf and in time will spread throughout the limbo, forming larger patches of yellow-orange coloration, leading to death of the affected tissue (MAIA et al., 2009).

Chemical control is the most used way to control the disease through the use of protective and systemic fungicides. Fungicides chemical group of strobilurins, which belongs azoxystrobin, have a biochemical mode of action to inhibition of mitochondrial respiration. This is by blocking the electron transfer in the mitochondrion site, interfering with breathing pathogen (PARREIRA; NEVES; ZAMBOLIM, 2009).

Genetic improvement has already released in the market cultivars resistant to *H. vastatrix*, which have high productivity and quality of grain, and this would lead to decreased application of pesticides (CARVALHO et al., 2012).

The cultivar Icatu has more rustic features, high size, canopy with larger diameter, vigorous growth, average maturity late and moderate resistance to *H. vastatrix* and drought, as well as being widely used as a way of expressing drink. Already the Mundo Novo presents high size, high vigor and longevity, with average maturity and susceptibility to coffee rust, besides presenting great quality drink (GUERREIRO FILHO; FAZUOLI; AGUIAR, 2006). Both cultivars have excellent adaptation in the producing regions of Brazil coffee (CARVALHO et al., 2006).

Biological control has been gaining ground in order to minimize the use of fungicides, reduce environmental impacts and costs in production. It is a form of control that aims to reduce the inoculum and the activities of pathogens through natural agents that activate the plant defense system. This defense is based primarily on the production and/or accumulation of some molecular compounds that the plant develops when under stress (COSTA; ZAMBOLIM; RODRIGUES, 2007).

[1,2,3]Universidade do Oeste Paulista/UNOESTE - Rodovia Raposo Tavares, km 572 - Bairro Limoeiro, Presidente Prudente - SP 19.067-175 - viviane_cacefo@hotmail.com, fabio@unoeste.br, anaclau@unoeste.br

The *Bacillus subtilis* Cohn, is a biocontrol agent widely used for acting antagonist manner, releasing toxic substances that act and compete with pathogens. This species has been assessed as an antagonist of several pathogenic fungi under controlled conditions (FIGUEIREDO et al., 2010; KUPPER; BELLOTTE; GOES, 2009). In addition, this microorganism promotes plant growth, proving to be very versatile and efficient in disease control and crop development (GRIGOLETTI JÚNIOR; SANTOS; AUER, 2004). This is due to production growth regulators and plant phytohormones in the rhizosphere, as abscisic acid and indole acetic acid (ARAÚJO; HENNING; HUNGRIA, 2005), as well as solubilization of nutrients (MACHADO et al., 2012).

The objective of this study was to evaluate the efficiency of the biological control of *H. vastatrix* and detect some biochemical changes in plants of cultivars Icatu and Mundo Novo treated with foliar spray of *B. subtilis* and azoxystrobin under field conditions.

2 MATERIAL AND METHODS

The experiment was carried out in the experimental area of Universidade do Oeste Paulista of Presidente Prudente, SP, Brazil, 22° 07' 04" S and 51° 22' 57" W, altitude 472 m, from October 2013 to June 2014. On site is made coffee cultivation for nine years, being the area with the cultivars Mundo Novo and Icatu chosen for this study presents infestation history of *H. vastatrix*. The experimental design was randomized blocks with distribution in factorial arrangement of two cultivars, three treatments (bacteria, fungicide and control) and four replicates, totaling 24 plots. Each replicate was represented by four coffee plants properly identified with the name of the cultivar and treatment.

The control strategy was used to apply a biologically input the base of bacteria of the species *B. subtilis* in liquid suspension, with a concentration of 1,0 x 10^9 cells/ml and a conventional chemical fungicide of the strobilurin group and the active ingredient azoxystrobin (commercial product *AMISTAR*® WG). The control treatment received no spraying.

Four monthly foliar sprays with products using backpack sprayer, constant pressure and manual drive have been performed. Each spray was used dosage of 5 L of water with 50 mL of bacteria and fungicide to 5 L of water to 1,25 g of the product, the first spray being conducted in October 2013.

