ISSN 1809-6875

COFFEE SCIENCE

Volume 12, Número 3, 2017

SINTOMAS DE FITOTOXICIDADE E CRESCIMENTO DE MUDAS DE CAFÉ SUBMETIDAS AOS HERBICIDAS INIBIDORES DA PROTOX

Lucas Guedes Silva[1], Dalyse Toledo Castanheira[2], Giovani Belutti Voltolini[3], Itamar Ferreira de Souza[4], Adenilson Henrique Gonçalves[5], Rubens José Guimarães[6]

(Recebido: 28 de junho de 2016; aceito: 30 de janeiro de 2017)

RESUMO: Objetivou-se avaliar a influência dos herbicidas flumioxazin,oxyfluorfen e carfentrazone-ethyl no crescimento inicial de mudas de cafeeiro, sob condições de campo, identificando os sintomas de fitotoxicidade causados nas plantas. Os experimentos foram realizados em delineamento de blocos casualizados, com quatro repetições, e seis doses de herbicida (0%, 10%, 40%, 70%, 100% e 200% da dose recomendada). As aplicações foram feitas diretamente sobre as plantas por meio de um pulverizador costal pressurizado por CO_2, regulado a 45 kgf/cm². As mudas permaneceram no campo por 45 dias após as pulverizações, sendo realizada a identificação e observação dos sintomas de fitotoxicidade. A observação dos sintomas de fitotoxicidade foi feita a cada dois dias, por meio da captura de imagens e comparação das plantas que receberam os herbicidas com a testemunha. Ao final do experimento foram avaliados o número de folhas, o diâmetro de caule e a massa seca da parte aérea das plantas. Nos herbicidas oxyfluorfen, carfentrazone – ethyl e flumioxazim, a partir da dose de 10%, o principal sintoma de fitotoxicidade observado foi a formação de manchas necróticas irregulares no limbo foliar, principalmente nas regiões apicais. Os herbicidas oxyfluorfen e carfentrazone-ethyl, em todas as doses estudadas, apesar de causarem fitotoxicidade e injúrias leves nas mudas de cafeeiro, não afetaram o seu crescimento. O herbicida flumioxazin apresentou maior fitotoxicidade nas mudas, reduzindo significativamente seu crescimento em relação à testemunha, a partir da dose de 10%.

Termos para indexação: *Coffea arabica*, controle químico, planta daninha.

COFFEE SEEDLINGS PHYTOTOXICITY SYMPTOMS AND GROWING SUBMITTED TO PROTOX'S INHIBITOR HERBICIDES

ABSTRACT: *This research aimed to evaluate the influence of the herbicides flumioxazin, oxyfluorfen and carfentrazone-ethyl in initial growth of coffee seedlings under field conditions, identifying the phytotoxicity symptoms caused in plants. The experiments were performed in a randomized block design with four replicates and six doses of the herbicides (0%, 10%, 40%, 70%, 100% and 200% of the recommended dose). The herbicides were applied directly onto the plants using a knapsack sprayer pressurized by CO2 and regulated to 45 kgf/cm². After the pulverization, the seedlings remained in field for 45 days, being performed the identification and observation of the symptoms of phytotoxicity. The observation of the phytotoxicity symptoms was done each two days, by the capture of images and the comparison of plants that received herbicides against the pattern. At the end of the experiment were evaluated the number of leaves, stem diameter and plant dry weight. In the herbicides oxyfluorfen, carfentrazone-ethyl and flumioxazin, from the dose of 10%, the main symptom of phytotoxicity observed was the formation of irregular necrotic spots on the leaf surface, mainly in the apical regions. The oxyfluorfen and carfentrazone-ethyl herbicides, on all studied doses, despite causing phytotoxicity and light injuries in coffee seedlings did not affect its growing. The flumioxazin herbicide showed higher phytotoxicity in plants, significantly reducing their growing compared to control, starting at the 10% dose.*

Index terms: *Coffea arabica, chemical control, weed.*

1 1INTRODUÇÃO

O café tem posição de destaque na balança comercial do Brasil há muitos anos, constituindo uma das commodities mais importantes para o país e desempenhando um importante papel no cenário social e econômico de muitas famílias brasileiras. Com área plantada superior a 2,2 milhões de hectares e com produção estimada em 49,6 milhões de sacas, o Brasil é o maior produtor e exportador mundial de café. Entretanto, a produtividade média brasileira é baixa (25,46 sacas ha^{-1}), considerando todo o potencial que apresenta (CONAB, 2016; FIALHO et al., 2010). Essa baixa produtividade deve-se, em parte, a lavouras antigas e depauperadas, deficiências nutricionais, baixa tecnologia de produção, estresses abióticos e bióticos e problemas no manejo da cultura (CAIXETA; GUIMARÃES; ROMANIELLO, 2008).

A interferência imposta pelas plantas daninhas no cafeeiro destaca-se como um dos principais problemas no manejo da cultura, pois a ocorrência destas pode acarretar perdas em

[1]Universidade Federal de Lavras/UFLA - Departamento de Fitopatologia/DFP - Cx.P. 3037 - 37.200-000- Lavras - MG
[2,3,4,5,6]Universidade Federal de Lavras/UFLA - Departamento de Agricultura/DAG - Cx. P. 3037 - 37.200-000 - Lavras - MG
dalysecastanheira@hotmail.com, giovanibelutti77@hotmail.com, ferreiras@dag.ufla.br, adenilsonhg@dag.ufla.br, rubensjg@dag.ufla.br

produtividade e na qualidade do produto final (CARVALHO et al., 2014), e oneram os custos de produção (PAIS et al., 2011; RONCHI; SILVA, 2003). Isso ocorre por meio da competição pelos recursos disponíveis, como, água, radiação solar, espaço e nutrientes, além de interferirem na realização de práticas culturais, como fertilizações e colheita, e no controle de pragas e doenças (RONCHI et al., 2003; SILVA et al., 2006).

A fase inicial de crescimento do cafeeiro, compreendida entre o transplantio das mudas até o segundo ano pós-plantio, é considerada a mais sensível à interferência das plantas daninhas, sobretudo quando estão na linha de plantio da cultura (RONCHI; TERRA; SILVA, 2007), visto que, o cafeeiro apresenta um crescimento lento, comparativamente ao das plantas daninhas, sofrendo, portanto, os efeitos da intensa competição pelos recursos do ambiente (RONCHI; SILVA, 2003).

O manejo de plantas daninhas é de extrema importância na busca por uma cafeicultura mais rentável e produtiva. Nesse contexto, o controle adequado de plantas daninhas preconiza a realização do manejo integrado, associando os diversos métodos de controle utilizados na cafeicultura (RONCHI; TERRA; SILVA, 2007).

Dentre os métodos de controle, pode-se citar o método mecânico, por meio de roçadas, o método físico, por meio do acúmulo de resíduos vegetais ou também pela utilização do *mulching*, o método cultural, por meio de práticas fitotécnicas como o adensamento, e adubações equilibradas, o método biológico, por meio da alelopatia, e também o método químico, por meio da utilização de herbicidas (LORENZI, 2014). Entretanto, a escolha do método de controle mais adequado a se utilizar está diretamente relacionado com a comunidade de plantas daninhas infestantes na área, com a fase fenológica da cultura e com o nível de tecnificação do cafeicultor, buscando sempre a integração entre os métodos (RONCHI et al., 2010).

Com relação ao controle químico existe a necessidade de desenvolver herbicidas seletivos, principalmente para uso na fase inicial da cultura e também de tecnologias adequadas de aplicação, buscando sempre a sua utilização de forma técnica e criteriosa, para maximizar suas vantagens e minimizar seus riscos toxicológicos e ambientais (BLANCO; VELINI, 2005).

Embora existam vários herbicidas registrados, poucos apresentam seletividade para serem aplicados diretamente sobre a planta, em pós-emergência das plantas daninhas. De modo geral, é necessário evitar que a calda herbicida atinja diretamente as folhas da cultura, o que implica o uso de adequada tecnologia de aplicação (RONCHI; SILVA, 2003).

Porém, apesar de cada vez mais se exigir a utilização correta e criteriosa dos defensivos agrícolas, o que se observa na prática é a falta de informações a respeito de tecnologias de aplicação (COSTA et al., 2007). Fato este, que pode ser comprovado devido a frequente ocorrência de plantas intoxicadas por herbicidas na cafeicultura, mesmo com o uso de herbicidas recomendados. Essa intoxicação é caracterizada por alterações morfológicas e fisiológicas nas plantas, que muitas vezes causam sintomas semelhantes aos de distúrbios nutricionais, como deficiência de N, B, Fe e Zn, que são caracterizados pelo aparecimento de folhas cloróticas, pequenas e quebradiças (MALAVOLTA, 2006), além de reduzirem o crescimento das plantas.

Aliado a este fato, também é frequente a ocorrência de intoxicação por parte dos aplicadores, demandando assim uma maior conscientização, de modo que a aplicação seja realizada da maneira correta, com a utilização de EPI's, proporcionando maior eficiência e segurança ao operador (OLIVEIRA-SILVA et al., 2001).