The severity of *H. vastatrix* in the coffee was evaluated after the four applications. The evaluations were conducted in eight reproductive branches per plant, four branches on each side of the row, in the middle third of the plants, and each branch was rated the third or fourth pair of leaves.

The quantification of the severity of *H. vastatrix* was made according to the diagrammatic scale proposed by Cunha et al. (2001), establishing scores from 0 to 5, with 0 (no disease), 1 (<3% severity), 2 (3 to 6% severity), 3 (6 to 12% severity), 4 (from 12 to 25% severity) and 5 (25 to 50% severity).

The collection of leaves for biochemical assessment was done concurrently with the collection for severity assessment, 10 days after the last spraying. The proline concentration in leaves analysis (µg mg^{-1}) was performed according to the method described by Bates, Waldren and Teare (1973), in which 400 mg of fresh material was taken from the middle third of the plants of each treatment. The material was macerated in 10 mL of 3% sulfosalicylic acid. Filtering material and 2 mL of the supernatant obtained was performed was removed and placed in a test tube with 2 mL of ninhydrin acid and 2 mL of glacial acetic acid. The samples were kept in boiling water bath for 1 hour and after this period were cooled on ice. Then, the reading was performed at the spectrophotometer at 520 nm in triplicate.

The determination of total phenols content (µg mL^{-1}) present in the leaves was carried out using the Folin-Ciocalteu method, according to the methodology proposed by Singleton, Orthofer and Lamuela-Raventós (1974), using gallic acid as standard, solution of methanol and sodium carbonate, in triplicate.

For analysis of total protein, leaf samples were weighed (1g) and macerated with liquid nitrogen. Then put the extraction buffer and centrifuged for 30 minutes (10.000 rpm and 4°C). With drew aliquots of 100 mL of the supernatant, from which was made the determination of protein content (mg mL^{-1}), based on the reactant adsorption Coomassie Brilliant Blue G-250 (BRADFORD, 1976) using bovine serum albumin as standard.

The lipid peroxidation was measured by determining the concentration of malondialdehyde (MDA), according to the methodology of Heath and Packer (1968), 100 mg of leaf tissue without the midrib were processed. The assay was performed in triplicate and the values expressed in nanomol of MDA by fresh weight of grass (nmol g MF^{-1}).

The data were submitted to analysis of variance by F test by SISVAR statistical program, and when significant, the averages were compared by Tukey test at 5% probability.

3 RESULTS AND DISCUSSION

According to Table 1, the results of the analysis of variance F were significant treatment and cultivar in *H. vastatrix*. Regarding the biochemical evaluations - proline, total phenols, total protein and MDA, all results were significant, including the interaction between treatment and cultivar.

The results demonstrate that both the biological and chemical control was effective to reduce the *H. vastatrix* in the coffee (Table 2). The cultivar Icatu showed greater resistance to the pathogen due to lower incidence of *H. vastatrix*. In a study by Montes, Paulo and Fischer (2012), to evaluate the *H. vastatrix* in the coffee, disease severity was lower in Icatu and Obatã cultivars. The cultivar Icatu is a hybrid obtained from *Coffea arabica* L. and *Coffea canephora* Pierre ex A.Froehner, crossing, having inherited from *C. canephora* greater resistance to *H. vastatrix* (BOTTCHER et al., 2012). Martins, Mendez and Alvarenga (2004), comparing agro-ecosystems of Minas Gerais, Brazil, planted with resistant cultivars and susceptible to *H. vastatrix*, observed that the cultivar Icatu not reached the level of damage of the disease, unlike other susceptible cultivars. According to Botelho et al. (2007), the population of Icatu cultivars has a germplasm of great importance in breeding programs for resistance to *H. vastatrix*.

The treatments performed in both cultivars presented significant amounts of *H. vastatrix* control and *B. subtilis* had underperformed the control provided by the fungicide (Table 2). Treatment with fungicide showed 53% control in the cultivar Icatu and 45% in the Mundo Novo, while the bacteria provided with a control of 24% and 17%, respectively. This result confirms what was reported by Dorighello (2013), that by using isolates of *B. subtilis* QST 713 and AP-3 in the control of *Phakopsora pachyrhizie* in the soybean, noted a significant reduction in germination uredospores, and in field trials treatments with fungicides alone or associated with *B. subtilis* have excelled in reducing the severity of disease and defoliation.

Angonese et al. (2009) showed in a study on the fungistatic effect of *Bacillus* spp., which isolates this bacterium or molecules released by them have potential to be used in the integrated management of plant diseases, associated for example with the use of fungicides, allowing the rotation of the use of products with different modes of action to prevent pathogen resistance, ensuring greater security for the production system. This becomes possible due to the mode of action antagonist of this microorganism and the characteristic to stay alive for a long time on the plant, interfering with the attachment of the fungus (LANNA FILHO; FERRO; PINHO, 2010), releasing toxic substances, such as iturin, that act and compete with pathogens (ARAÚJO; HENNING; HUNGRIA, 2005; FIGUEIREDO et al., 2010).

Tofoli et al. (2002), in a job with azoxystrobin in controlling of the *H. vastatrix* in the coffee under induced wet conditions, showed the potential of the chemical group of strobilurin fungicides for the disease control under adverse conditions, in addition to promoting lower levels of defoliation, an important factor in plant maintenance and productivity of future harvests. This chemical group of fungicides include azoxystrobin inhibits mitochondrial respiration by blocking the transfer of electrons in the mitochondria site, interfering with breathing pathogen (PARREIRA; NEVES; ZAMBOLIM, 2009). Studying the control of the *Puccinia triticina* in the wheat with fungicides, Navarini and Balardin (2012) concluded that the effective control of this disease is due to the action of strobilurins.

With respect to biochemical changes in the coffee depending on the treatment, it was found that the leaf proline contents were larger in the Mundo Novo cultivar compared to Icatu. Treatment with *B. subtilis* resulted in a 84% increase in proline content in the cultivar Mundo Novo. On the other hand, for the cultivar Icatu, treatment with *B. subtilis* and fungicide did not differ but resulted in higher proline contents than the control (Table 3).

Praxedes, Ferreira and Gomes Filho (2009), in studies with bean under salt stress, found that stressed plants had higher proline accumulation in their leaves, suggesting a protective mechanism. The accumulation of proline in plants occurs in response to saline, water stress, UV radiation, heavy metals, pathogenic and oxidative stress (LIANG et al., 2013).

TABLE 1 - F values analysis of variance.

F.V.	*H. vatatrix*	Proline	Total phenols	Total protein	MDA
Treatment	52,05**	167,46**	929,71**	669,63**	20,62**
Cultivar	8,78**	787,42**	785,02**	800,23**	30,36**
Treat.XCult.	0,21	154,91**	543,79**	864,96**	41,43**
C.V.	12,36	6,80	1,25	8,06	6,41

* 5% probability ** 1% probability.

TABLE 2 - Effect of the application *B. subtilis* and azoxystrobin in controlling the *H. vastatrix* in two coffee cultivars. Values established by grading scale.

Treatments	Icatu	Mundo Novo
Control	2,95 a	3,20 a
Fungicide	1,40 c	1,77 c
B. subtilis	2,22 b	2,66 b
Mean	2,19 B	2,54 A

Values followed by the same letter, in the columns and the mean line, have no significant value by Tukey test at the 5% level of probability.

TABLE 3 - Forms of control and cultivars in coffee infested with *H. vastatrix* for proline content (µg mg^{-1}) in the leaves.

Treatments	Icatu	Mundo Novo
Control	6,72 b	16,67 b
Fungicide	10,89 a	14,49 c
B. subtilis	9,57 a	30,73 a
Mean	9,06 B	20,63 A

Values followed by the same letter, in the columns and the mean line, have no significant value by Tukey test at the 5% level of probability.

Generally, the function of the proline is associated with osmotic adjustment and its action in regulating water stress. However, proline also serves to balance the cellular oxidative stress in the chelation of metals and removal of reactive oxygen species (ROS) (MATYSIK; ALIA BHALU; MOHANTY, 2002; SZABADOS; SAVOURE, 2010). Thus, understanding the mechanisms by which proline increases the response to biotic and abiotic stresses is of great importance for agricultural research and genetical enhancement.