Assim, objetivou-se avaliar a influência dos herbicidas flumioxazin, oxyfluorfen e carfentrazone-ethyl no crescimento inicial de mudas de cafeeiro, sob condições de campo, identificando os sintomas de fitotoxicidade causados nas plantas.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi conduzido no Setor de Cafeicultura da Universidade Federal de Lavras – UFLA, em Lavras-MG. O município de Lavras está localizado na região sul do estado de Minas Gerais, a uma altitude de 918 m, com latitude 21º14'S e longitude 45º00'W GRW. As médias anuais de temperatura do ar, máxima e mínima, são respectivamente de 26,1º C e 14,4º C, sendo que a temperatura média anual é de 19,4º C. O Clima regional é do tipo Cwa, mas apresenta características de Cwb com duas estações distintas: seca de abril a setembro e chuvosa, de outubro a março, segundo a classificação de Koppen.

Foram utilizadas mudas de cafeeiro, (*Coffea arabica* L.), da cultivar Mundo Novo IAC 479/19. Para a instalação do experimento, foi realizado a padronização das mudas de acordo com tamanho

e número de folhas. As plantas foram fixadas sob o solo, no campo, amarradas em estacas de bambu, para evitar o tombamento, espaçadas de 0,40 x 0,40 m.

Durante a condução do experimento as plantas foram irrigadas por aspersão de 3 a 5 vezes por dia, observando a umidade no saquinho. O manejo das plantas daninhas que ocorreram entre os saquinhos foi feito por meio de capina manual.

As aplicações dos herbicidas, em todos os ensaios, foram feitas na área experimental no período entre 08 e 11 horas da manhã, em um mesmo dia, diretamente sobre as plantas por meio de um pulverizador costal pressurizado por CO_2, regulado a 45 kgf/cm². Foram utilizados três herbicidas pertencentes ao grupo dos inibidores da PROTOX: oxyfluorfen (dose recomendada: 3,0 $L.ha^{-1}$), carfentrazone-ethyl (dose recomendada: 100 $mL.ha^{-1}$) e flumioxazin (dose recomendada: 100 $g.ha^{-1}$).

Para cada herbicida foi realizado um experimento. O delineamento experimental utilizado em cada experimento, foi em blocos casualizados com seis doses: D1 = 0 (apenas água); D2= 10% da dose recomendada; D3= 40% da dose recomendada; D4= 70% da dose recomendada; D5= 100% da dose recomendada; D6= 200% da dose recomendada, e quatro repetições, com cinco plantas por parcela.

As mudas permaneceram no campo por 45 dias após a aplicação dos herbicidas, sendo realizada a identificação e observação dos sintomas de fitotoxicidade a cada dois dias, por meio da captura de imagens e comparação das plantas que receberam os herbicidas com a testemunha (padrão). Ao final do experimento foi determinado o número de folhas, o diâmetro de caule e massa seca da parte aérea das plantas.

Os dados coletados foram tabulados e submetidos à análise de variância a ($p>0,05$). Procedeu-se o estudo dos herbicidas de forma individual, obtendo uma análise de variância para cada herbicida estudado. Na análise de regressão, foram ajustados os modelos estatísticos e a suas significâncias foram testadas ao nível de 1% de probabilidade. As análises estatísticas foram realizadas com o programa computacional Sisvar (FERREIRA, 2008).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Um dia após a aplicação dos herbicidas, observou-se, em todos os ensaios e tratamentos o aparecimento dos primeiros sintomas de fitotoxicidade. Os herbicidas, inicialmente, promoveram o surgimento de queimaduras nas folhas e de pontos de coloração verde-escura (Figura 1), o que pode ser explicado pelo rompimento da membrana celular e, consequentemente, o extravasamento do líquido citoplasmático nos intervalos celulares (RODRIGUES; ALMEIDA, 2011).

Ronchi e Silva (2003), estudando a tolerância de mudas de café a herbicidas aplicados em pós-emergência, observaram que o herbicida oxyfluorfen, aplicado diretamente sob as plantas, também ocasionou efeitos fitotóxicos nas plantas, caracterizados por queimaduras e deformações em toda a lâmina foliar atingida pelo herbicida.

No presente trabalho, tal característica se mostrou mais presente em folhas novas e em pontos de intenso crescimento, como em novas brotações e no meristema apical caulinar, enquanto nas folhas mais velhas, o sintoma mais predominante foi o surgimento de pontos cloróticos (Figura 1). Segundo Rodrigues e Almeida (2011) herbicidas como oxyfluorfen, carfentrazone-ethyl e flumioxazin apresentam modo de ação não sistêmico, justificando assim, a presença dos sintomas de fitotoxicidade predominantemente no ápice das mudas, visto que, foram estes os locais de maior contato do produto com as plantas.

É importante ressaltar que mesmo sendo observadas injúrias em níveis variados nas folhas, as plantas, após cerca de 20 a 26 dias, se recuperaram sem danos significativos ao seu desenvolvimento, com emissão de folhas novas sem nenhum sintoma de fitotoxicidade (Figura 2).

De acordo com as análises estatísticas, para os herbicidas oxyfluorfen e carfentrazone-ethyl as variáveis diâmetro de caule, número de folhas e massa seca da parte aérea não apresentaram diferenças significativas a ($p < 0,05$) entre as doses (Tabela 1), indicando uma possível tolerância das mudas a esses herbicidas. Resultados similares foram encontrados por Ronchi e Silva (2004) em um trabalho realizado com mudas de cafeeiro recém implantadas, onde foram observadas apenas leves injúrias nas folhas mais novas, porém, sem danos significativos do herbicida oxyfluorfen, na dose de 480 g i.a. ha^{-1}, sob o crescimento das plantas. Já para o herbicida flumioxazin, as variáveis diâmetro de caule e massa seca da parte aérea apresentaram diferença significativa a ($p < 0,05$) (Tabela 1).

FIGURA 1 - Sintomas de fitotoxicidade observados em mudas de café sob ação dos herbicidas, com um dia após a aplicação. A) Carfentrazone-ethyl (10 ml.ha^{-1}); B) Oxifluorfen (0,3 L.ha^{-1}); C) Flumioxazin (10g.ha^{-1}).

FIGURA 2 - Sintomas de fitotoxicidade observados em mudas de café sob ação dos herbicidas, com 25 dias após a aplicação. A) Carfentrazone-ethyl (10 ml.ha^{-1}); B) Oxifluorfen (0,3 L.ha^{-1}); C) Flumioxazin (10g.ha^{-1}).

TABELA 1 - Resumo da análise de variância individual para diâmetro de caule (DC), número de folhas (NF) e massa seca da parte aérea (MSPA), em função da fonte de variação (FV) herbicidas oxyfluorfen, carfentrazone-ethyl e flumioxazin. Lavras - MG, 2015.

FV	GL	QM		
		DC (mm)	NF	MSPA (g)
Oxyfluorfen	5	0,04^{ns}	3,34^{ns}	0,12^{ns}
Bloco	3	0,37	1,28	0,24
Erro	15	0,05	1,61	0,11
CV (%)		5,51	8,46	10,66
Carfentrazone-ethyl	5	0,06^{ns}	0,77^{ns}	0,13^{ns}
Bloco	3	0,04	0,41	0,17
Erro	15	0,06	0,72	0,10
CV (%)		5,17	5,34	8,59
Flumioxazin	5	0,21*	9,06^{ns}	0,45*
Bloco	3	0,02	3,03	0,03
Erro	15	0,04	4,00	0,13
CV (%)		4,24	12,88	10,82

^{ns}Não significativo pelo teste de F a 5% de probabilidade.

*Significativo pelo teste de F a 5% de probabilidade.

No entanto Yamashita et al. (2013), trabalhando com mudas de cafeeiro *Coffea canephora*, observaram resultados distintos, onde plantas de café tratadas com oxyfluorfen, na dosagem de 240 g i.a. ha^{-1}, sofreram fortes injúrias e foram influenciadas negativamente pela ação do herbicida. Já Christoffoleti et al. (2006), avaliando a eficiência do carfentrazone-ethyl no controle de plantas daninhas na cultura da cana-de-açúcar, verificaram que o mesmo foi seletivo à cultura da cana-de-açúcar em todas as doses utilizadas. No entanto, Karamet al. (2004) observaram níveis de fitotoxicidade significativos na cultura do milho aos sete dias após a aplicação do carfentrazone-ethyl na nose de 25,0 g i.a. ha^{-1}.

Apenas o herbicida flumioxazin causou reduções significativas ao crescimento das mudas, proporcionando decréscimos da biomassa vegetal na ordem de 22% em maiores concentrações do produto, quando comparado à testemunha pulverizada com água. A resposta das plantas nas diferentes concentrações do herbicida flumioxazin foi de maneira linear, onde as maiores doses proporcionaram maiores perdas de biomassa vegetal (Figura 3). Isso pode ter ocorrido devido à menor metabolização da molécula do herbicida flumioxazin, que favorece a ação do herbicida na planta e ocasiona a degradação de lipídeos da membrana celular e, consequentemente, provoca perdas na massa seca das plantas (RODRIGUES; ALMEIDA, 2011).

Assim como para a variável massa seca da parte aérea das plantas, o diâmetro do caule também foi afetado significativamente pela ação do herbicida, onde as maiores doses proporcionaram maiores reduções de seus valores médios, chegando na dose máxima a suprimir em até 11% o desenvolvimento do caule das plantas, em comparação a testemunha (Figura 4).