However, the Mundo Novo cultivar, despite having a higher concentration of proline in the leaves, not found to be more resistant to *H. vastatrix* (Table 2), indicating by this that other mechanisms may be related to this resistance. Rampazzo (2013) noted that the proline accumulation was affected by inoculation with rhizobacteria in sugarcane, and the inoculated plants and under water stress increased 2,2 times the concentration of proline in the leaves when compared to inoculated without presence of stress. This information can be related to the data from this study, in which to cultivate the Mundo Novo, where there was a higher incidence of the *H. vastatrix* and consequently greater stress, showing higher concentration of proline in treatment with *B. subtilis*.

Regarding the total phenol content in leaves, the highest values were found in the cultivar Mundo Novo. However, treatments with bacteria and fungicides did not differ, but both cultivars responded to treatments applied in increasing phenolic content with the control (Table 4).

TABLE 4 - Forms of control and cultivars in coffee infested with *H. vastatrix* for total phenols content (µg mL^{-1}) in the leaves.

Treatments	Icatu	Mundo Novo
Control	6,60 b	9,24 b
Fungicide	9,38 a	9,53 a
B. subtilis	9,53 a	9,71 a
Mean	8,50 B	9,49 A

Values followed by the same letter, in the columns and the mean line, have no significant value by Tukey test at the 5% level of probability.

In a study of resistant soybean cultivars and susceptible to bacterial blight (*Pseudomonas savastanoi* pv glycinea), Sbalcheiro (2010) held the application of *Bacillus* spp. and found increase in phenol content in plants. Mello, Frighetto and Valarini (2009) observed an increase in the total phenol content in soybean leaves exposed to *P. pachyrhizie* in response to treatment with an isolated endophytic bacteria. Phenolic compounds are secondary metabolites produced by plants that are not directly related to development of the same, but with resistance to pests and diseases. In this defense mechanism of plants deviated carbohydrates of the major metabolic pathway for the secondary producing the phenols, which are protective substances, fungitoxic, antibacterial and antiviral, and inhibit the germination of fungal spores, such as the isoflavones (SALGADO, 2004).

Leaf contents of total protein in treatments with fungicide and *B. subtilis* in the cultivar Icatu were lower than the control (Table 5). This effect was also verified by Kuhn (2007) in the induction of resistance in beans by treatment with *Bacillus cereus*, where plants had a lower protein content in the leaves.

In contrast, treatment with *B. subtilis* was that provided the greatest protein content in the cultivar Mundo Novo. Silva et al. (2009) found that the inoculation of bean seeds with isolated from *Pseudomonas* DFs842 was responsible for the induction of resistance attributed to the significant increase in concentration of total soluble proteins. The increase in total protein in the treatments of *B. subtilis* is also related to the increase in proline found in this study. The proteins are part of the plasma membrane and out as regulators osmosis, and if there is intense stress proteins break their plants to generate electricity or other amino acids accumulate to defend (ABADE et al., 2014). In the assessment of biochemical descriptors in cotton cultivars focusing on increasing disease resistance, Silva et al. (2009) stated that the total protein content was not a useful parameter for the discrimination of resistant or susceptible cultivars.

No differences were found in the leaf content of malondialdehyde (MDA) between any of the treatments in Mundo Novo, which on average had lower MDA values compared to Icatu. This cultivar, in turn, exhibited higher MDA content when treated with fungicide whereas treatment with *B. subtilis* significantly reduced this level compared to control (Table 6).

The MDA is produced by peroxidation of lipids of the cell membrane when the plant is suffering from some kind of stress (HENDGES et al., 2015). The MDA content is often used as a marker of the degree of oxidative damage (OLIVEIRA; GOMES-FILHO; ENÉAS-FILHO, 2010). According to Langaro et al. (2014), when the plant is treated with herbicide, the protective ability of the carotenoid to act against oxidative stress occurs and decreases the lipid peroxidation. The reduction of the MDA from plants treated with *B. subtilis* shows the ability of this biocontrol agent has to maintain the integrity of cell membranes, which requires further study.

B. subtilis has been shown to be an important option in biological control, especially of foliar diseases. This control can be effected by direct inhibition of the pathogen through the production of inhibitory substances, and also by physiological changes in the metabolism of plants, resulting in activation of the defense mechanism of the same.

The results of this experiment can be inferred that the variety Mundo Novo showed higher production of defense substances in response to the treatment used, especially with *B. subtilis*, demonstrating with it greater potential for plant protection when using induced resistance. Bottcher et al. (2012) also found that this cultivar had better performance in the production of defense substances compared to Icatu.

TABLE 5 - Forms of control and cultivars in coffee infested with *H. vastatrix* for total protein content (mg mL^{-1}) in the leaves.

Treatments	Icatu	Mundo Novo
Control	0,07 a	0,04 c
Fungicide	0,03 b	0,07 b
B. subtilis	0,04 b	0,32 a
Mean	0,05 B	0,14 A

Values followed by the same letter, in the columns and the mean line, have no significant value by Tukey test at the 5% level of probability.

TABLE 6 - Forms of control and cultivars in coffee infested with *H. vastatrix* for content of MDA (nmol g^{-1}) in the leaves.

Treatments	Icatu	Mundo Novo
Control	3,19 b	2,49 a
Fungicide	3,54 a	2,52 a
B. subtilis	2,21 c	2,73 a
Mean	2,98 A	2,58 B

Values followed by the same letter, in the columns and the mean line, have no significant value by Tukey test at the 5% level of probability.

The use of biological control with *B. subtilis* has shown promise for its introduction as a tactic of diseases in coffee, because beyond the control of diseases such as *H. vastatrix*, this microorganism can stimulate the plant to trigger defense mechanisms important for increased resistance. This can mitigate the damaging effects of different pathogens culture during their cycle.

4 CONCLUSIONS

B. subtilis acted effectively in control of *H. vastatrix* in both cultivars, but with less efficiency than the azoxystrobin. Plants treated with *B. subtilis* presented greater proline, total phenols and total proteins in their leaves on the application of azoxystrobin, with the cultivar Mundo Novo being more responsive to treatments that Icatu.

5 REFERENCES

ABADE, M. T. R. et al. Determinação dos teores de proteínas solúveis totais em plantas de girassol (*Helianthus annuus* L.). In: WORKSHOP AGROENERGIA, 8., 2014, Ribeirão Preto. **Anais...** Ribeirão Preto, 2014. 1 CD-ROM.

ANGONESE, M. T. et al. Efeito fungistático de *Bacillus* spp. sobre fungos fitopatogênicos. **Revista Brasileira de Agroecologia**, Cruz Alta, v. 4, n. 2, p. 97-100, 2009.

ARAÚJO, F. F.; HENNING, A. A.; HUNGRIA, M. Phytohormones and antibiotics produced by *Bacillus subtilis* and their effects on seed pathogenic fungi and on soybean root development. **World Journal of Microbiology & Biotechnology**, Dordrecht, v. 21, p. 1639-1645, 2005.

BATES, L. S.; WALDREN, R. P.; TEARE, I. D. Rapid determination of free proline for water-stress studies. **Plant and Soil**, Netherlands, v. 39, n. 2, p. 205-207, 1973.

BOTELHO, C. E. et al. Avaliação de progênies de café obtidas por cruzamentos das cultivares de Icatu e Catimor. **Coffee Science**, Lavras, v. 2, n. 1, p. 10-19, 2007.

BOTTCHER, A. et al. Antioxidative responses of cell suspension cultures of two *Coffea arabica* **varieties to low aluminum levels at pH 5.8. Hoehnea**, São Paulo, v. 39, n. 1, p. 1-10, 2012.

BRADFORD, M. M. A rapid and sensitive method for the quantification of microgram quantities of protein utilizing the principles of protein-dye binding. **Analytical Biochemistry**, New York, v. 72, n. 1/2, p. 248-254, 1976.

CARVALHO, A. M. et al. Desempenho agronômico de cultivares de café resistentes à ferrugem no Estado de Minas Gerais, Brasil. **Bragantia**, Campinas, v. 71, n. 4, p. 481-487, 2012.