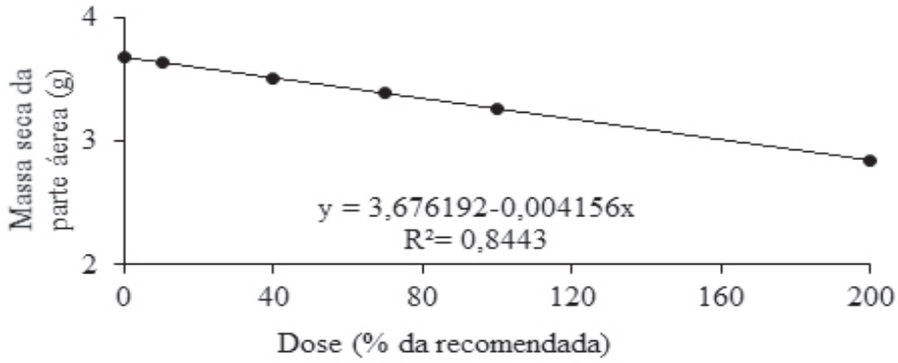


FIGURA 3 - Massa seca da parte aérea das plantas em função das doses de flumioxazin. Lavras - MG, 2015.

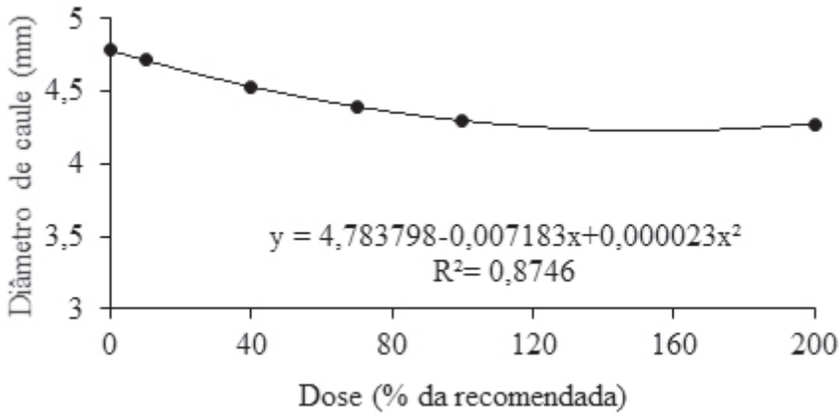


FIGURA 4 - Diâmetro do caule das plantas em função das doses de flumioxazin. Lavras - MG,2015.

Tendo em vista que a ação do herbicida na planta está relacionada à absorção, translocação e, consequente, metabolização do mesmo, os menores valores observados podem indicar um metabolismo diferencial do flumioxazin, que ocasiona menor incremento no diâmetro de caule das plantas intoxicadas (OLIVEIRA JÚNIOR, 2011).

Os sintomas descritos para os herbicidas testados neste trabalho, assim como as perdas decorrentes de sua ação sobre as mudas, estão estreitamente relacionados com seus respectivos mecanismos de ação (OLIVEIRA JÚNIOR, 2011). A ação herbicida dos três produtos estudados se faz possível pela a inibição competitiva da enzima protoporfirinogênio oxidase (PROTOX), que se acumula no cloroplasto e é difundida para o citoplasma da célula, onde é rapidamente convertida para protoporfirina-IX.

Porém, devido à sua elevada natureza lipofílica, a protoporfirina-IX não entra novamente no cloroplasto para a síntese da clorofila (LEHNEN et al., 1990), e por se tratar de um pigmento fotodinâmico (protoporfirina-IX), quando em presença de radiação solar e oxigênio molecular no citoplasma, origina oxigênio 'singlet' (O-). Esse radical livre, altamente reativo, provoca a peroxidação dos lipídeos das membranas, levando a célula à morte (BECERRIL; DUKE, 1989).

De forma geral, para ambos os herbicidas, o principal sintoma de fitotoxicidade observado foi a formação de manchas necróticas irregulares no limbo foliar (queimaduras), principalmente nas regiões apicais (Figura 1). O progresso do sintoma ocorreu de maneira rápida, de modo que aos 14 DAA as plantas já apresentavam perda dos primeiros pares de folhas. Contudo, devido à rápida metabolização dos herbicidas nas plantas, aos 25 DAA o cafeeiro já emitiu novos pares de folhas, apresentando ausência de fitotoxicidade (Figura 2).

A ocorrência destes sintomas pode ser associada também à deficiência nutricional (SANTOS et al., 2007), à incidência de doenças, como mancha de phoma, e, também, por equívocos na aplicação de insumos agrícolas. Desta forma, a adoção de técnicas como a anamnese devem ser utilizadas como uma ferramenta de diagnose, visando assim, a correta identificação destes sintomas nas lavouras.

Contudo, cuidados devem ser tomados para efetuar o controle de plantas daninhas em pós-emergência na cultura do café, visto que, a deriva destes herbicidas pode afetar o crescimento das plantas, principalmente quando se trata de lavouras em formação.

4 CONCLUSÕES

Os sintomas de fitotoxicidade causados pelos herbicidas flumixazim, carfentrazone – ethyl e oxyfluorfen foram pontos necróticos irregulares no limbo foliar, principalmente nas regiões apicais de mudas de cafeeiros da cultivar 'Mundo Novo'.

Os herbicidas oxyfluorfen e carfentrazone-ethyl não prejudicaram o crescimento das mudas de cafeeiro. Já o herbicida flumioxazin apresentou-se danoso às plantas, tendo em vista os sintomas de fitotoxicidade observados e as consequentes perdas ao seu crescimento.

5 REFERÊNCIAS

BECERRIL, J. M.; DUKE, S. O. Protoporphyrin IX content correlates with activity of photobleaching herbicides. **Plant Physiology**, Washington, v. 90, p. 1175-1181, 1989.

BLANCO, F. M. G.; VELINI, E. D. Persistência do herbicida sulfentrazone em solo cultivado com soja e seu efeito em culturas sucedâneas. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 23, n. 4, p. 693-700, 2005.

CAIXETA, G. Z. T.; GUIMARÃES, P.T.G.; ROMANIELLO, M.M. Gerenciamento como forma de garantir a competitividade da cafeicultura. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 29, n. 247, p. 14-23, 2008.

CARVALHO, F. P. et al. Sensibilidade de plantas de café micorrizadas à herbicidas. **Revista Brasileira de Herbicidas**, Londrina, v.13, n. 2, p. 134-142, 2014.

CHRISTOFFOLETI, P. J. et al. Carfentrazone-ethyl aplicado em pós-emergência para o controle de Ipomea spp. e Commelina benghalensis na cultura da cana-de-açúcar. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 24, n. 1, p. 83-90, 2006.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira**. Brasília, DF, 2016. Disponível em: <http://www.conab.gov.br>. Acesso em: 7out. 2016.

COSTA, A. G. F. et al. Efeito da intensidade do vento, da pressão e de pontas de pulverização na deriva de aplicações de herbicidas em pré-emergência. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 25, n. 1, p. 203-210, 2007.

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

FIALHO, C. M. T. et al. Competição de plantas daninhas com a cultura do café em duas épocas de infestação. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 28, p. 969-978, 2010.

KARAM, D. et al. Seletividade de carfentrazone-ethyl aos milhos doce e normal. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 3, n. 1, p. 62-68, 2004.

LEHNEN, L. P. et al. Tissue and cellular localization of acifluorfen-induced porphyrins in cucumber cotyledons. **Pesticide Biochemistry Physiology**, Amsterdam, v. 37, p. 239-248, 1990.

LORENZI, H. **Manual de identificação e controle de plantas daninhas**.7.ed. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2014. 384p.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006. 638 p.

OLIVEIRA JÚNIOR, R. S. de. Mecanismo de ação de herbicidas. In: OLIVEIRA JÚNIOR, R. S. de; CONSTANTIN, J.; INUE, M. H. (Ed.).**Biologia e manejo de plantas daninhas**. Curitiba: Omnipax, 2011. cap. 7, p. 141-192.

OLIVEIRA-SILVA, J. J. et al. Influência de fatores socioeconômicos na contaminação por agrotóxicos, Brasil. **Revista Saúde Pública**, São Paulo, v. 35, n. 2, p. 130-135, 2001.

PAIS, P. S. M. et al. Compactação causada pelo manejo de plantas invasoras em Latossolo Vermelho-Amarelo cultivado com cafeeiros. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, n. 6, p. 1949-1957, 2011.

RODRIGUES, B. N.; ALMEIDA, F. S. **Guia de herbicidas**. 6.ed. Londrina: [s.n.], 2011. 697 p.

RONCHI, C. P. et al. Acúmulo de nutrientes pelo cafeeiro sob interferência de plantas daninhas. **Planta Daninha**, Viçosa,v. 21, n. 2, p. 219-227, 2003.

_____. Manejo de plantas daninhas na cultura do tomateiro. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 28, n. 1, p. 215-228, 2010.

RONCHI, C. P.; SILVA, A. A. Tolerância de mudas de café a herbicidas aplicados em pós-emergência. **Planta Daninha**, Viçosa,v. 21, n. 3, p. 421-426, 2003.

_____. Weed control in young coffee plantations through post emergence herbicide application onto total area. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 22, n. 4, p. 607-615, dez. 2004.