CARVALHO, G. R. et al. Comportamento de progênies de cafeeiro cultivar mundo novo. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 30, n. 5, p. 853-860, set./out. 2006.

COSTA, M. J. N.; ZAMBOLIM, L.; RODRIGUES, F. A. Avaliação de produtos alternativos no controle da ferrugem do cafeeiro. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 32, p. 150-152, 2007.

CUNHA, R. L. et al. Desenvolvimento e validação de uma escala diagramática para avaliar a severidade da ferrugem (*Hemileia vastatrix*) do cafeeiro. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 2., 2001, Vitória. **Resumos Expandidos...** Brasília: EMBRAPA Café, 2001. v. 3, p. 1101-1108.

DORIGHELLO, D. V. **Controle da ferrugem asiática da soja (*Phakopsora packyrhizi*) com óleo de café e *Bacillus* spp**. 2013. 45 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2013.

FIGUEIREDO, J. E. F. et al. Atividade antagonista in vitro de *Bacillus subtilis* contra fungos fitopatogênicos do milho e sorgo. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 28., 2010, Goiânia. **Resumos Expandidos...** Sete Lagoas: EMBRAPA Milho e Sorgo, 2010. p. 667-673.

GRIGOLETTI JÚNIOR, A.; SANTOS, A. F. dos; AUER, C. Perspectivas do uso do controle biológico contra doenças florestais. **Floresta**, Curitiba, v. 30, n. 1/2, p. 155-165, 2004.

GUERREIRO FILHO, O.; FAZUOLI, L. C.; AGUIAR, A. T. **Cultivares de *Coffea arabica* selecionadas pelo IAC:** características botânicas, tecnológicas, agronômicas e descritores mínimos. 2006. Disponível em: <http://www.infobibos.com/Artigos/2006_2/Cultivares_cafe/Index.htm>. Acesso em: 1 out. 2014.

HEATH, R. L.; PACKER, L. Photoperoxidation in isolated chloroplast: I., kinetics an stoichiometry of fatty acid peroxidation. **Archives of Biochemistry and Biophysics**, New York, v. 125, n. 1, p. 189-198, 1968.

HENDGES, F. B. et al. Avaliação enzimática e fisiológica de plântulas de milho submetidas à seca. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, Palotina, v. 4, n. 2, p. 52-63, 2015.

KUHN, O. J. **Indução de resistência em feijoeiro *(Phaseolus vulgaris)* por acibenzolar-Smetil e *Bacillus cereus*:** aspectos fisiológicos, bioquímicos e parâmetros de crescimento e produção. 2007. 139 p. Tese (Doutorado Fitopatologia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 2007.

KUPPER, K. C.; BELLOTTE, J. A. M.; GOES, A. Controle alternativo de *Colletotrichum acutatum* **agente causal da queda prematura dos frutos cítricos.** *Revista Brasileira de Fruticultura*, Jaboticabal, v. 31, n. 4, p. 1004-1015, 2009.

LANGARO, A. C. et al. Alterações fisiológicas na cultura do tomateiro devido à deriva simulada de herbicidas. **Revista Brasileira de Herbicidas**, Londrina, v. 13, n. 1, p. 40-46, jan./abr. 2014.

LANNA FILHO, R.; FERRO, H. M.; PINHO, R. S. C. Controle biológico mediado por *Bacillus subtilis*. **Revista Trópica - Ciências Agrárias e Biológicas**, Lavras, v. 4, n. 2, p. 12-20, 2010.

LIANG, X. et al. Proline mechanisms of stress survival. **Antioxidants and Redox Signaling**, New York, v. 19, n. 9, p. 998-1011, 2013.

MACHADO, V. et al. Bactérias como agentes de controle biológico de fitonematóides. **Oecologia Australis**, Rio de Janeiro, v. 12, n. 2, p. 165-182, 2012.

MAIA, T. A. et al. Estrutura genética da população de *Hemileia vastatrix* com base no mercado AFLP. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 6., 2009, Vitória. **Resumos Expandidos...** Brasília: EMBRAPA Café, 2009. 1 CD-ROM.