RONCHI, C. P.; TERRA, A. A.; SILVA, A. A. Growth and nutrient concentration in coffee root system under weed species competition. **Planta Daninha**, Viçosa,v. 25, n. 4, p. 679-687, 2007.

SANTOS, L. D. T. et al. Crescimento e concentração de nutrientes na parte aérea de eucalipto sob efeito da deriva do glyphosate. **Cerne**, Lavras, v. 13, n. 4, p. 347-352, 2007.

SILVA, S. O. et al. Diversidade e frequência de plantas daninhas em associações entre cafeeiros e grevíleas. **Coffee Science**, Lavras, v. 1, n. 2, p. 126-134, 2006.

YAMASHITA, O. M. et al. Deriva simulada de herbicidas em mudas de Coffea canephora. **Scientia Agraria Paranaensis,** Marechal Cândido Rondon, v. 12, n. 2, p.148-156, 2013.

APLICATIVO COM PROCESSAMENTO EM TEMPO REAL PARA LEVANTAMENTO TOPOGRÁFICO TESTADO EM ÁREA DE PRODUÇÃO CAFEEIRA

Pedro David Netto Silveira[1], Vinício Fragoso Mendes[2], Jéferson Luiz Ferrari[3]

(Recebido: 06 de julho de 2016; aceito: 17 de novembro de 2016)

RESUMO: O avanço no desenvolvimento de aplicativos para dispositivos móveis como *smartphones* tem possibilitado aos agricultores, criar e armazenar dados e informações sobre suas propriedades e lavouras. Objetivou-se com este trabalho, desenvolver um aplicativo *móbile* com processamento em tempo real para levantamento topográfico que possibilite ao cafeicultor e outros agricultores registrarem a localização geográfica, calcular a área e o perímetro de uma região por ele delimitada no terreno. O aplicativo, denominado por Calc-Geo, foi desenvolvido para a plataforma *Android* e realiza a interface com os receptores GNSS do *smartphone*. A qualidade das informações geradas pelo Calc-Geo foi testada em dois experimentos. No primeiro, o aplicativo foi utilizado para capturar coordenadas geográficas de um marco geodésico no estado do Espírito Santo, a fim de determinar a acurácia posicional dos receptores GNSS. No segundo, o Calc-Geo foi empregado no levantamento topográfico planimétrico de uma área cultivada com café. A área e o perímetro desta lavoura foram comparados com resultados de um levantamento realizado com uma estação total. A análise das discrepâncias mostrou que, em média, houve um desvio posicional de 1,17 m e uma diferença menor que 1% nos valores de área e do perímetro da lavoura. O presente aplicativo é uma alternativa tecnológica atraente, pois o cafeicultor não precisaria adquirir receptores específicos de GPS para coletar dados e depois realizar o processamento dos mesmos. Entre outras funcionalidades, o Calc-Geo permite cadastrar as áreas levantadas, determinar a distância de alinhamentos e enviar os dados levantados por telefonia celular, possibilitando a integração com outras tecnologias.

Termos para indexação: Cafeicultura, geoprocessamento, *smartphone*, tecnologia.

A REAL-TIME PROCESSING APPLICATION FOR TOPOGRAPHICAL SURVEYING TESTED IN COFFEE PRODUCTION AREA

ABSTRACT: *The breakthrough in application development for mobile devices, such as smartphones, has enabled farmers to gather and store data and information about his properties and crops. This work's objective is the development of a mobile application with real-time processing to topographical survey that helps the coffee producer and other farmers register the geographical location and calculate the area and perimeter of a region delimited on the terrain. The application, called Calc-Geo, was developed for the Android platform and interfaces the smartphone's GNSS receivers. The information quality generated by Calc-Geo was tested in two experiments. First, the Calc-Geo was used to capture geographic coordinates of a geodesic landmark in the Espírito Santo state in order to determine the GNSS receivers positional accuracy. Later, the Calc-Geo was employed in the altimetry-plane survey of a coffee crop field. The area and the perimeter of this crop were compared with a total station surveying results. The discrepancies analysis showed that, on average, there is a positional deviation of 1.17 m and a difference smaller than 1% in the crop perimeter and area values. This application is an attractive alternative technology, because the farmer would not need to acquire specific GPS receivers for data collecting and then perform the processing. Among other features, the Calc-Geo allows field registering, determines distance between two geographical points and sends collected data by mobile phone with intent of integration with other technologies.*

Index terms: *Coffee, geoprocessing, smartphone, technology.*

1 INTRODUÇÃO

A captação de dados geográficos em campo vem se tornando uma prática comum na comunidade agrícola como parte do gerenciamento da produção de diversas culturas. A informação geográfica pode ser obtida com a utilização de várias ferramentas, inclusive integradas a um aparelho celular (*mobile*).

Existem vários instrumentos que podem ser utilizados na geração de dados geográficos. Dentre eles têm-se os receptores integrados aos aparelhos *mobile* como os *smartphones*, que trazem consigo um receptor do Sistema de Posicionamento Global (Gps/Gnss). Essas tecnologias estão mudando a forma de levantar os dados geográficos e nos últimos anos, tem-se acompanhado um aumento do número de produtores rurais com o acesso à telefonia móvel e a internet (VIERO; SILVEIRA, 2011).

A cafeicultura possui uma grande importância econômica e social para o Brasil, contudo ainda necessita de aprimoramentos em seu sistema produtivo, principalmente no que diz respeito à determinação da extensão e distribuição das plantas no ambiente de cultivo. Neste sentido, a utilização de geotecnologias apresenta-se como uma alternativa recomendada para a coleta de dados sobre a cafeicultura com o emprego de técnicas de geoprocessamento e sistemas de posicionamento global (MACHADO et al., 2010).

[1,2,3] Instituto Federal do Espírito Santo/IFES - Núcleo de Informática/NE - Rod BR 482, Km 47, s/n, Rive, Alegre - ES - 29.520-000 - pedro.silveira@ifes.edu.br, vinicio0408@gmail.com, ferrarijl@ifes.edu.br

A partir da coleta dos pontos geográficos muitos resultados podem ser obtidos, como determinação de perímetro e área de plantio, geração de croqui para estabelecimento de projetos de adubação e linhas de irrigação e também pode atuar no auxílio da produção do Cadastro Ambiental Rural - CAR (fruto da lei nº 12.651 de 25 de maio de 2012) que visa a normalização do imóvel do produtor rural no que diz respeito ao cadastro de suas áreas de reserva legal, preservação permanente, de plantio, dentre outras (BRASIL, 2012).

O *Smartphone* utilizado nos levantamentos realizados como teste para este trabalho contém uma aplicação *mobile* que foi desenvolvida especificamente para este estudo. Com ela, é possível obter informações planimétricas. Esta aplicação foi nomeada como Calc-Geo, e além da captura de dados geográficos, possui diversas funções como: cálculo de distância entre dois pontos geográficos, cálculo de área, cálculo de perímetro, geração de croqui de área de plantio, exportação de arquivo para integração com a ferramenta *Google Earth*, dentre outras. O Calc-Geo foi desenvolvido com o objetivo de permitir que uma pessoa leiga, sem experiência com cálculos geográficos possa por meio de um *smartphone* comum, coletar dados e obter resultados.

Segundo Marion e Segatti (2006), ferramentas gerenciais, são importantes para a competitividade do negócio, pois destacam indicadores de desempenho e cálculo de custos, garantindo a sustentabilidade de empreendimentos rurais, os quais são de vital importância ao conglomerado agroindustrial do país. Neste contexto, os dispositivos móveis computacionais podem fornecer aos produtores rurais uma melhoria no poder do gerenciamento de sua lavoura, impactando na produtividade e na redução de custos.

Segundo Stabile e Balastreire (2006), o uso de GPS na agricultura possibilita uma abordagem localizada dos problemas dentro da propriedade rural, contudo alto custo de aquisição e uso dessas ferramentas tem detido um pleno avanço da agricultura de precisão no Brasil. Então, se o produtor lograsse acesso a uma ferramenta popular que o auxiliasse no gerenciamento de suas lavouras, de forma a lhe fornecer informações topográficas vitais ao desenvolvimento da mesma, poderia aplicar na própria produção agrícola o valor do custo que teria com as atividades de topografia. Dessa forma justifica-se o desenvolvimento do ferramental tecnológico demonstrado neste trabalho.

O principal objetivo deste trabalho é desenvolver ferramentas que auxiliem o produtor rural nas atividades de campo, incluindo (i) um site web para manipulação de dados geográficos e geração de informações e relatórios e (ii) um aplicativo *mobile* com processamento em tempo real para levantamento topográfico, que com um *smartphone* possibilite ao agricultor registrar a localização geográfica e calcular a área e o perímetro de uma região por ele delimitada no terreno. Além disso, é objetivo também verificar a precisão do sistema para recomendações administrativas em área de produção cafeeira.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O aplicativo Calc-Geo foi desenvolvido especificamente para este estudo, em cima da plataforma *Android Studio* para funcionar em aparelhos com o sistema operacional *Android*. Nesse sistema operacional, a aplicação pode obter atualizações periódicas do dispositivo GPS, bem como o lançamento de alertas quando o dispositivo entra na proximidade de uma localização predefinida (SINGHAL; SHUKLA, 2012).

A qualidade das informações geradas pelo Calc-Geo foi testada em condições de campo por meio de dois experimentos. As localidades selecionadas para coleta estavam livres de interferências provocadas por árvores e construções e as condições climáticas estavam favoráveis, com poucas nuvens.

A primeira etapa foi realizada a partir de um marco geodésico oficial, que integra a Rede Geodésica do Estado do Espírito Santo, Brasil, a saber: SAT 93.726 (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE, 2005). Deve-se ressaltar que a coordenada deste marco foi determinada, a partir do sistema geodésico de referência World Geodetic System 1984 (WGS 84).

No relatório do marco geodésico SAT 93.726, disponibilizado pelo IBGE, observa-se que a coordenada geográfica, obtida em SAD69, possui valor -20º45’49,8514’’ (lat.), -41º27’23,0763’’ (long.). Convertendo essa coordenada decimal para coordenada UTM e configuração do datum (WGS 84) obtêm-se o valor 244208,90091729 (E), 7701988,42837 (N) que foi utilizado para calcular as diferenças posicionais na discussão e resultados.

A partir do Calc-Geo, foram capturadas coordenadas em cima do marco geodésico, para determinar a acurácia posicional do receptor presente no dispositivo utilizado. O sistema *mobile* utilizado para a captura dos dados estava instalado em um *Smartphone* da marca Motorola, modelo Moto G (2ª Geração). O receptor presente no *Smartphone* possui dois sistemas de navegação por satélite (GNSS): O GPS e o GLONASS. Conforme Paz, Ferreira e Cugnasca (1998) o posicionamento em três dimensões (latitude, longitude e altitude) exige que ao menos quatro satélites estejam acima do horizonte, e a acurácia depende do número de satélites e de suas posições.

Foram obtidas 10 coordenadas (latitude e longitude) sobre o marco do IGBE. Após a coleta, mantidas as mesmas configurações de *datum* (WGS 84), as coordenadas decimais foram convertidas para *Universal Transversa de Mercator* (UTM). A primeira etapa do levantamento ocorreu no dia 13 de maio de 2016, entre 09 h e 00 min e 09 h e 30 min.

Os dados obtidos e armazenados pelo Calc-Geo foram analisados estatisticamente, visando a verificação dos desvios de posições das coordenadas do receptor, em relação às coordenadas fornecidas pelo IBGE, sobre cada um dos dois marcos.

As acurácias horizontais de cada posicionamento foram estimadas por parâmetros estatísticos sugeridos por Congalton e Green (2009) com auxílio de planilha eletrônica (excel). Foram analisados o erro de posicionamento (diferença posicional), a média, os desvios-padrão e as amplitudes dos erros de posicionamento. Foram também analisadas a precisão e a acurácia das distâncias lineares, do perímetro e da área, calculadas pelo Cal-Geo, decorrentes do levantamento realizado na segunda etapa do trabalho de campo.

A segunda etapa ocorreu no dia 06 de maio de 2016, entre 09h e 30min. e 11h e 10min., em uma área de plantio cafeeira, no Instituto Federal do Espírito Santo - *Campus* de Alegre. Após a coleta, para averiguação das informações obtidas, que neste caso foram área, perímetro e croqui da lavoura, dados foram tomados a partir de uma estação total.

Estação total é um aparelho utilizado na determinação de distâncias e ângulos. Ela inclui um teodolito eletrônico, distanciômetro e microcomputador. De acordo a NBR 13.133 de 1994 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 1994), a estação total utilizada, enquadra-se na classe de precisão alta, ± (3 mm + 2 partes por milhão + distância em km). A estação total utilizada no segundo levantamento como referência foi da marca FOIF, modelo OTS8565, escolhida devido a sua precisão que pode chegar a milímetros.

Para a coleta dos dados foram selecionados e demarcados 10 pontos amostrais, materializados na área. Para que os pontos fossem reconhecidos, foram utilizadas estacas de madeira fixadas ao solo, com seu centro identificado por pregos.

Inicialmente, com o auxílio do sistema Calc-Geo, foram realizadas três coletas das coordenadas dos pontos demarcados, tomando os pontos sequencialmente. A partir das coordenadas de cada coleta, o Calc-Geo possibilitou gerar as distâncias lineares, o perímetro e a área do local.

Posteriormente foi realizada a coleta de dados a partir da estação total, por meio do método de radiação, para então comparar com os dados obtidos com o Calc-Geo. A estação total possibilitou obter o distanciamento dos pontos demarcados a partir de cálculos com os ângulos horizontais entre as marcas e uma origem (0º) definida inicialmente.

Os dados coletados pela estação total foram inseridos em um sistema de Desenho Assistido por Computador (CAD) sem alteração. Nesta segunda etapa, foram analisadas as diferenças de distância lineares, área e perímetro, a partir de dados coletados e armazenados pelo Calc-Geo, em relação às mesmas informações que a Estação Total apresentou com a ajuda do sistema CAD utilizado.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Como primeiro e principal resultado deste trabalho será apresentado o aplicativo Calc-Geo. Na Figura 1 é mostrada a interface gráfica do aplicativo Calc-Geo da tela na qual o usuário pode coletar e visualizar coordenadas geográficas aleatórias.

O primeiro passo para obtenção das informações, normalmente é o cadastro da área a ser analisada. Na Figura 2 observa-se a tela para esse fim. Nela o usuário deverá informar obrigatoriamente um nome para a área e opcionalmente os demais campos.

Após a confirmação do cadastro, é possível realizar várias ações na localidade cadastrada (Figura 3-A) dentre as quais, inserir uma nova coordenada que seria o segundo passo. Após obter uma coordenada é possível salvá-la e obter outra coordenada em um próximo ponto sem sair da tela (Figura 3-B). Após a obtenção de todas as coordenadas, podem ser geradas as informações gerenciais, como a área da localidade (Figura 3-C).

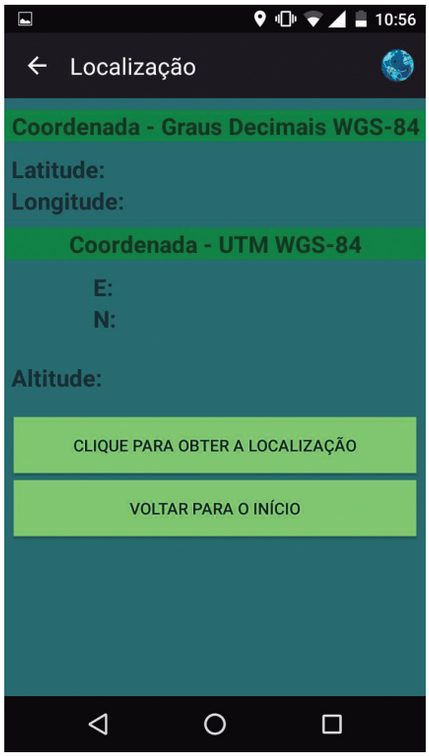


FIGURA 1 - Tela de visualização de coordenadas geográficas. Aplicativo Calc-Geo.

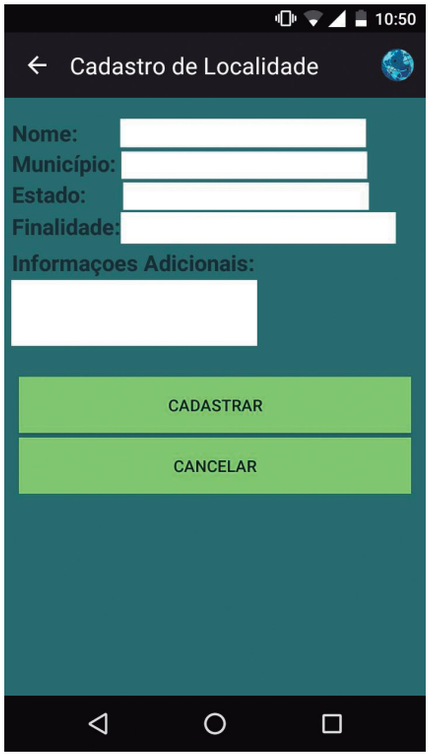


FIGURA 2 - Tela de cadastro de área. Aplicativo Calc-Geo.