MARTINS, M.; MENDEZ, A. N. G.; ALVARENGA, M. I. N. Incidência de pragas e doenças em agrossistemas de café orgânico de agricultores familiares em Poço Fundo-MG. **Ciência Agrotecnologia**, Lavras, v. 28, n. 6, p. 1306-1313, nov./dez. 2004.

MATYSIK, J.; ALIA BHALU, B.; MOHANTY, P. Molecular mechanisms of quenching of reactive oxygen species by proline under stress in plants. **Current Science**, Bangalore, v. 82, p. 525-532, 2002.

MELLO, U. Q.; FRIGHETTO, R. T. S.; VALARINI, P. J. Teor de fenólicos totais e crescimento radicular em soja (*Glycine max* (L.) Merr.) inoculada com

as bactérias endofítica e epifítica e sua exposição à ferrugem. In: CONGRESSO INTERINSTITUCIONAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 3., 2009, Campinas. **Anais...** Campinas: ITAL; Jaguariúna: EMBRAPA Meio Ambiente, 2009. Poster 0902019.

MONTES, S. M. N. M.; PAULO, E. M.; FISCHER, I. H. Incidência da ferrugem alaranjada em cafeeiros nas condições climáticas de Presidente Prudente, SP. **Coffee Science**, Lavras, v. 7, n. 3, p. 208-214, 2012.

NAVARINI, L.; BALARDIN, R. S. **Doenças foliares e o controle por fungicidas na produtividade e qualidade de grãos de trigo. Summa Phytopathologica**, São Paulo, v. 38, n. 4, p. 294-299, 2012.

OLIVEIRA, A. B. de; GOMES-FILHO, E.; ENÉAS-FILHO, J. O problema da salinidade na agricultura e as adaptações das plantas ao estresse salino. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer, Goiânia, v. 6, n. 11, p. 1-16, 2010.

PARREIRA, D. F.; NEVES, W. S.; ZAMBOLIM, L. Resistência de fungos a fungicidas inibidores de quinona. **Revista Trópica - Ciências Agrárias e Biológicas**, São Luís, v. 3, n. 2, p. 24-34, 2009.

PRAXEDES, S. C.; FERREIRA, T. M.; GOMES FILHO, E. Acúmulo de prolina e aminoácidos em cultivares de feijão caupi com tolerância diferencial à salinidade. **Caatinga**, Mossoró, v. 22, n. 3, p. 211-214, 2009.

RAMPAZZO, P. E. **Interação entre rizobactérias e cana-de-açúcar sob diferentes condições de umidade do substrato:** crescimento, fotossíntese e relações hídricas. 2013. 54 p. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical) - Instituto Agronômico de Campinas, Campinas, 2013.

SALGADO, P. R. **Fenóis totais no cafeeiro em razão das fases de frutificação e clima**. 2004. 60 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 2004.

SBALCHEIRO, C. C. **Uso de *Bacillus sp.* e Acibenzolar-S-Metil como indutores de resistência ao crestamento bacteriano em soja:** (*Pseudomonas savastanoi pv. glycinea).* 2010. 195 p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2010.

SILVA, E. G. et al. Alterações metabólicas em plantas de feijão originadas de sementes microbiolizadas por *Pseudomonas* sp. e inoculadas com *Xanthomonas axonopodis* pv. *phaseoli*. **Summa Phytopathologica**, São Paulo, v. 35, n. 2, p. 98-104, 2009.

SINGLETON, V. L.; ORTHOFER, R.; LAMUELA-RAVENTÓS, R. M. Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin- Ciocaulteu reagent. **Methods in Enzymology**, Netherlands, v. 29, p. 152-178, 1974.

SZABADOS, L.; SAVOURE, A. Proline: a multifunctional amino acid. **Trends in Plant Science,** London, v. 15, p. 89-97, 2010.

TOFOLI, J. G. et al. Desempenho de azoxystrobin no controle da ferrugem do cafeeiro sob condições de chuva induzida. **Arquivos do Instituto Biológico**, São Paulo, v. 69, n. 1, p. 93-96, 2002.

ISSN 1809-6875