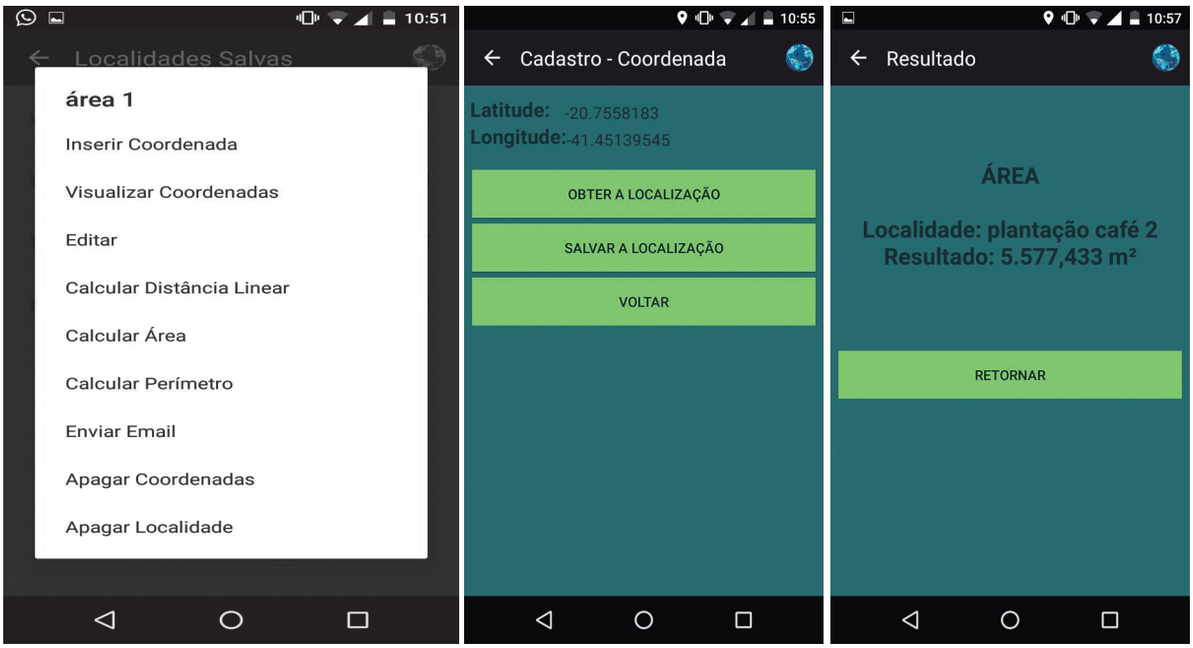


FIGURA 3 - Telas de: A) opções de ações sobre localidades, B) cadastro de coordenada e C) Geração de área da localidade. Aplicativo Calc-Geo.

A seguir serão apresentados os dados obtidos para a elaboração deste estudo, que são fundamentais para a análise e conclusão sobre as recomendações que serão bases para o gerenciamento de áreas de plantio a partir de dispositivos móveis. A fórmula de obtenção dos dados da tabela é a mesma fornecida pela geometria analítica básica para cálculo de distância entre dois pontos no plano cartesiano, e se dá por:

Diferença Posicional = $\sqrt[2]{(RE - CE)^2 + (RN - CN)^2}$

Onde: RE = Valor de referência da coordenada Leste (marco geodésico SAT 93.726);

CE = Valor da coordenada Leste capturado pelo aplicativo Calc-Geo;

RN e CN = Mesmas representações que RE e CE, mas para coordenada Norte

Os valores da Tabela 1 vão servir de base para a primeira etapa da discussão, na qual serão analisados apenas os desvios de posição dos pontos capturados no Calc-Geo em relação ao marco do IBGE, assumido como a verdade. Para exemplificar a obtenção do desvio, a coleta 1, com o valor 1,25 m, foi obtido da seguinte forma:

Diferença Posicional =

$$\sqrt[2]{(244208{,}9009 - 244207{,}8551)^2 + (7701988{,}4283 - 7701987{,}7482)^2}$$

Diferença Posicional = 1,247449819845348 m

Na Figura 4, é apresentada a dispersão dos desvios de posições das coordenadas obtidas pelo sistema Calc-Geo, em relação às coordenadas geográficas do marco SAT 93.726. Neste caso pode-se observar uma dispersão em um raio de 1,83 m.

Os valores de perímetro e área, resultante das coletas realizadas pelo dispositivo móvel e pela estação total estão apresentados nas Tabelas 2 e 3 respectivamente. Esses valores vão servir de base para a segunda etapa da discussão, na qual será analisada a diferença entre os valores de área/perímetro calculados pelo Calc-Geo em confronto aos valores obtidos pela Estação Total em conjunto com a ferramenta CAD, tomados como a verdade.

Os dados de perímetro e área apresentados na Tabela 2 foram obtidos por meio de cálculos que o sistema Calc-Geo realizou e disponibilizou para o usuário. Na Tabela 3, foi necessária a utilização de um sistema CAD para obter os valores apresentados, isto por que os dados descarregados a partir da estação total são brutos (ângulos e distâncias) e precisam de um tratamento para transformá-los em informação (como área e perímetro).

A partir dos dados capturados em todas as tomadas na segunda etapa, foi possível obter as distâncias entre os pontos demarcados ao redor da área de cultivo. Na Tabela 4 são apresentadas as distâncias entre estes pontos nas três coletas realizadas pelo dispositivo móvel.

TABELA 1 - Desvios de posição. Sistema Mobile x Estação Geodésica SAT 93.726.

Coleta	Desvio Posicional (m)
1	1,25
2	0,58
3	1,82
4	1,24
5	1,83
6	1,37
7	0,46
8	0,90
9	0,61
10	1,66
Média	1,17
Desvio Padrão	0,515
Amplitude Total	1,37

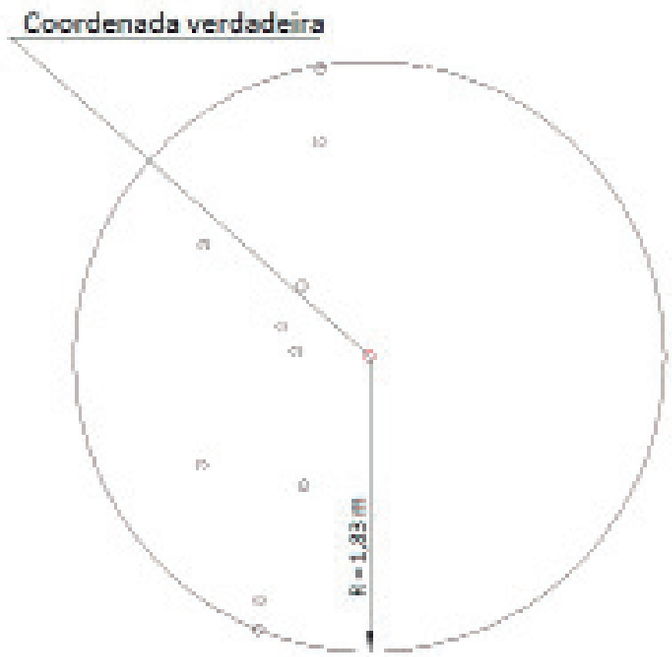


FIGURA 4 - Dispersão posicional. Sistema *Mobile* x estação geodésica SAT 93.726.

TABELA 2 - Valores de perímetro e área calculados pelo Calc-Geo na segunda etapa

Coleta	Perímetro (m)	Área (m²)
1	353,702	5.624,720
2	351,874	5.626,137
3	352,577	5.593,448
Média	352,718	5.614,768
Desvio Padrão	0,922082607	18,47753859
Amplitude Total	1,83	32,69

TABELA 3 - Valor de perímetro e área, calculados com os dados da estação total na segunda etapa

Coleta	Perímetro (m)	Área (m²)
Estação Total	354,113	5.648,345

TABELA 4 - Distâncias lineares calculadas pelo Calc-Geo na segunda etapa

Ponto	D.L. 1 (m)	D.L. 2 (m)	D.L. 3 (m)	Média	D.P.	A.T.
1	25,549	36,762	30,376	30,896	5,625	11,213
2	41,398	41,594	43,101	42,031	0,932	1,703
3	40,313	38,97	38,955	39,413	0,780	1,358
4	45,475	44,734	43,308	44,506	1,101	2,167
5	44,934	45,467	46,618	45,673	0,861	1,684
6	34,776	33,696	35,947	34,806	1,126	2,251
7	24,117	23,381	23,529	23,676	0,389	0,736
8	21,344	23,129	19,713	21,395	1,709	3,416
9	42,583	42,173	46,008	43,588	2,106	3,835
10	33,214	21,967	25,022	26,734	5,816	11,247

DL: Desvio Linear; DP: Desvio Padrão; AT: Amplitude Total.

Na Tabela 5 são apresentados os mesmos dados da Tabela 4, porém obtidos a partir da estação total. Para as Tabelas 4 e 5, os valores observados foram calculados a partir da mesma fórmula utilizada na obtenção dos valores da Tabela 1. Neste caso, a comparação mais relevante está entre a coluna "Média" da Tabela 4 e "Desvio Posicional" da Tabela 5.

Na Tabela 6, observa-se a diferença entre os desvios lineares apresentados na Tabela 4 e na Tabela 5. Nota-se um maior desvio no primeiro e último ponto. Atribui-se a essa diferença a calibração do alinhamento entre o satélite e o receptor GNS do aparelho.

Na Figura 5 (A) e (B) respectivamente, são apresentados os croquis gerados pelo sistema Calc-Geo e pelo sistema CAD. A Figura 5 (C) possibilita uma comparação da diferença visual disponibilizada pelos dois meios (sistema *web* e estação total).

Com os dados apresentados na Tabela 1 e sua dispersão vista na Figura 4, é possível visualizar as diferenças posicionais em relação ao marco geodésico (ponto tomado como posição correta). Os dados analisados mostram que há um desvio, em média de 1,17 m. A menor diferença encontrada foi de 0,46 m e a maior de 1,83 m.

A precisão estipulada, para fins de georreferenciamento posicional fica a cargo do Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA), de acordo com a lei 10.267 de 28/08/2001, da Presidência da República.

TABELA 5 - Distâncias lineares calculadas com os dados da estação total.

Alinhamento	Desvio Posicional (m)
1	30,206
2	42,724
3	41,666
4	45,481
5	43,391
6	34,429
7	23,079
8	22,653
9	44,978
10	25,506

TABELA 6 - Desvios lineares em relação à estação total e o dispositivo *mobile*

Ponto	Desvio Linear. 1 (m)	Desvio Linear. 2 (m)	Desvio Linear. 3 (m)	Média
1	-4,657	6,556	0,170	0,690
2	-1,326	-1,130	0,377	-0,693
3	-1,353	-2,696	-2,711	-2,253
4	-0,006	-0,747	-2,173	-0,975
5	1,543	2,076	3,227	2,282
6	0,347	-0,733	1,518	0,377
7	1,038	0,302	0,450	0,597
8	-1,309	0,476	-2,940	-1,258
9	-2,395	-2,805	1,030	-1,390
10	7,708	-3,539	-0,484	1,228

O INCRA possui uma normatização, quanto ao georreferenciamento de imóveis rurais, determinando que o valor da precisão posicional seja de 0,5 m para limites artificiais como estradas, muros, cercas, entre outros (INSTITUTO NACIONAL DE COLONIZAÇÃO E REFORMA AGRÁRIA - INCRA, 2013). Já no que diz respeito à agricultura de precisão, é necessário que esse tenha um desvio posicional de no máximo dois (2) m, o que é suficiente para a maioria das aplicações (STABILE; BALASTREIRE, 2006).

Considerando os dados coletados na primeira etapa, o maior erro observado foi de 1,83 m, o que garante afirmar que a diferença posicional percebida está dentro do permitido para aplicações geográficas em uma da área de cultivo de agricultura de precisão.

Na segunda etapa, analisando as Tabelas 2 e 3, verifica-se que em termos planimétricos, os valores de perímetro e área apresentam, respectivamente, uma diferença de 1,4 m e 33,6 m² em média na comparação entre os valores obtidos pelo Calc-Geo e os valores obtidos pela estação total (aqui tomados como a verdade). Esses valores representam aproximadamente 0,59% da área total e 0,4% do perímetro. Em ambos os casos, uma diferença menor que 1% em relação a área total.

Matiello et al. (2002), definem para a cultura do café, espaçamentos de plantio adequados, apresentando sistemas de densidade de plantio. Considerando as densidades, verifica-se que uma média de 5 m² por planta aproximadamente, seria o suficiente.

Analisando a média da diferença de área encontrada na segunda etapa, de 33,6 m², nota-se

que a partir desta diferença, uma localidade com o mesmo tamanho da área apresentada preparada para o plantio teria, em média, um erro de sete plantas de café. Diante de um total de 1130 plantas na área observada, o erro constatado representa um valor de 0,6%, novamente um erro inferior a 1%.

Na Tabela 6 observa-se que as coletas efetuadas com o sistema *mobile*, têm diferença em torno de 2 m em relação ao valor real, coletado pela estação total, deixando à vista que as coletas efetuadas podem ser úteis para obtenção de pontos geográficos na determinação de distanciamentos lineares.

O aplicativo foi desenvolvido seguindo padrões de usabilidade que resultam em uma interação simples entre usuário e aplicação. O uso desses padrões visa principalmente favorecer a intuitividade, a fim de facilitar a compreensão e operação do aplicativo.

Também existe uma versão do Calc-Geo na plataforma web, isto é, um *website*. Esta versão foi desenvolvida na linguagem de programação PHP e não captura os dados como no da plataforma *mobile*, porém apresenta as mesmas funcionalidades caso os pontos sejam inseridos manualmente ou que o sistema *mobile* tenha seus dados sincronizados com o *website* por meio de função interna.

O desenvolvimento do sistema *mobile* Calc-Geo, objetivou o auxílio a agricultores, em variados locais de plantios, na determinação de suas áreas, distâncias lineares ou nas tarefas que envolvam o gerenciamento, aplicado com suas áreas.

Uma dessas tarefas exemplifica-se no caso de um produtor, que decida usar a área de lavoura de sua propriedade para a irrigação e/ou fertilização, e precisa determinar o tamanho desta área, para que possa adquirir a quantidade de material (como jogos de canos e aspersores) necessário para a irrigação/adubação ou até mesmo para determinar a quantidade de plantas que deveria comprar.

Neste caso a utilização do sistema Calc-Geo, como ferramenta de georreferenciamento, demonstrou-se viável. Isso pode ser afirmado tomando como base no caso contrário a contratação de um topógrafo, que demandaria custos extras à produção.

Conquanto, tarefas que exijam uma confiança maior, como determinação do tamanho de uma área para venda, a utilização do Calc-Geo ou outros sistemas para *smartphones* que recebam dados por meio de receptores GNSS, não são aconselháveis.

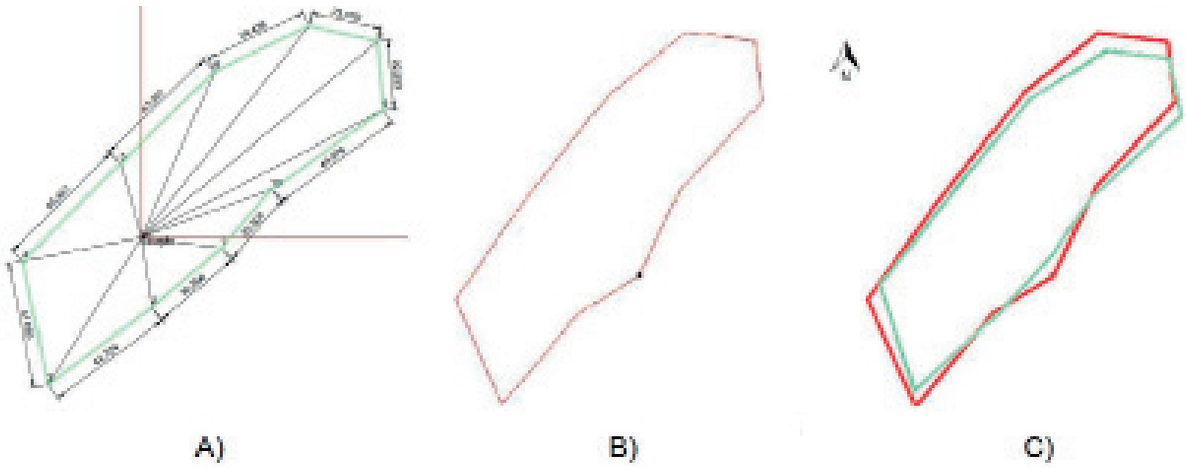


FIGURA 5 - (A) Croqui gerado pela ferramenta CAD a partir dos dados obtidos pela estação total. (B) Croqui gerado pelo módulo *web* do sistema Calc-Geo, a partir dos dados capturados na primeira coleta da segunda etapa da pesquisa. (C) Croquis sobrepostos

4 CONCLUSÕES

O sistema Calc-Geo mostra-se como uma ferramenta tecnológica atraente de auxílio aos agricultores nas atividades ligadas a gestão agrícola. Com ele, o homem do campo não tem a necessidade de adquirir um receptor específico de GPS para coletar dados, e nem de uma ferramenta topográfica específica e posterior descarregamento de dados em um computador para fazer o processamento dos mesmos. Com a ferramenta apresentada aqui, é possível administrar e tomar decisões acerca de lavouras no próprio local e com custeio barato e popular, pois *smartphones* hoje são tecnologias populares.

Os testes em áreas cafeeiras para verificação da exatidão do aplicativo mostraram que a utilização dele pode proporcionar ao cafeicultor um erro inferior a 1% na definição da quantidade de pés de café que ele deve adquirir/comprar para uma determinada área de plantio. Além disso, pode auxiliá-lo a determinar as linhas de irrigação e plantio por meio da geração do relatório com croqui da área utilizada para o cultivo.

O aplicativo Calc-Geo está à disposição para *download* no site de controle de versão de *softwares GitHub*. Em breve também estará disponível na loja virtual oficial de aplicativos da *Google Play Store*, para que qualquer produtor rural que tenha um *smartphone* com *Android* possa fazer a instalação e utilizá-lo de forma gratuita.

5 REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Norma NBR 13.133:** execução de levantamento topográfico. Rio de Janeiro, 1994.

BRASIL. **Lei nº 12.651**, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nºs 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nºs 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória nº 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. Brasília, DF, 2012. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm>. Acesso em: 20 abr. 2016.

CONGALTON, R. G.; GREEN, K. **Assessing the accuracy of remotely sensed data:** principles and practices. 2nd ed. New York: Lewis, 2009. 183 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Relatório de Estação Geodésica SAT 93.726**. Rio de Janeiro, 2005. Disponível em: <http://www.bdg.ibge.gov.br/bdg/pdf/relatorio.asp?L1=93726>. Acesso em: 20 abr. 2016.

INSTITUTO NACIONAL DE COLONIZAÇÃO E REFORMA AGRÁRIA. **Norma técnica para georreferenciamento de imóveis rurais**. Brasília, DF: Ministério do Desenvolvimento Agrário, 2013. Disponível em: <http://www.incra.gov.br/media/institucional/norma%20tecnica%20para%20georreferenciamento%20de%20imoveis%20rurais%203%20edi%C3%A7ao.pdf>. Acesso em: 30 maio 2016.

MACHADO, M. L. et al. Mapeamento de áreas cafeeiras (*Coffea arabica* L.) da zona da mata mineira usando sensoriamento remoto. **Coffee Science**, Lavras, v. 5, n. 2, p. 113-122, maio/ago. 2010.

MARION, J. C.; SEGATTI, S. Sistema de gestão de custos nas pequenas propriedades leiteiras. **Custos e @gronegócio**, Recife, v. 2, n. 2, p. 2-7, jul./dez. 2006.

MATIELLO, J. B. et al. **Cultura de café no Brasil:** novo manual de recomendações. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento; Varginha: Fundação PROCAFÉ, 2002. 387 p.

PAZ, S. M.; FERREIRA, W.; CUGNASCA, C. E. Sistema de posicionamento global (GPS) e o turismo. **Turismo em Análise**, São Paulo, v. 9, n. 2, p. 24-46, nov. 1998.

SINGHAL, M.; SHUKLA, A. Implementation of location based services in android using GPS and web services. **International Journal of Computer Science Issues**, Mahebourg, v. 9, n. 2, p. 237-242, Jan. 2012.

STABILE, M. C. C.; BALASTREIRE, L. A. Comparação de três receptores GPS para uso em agricultura de precisão. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 26, n. 1, p. 215-223, abr. 2006.

VIERO, V. C.; SILVEIRA, A. C. M. Apropriação de tecnologias de informação e comunicação no meio rural brasileiro. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, Brasília, v. 28, n. 1, p. 257-277, jan./abr. 2011.

TIPOS DE PLANTIO E FERTILIZANTE BIOLÓGICO NO CAFEEIRO EM FUNÇÃO DO ÍNDICE TÉRMICO

Lucas Eduardo de Oliveira Aparecido[1], Ivan Tomé de Souza[2], Gustavo Rabelo Botrel Miranda[3], José Reinaldo da Silva Cabral de Moraes[4], Adriana Ferreira de Moraes-Oliveira[5], Francisco Vitor de Paula[6]

(Recebido: 14 de julho de 2016; aceito: 23 de janeiro de 2017)

RESUMO: A fase de implantação do cafeeiro consiste em uma das etapas mais importantes da cultura. Vale ressaltar, que os diferentes sistemas de implantação proporcionam condições distintas de desenvolvimento das culturas. Além disso, visando um bom desenvolvimento inicial do cafeeiro, os produtores têm aplicado em lavouras recém-transplantadas adubos biológicos, que têm como vantagem a melhora da biota do solo, além da redução de custos com a aquisição de fertilizantes minerais. Poucas pesquisas têm testado de forma conjunta a eficiência dos diferentes sistemas de implantação e a adubação biológica no cafeeiro. Assim, objetivou-se testar a eficácia de diferentes tipos de plantio e do fertilizante biológico no crescimento inicial do cafeeiro arábica, cultivar Catucaí, em função do índice térmico. O experimento foi desenvolvido no Sul de Minas Gerais, Brasil. O delineamento experimental foi em blocos casualizados, em esquema fatorial 3 x 2 com 4 repetições, num total de 6 tratamentos. Foram utilizados: a) três sistemas de implantação (plantio convencional, o plantio direto na cova e cultivo mínimo); e b) duas doses do adubo biológico (presença e ausência). Foram avaliados os parâmetros de crescimento e a primeira safra do cafeeiro. As avaliações foram realizadas em função dos graus dias contabilizados a partir da data de plantio. Os resultados foram submetidos à análise de variância e as médias agrupadas pelo teste de Scott-Knott. As plantas de café implantadas no sistema de plantio "em covas" evidenciaram os melhores resultados, tanto nos parâmetros vegetativos como na produtividade. A utilização da adubação biológica no cafeeiro arábica recém-transplantado não promoveu melhorias no crescimento vegetativo e primeira produção do cafeeiro.

Termos para indexação: *Coffea arabica* L., biofertilizante, plantio "em covas", graus dias.

TYPES OF PLANTING AND FERTILIZER ORGANIC COFFEE IN FUNCTION OF THE INDEX THERMAL

ABSTRACT: *The implantation phase of coffee is one of the most important stages of the crop. It is worth mentioning that the different implantation systems provide different conditions for the development of crops. In addition, in order to achieve a good initial development of the coffee, the producers have applied in newly transplanted crops organic fertilizers, which has the advantage of improving soil biota, as well as reducing costs with the acquisition of mineral fertilizers. Few researches have jointly tested the efficiency of the different systems of implantation and the biological fertilization in the coffee tree. The objective of this study was to test the efficacy of different types of planting and of the biological fertilizer on the initial growth of arabica coffee, as a function of the thermal index. The experiment was developed in southern Minas Gerais, Brazil. The experimental design was in randomized blocks, in a 3 x 2 factorial scheme with 4 replicates, in a total of 6 treatments. The following were used: a) three systems of implantation (conventional planting, no-tillage in the pit and minimum cultivation); and b) two doses of the biological fertilizer (presence and absence). The growth parameters and the first coffee crop were evaluated. The evaluations were carried out according to the degree days counted from the date of planting. The results were submitted to analysis of variance. The means were grouped by the Scott-Knott method. The coffee plants implanted in the planting system "in pits" showed the best results, both in vegetative parameters and in productivity. The use of the biological fertilization in the newly transplanted arabica coffee tree did not promote improvements in the vegetative growth and first coffee production.*

Index terms**:** *Coffea arabica L., fertilizer, No-Tillage, degree days.*

1 INTRODUÇÃO

O cafeeiro é uma planta perene, pertencente à família Rubiaceae e ao gênero Coffea, sendo as espécies Coffea arabica e Coffea canephora comumente cultivadas para a produção comercial (CUBRY et al., 2013), representando 74,92% e 25,08% da produção mundial, respectivamente (Companhia Nacional de Abastecimento - CONAB, 2016). O Estado de Minas Gerais apresenta a maior área com 1.245.710 mil hectares,

[1,4]Universidade Estadual Paulista - Departamento de Ciências Exatas - Via de Acesso Prof. Paulo Donato Castellane, s/n, 14884-900 - Jaboticabal - SP - lucas-aparecido@outlook.com, reinaldo.moraes@hotmail.com
[2,3,6]Instituto Federal do Sul de Minas - Campus Muzambinho - Setor de Cafeicultura Estrada de Muzambinho, Km 35 - Bairro Morro Preto - Cx. Postal 02 - 37890-000 - Muzambinho - MG - gustavo.miranda@muz.ifsuldeminas.edu.br, ivan.tome@hotmail.com, francisco.paula@muz.ifsuldeminas.edu.br
[5]Universidade Estadual Paulista - Departamento de Economia Rural - Via de Acesso Prof. Paulo Donato Castellane, s/n, 14884-900 - Jaboticabal - SP - adriana_fmoraes@hotmail.com

predominando a espécie arábica com 98,89%, sendo que área total estadual representa 53,89% da área cultivada com café no país (BARBOSA et al., 2012). O café produzido no Estado de Minas Gerais apresenta uma bebida de alta qualidade, uma vez que os cafés produzidos em locais acima de 900 metros têm o ciclo produtivo mais lento, promovendo a boa formação dos grãos, o que permite produções de alta qualidade (BARDIN-CAMPAROTTO; CAMARGO; MORAES, 2012).

A fase de implantação consiste em uma das etapas mais importantes de uma cultura perene como o cafeeiro (CARVALHO et al., 2006). A escolha correta do sistema de implantação pode interferir no desenvolvimento inicial da cultura e em suas produções futuras (MARCHI et al., 2015; VALE; CARVALHO; PAIVA, 2006). O produtor tem a opção de implantar a cultura pelo sistema de implantação convencional, pelo sistema de cultivo mínimo e também pelo sistema de plantio direto, embora o termo "plantio em covas" seja mais apropriado para o cafeeiro.

No sistema de plantio convencional o solo é prontamente revolvido, promovendo alteração na agregação das partículas, principalmente das argilas, que retém a maior parte dos nutrientes necessários às plantas (LLANILLO et al., 2006). Com o processo de inversão das leivas, enterra-se a cobertura vegetal, deixando a superfície do solo totalmente exposta a intempéries, o que consequentemente promoverá uma maior evaporação da água armazenada no solo, além de um maior arraste das partículas pela ação da chuva e do vento (SILVA et al., 2015). Vale ainda ressaltar, que os plantios em sistema convencional é o que mais promove o revolvimento do solo (MENDES et al., 2003; SILVA et al., 2015), sendo que, nos plantios de lavouras cafeeiras o sistema ainda é o mais empregado (FERRAREZI et al., 2015).

O cultivo mínimo é um sistema de plantio considerado intermediário entre os sistemas de cultivo convencional e o plantio direto ou "em covas" (MEDEIROS et al., 2016). A mecanização adotada neste sistema procura agregar operações em um único equipamento, no caso um subsolador, visando minimizar a utilização de máquinas e reduzir sensivelmente o custo com as operações mecanizadas. Os produtores acreditam que este sistema promove a melhoria da estrutura do solo (MORAES et al., 2016).

No sistema de plantio direto não é realizado o preparo prévio do solo na área de cultivo, o plantio é realizado sobre a palha deixada pelas culturas anteriores e pelas plantas daninhas (PIRES et al., 2015). Neste sistema não são realizadas as operações de aração, gradagens e outros métodos convencionais de preparo do solo, sendo as plantas daninhas controladas por meio de herbicidas (MARTINS; GONÇALVES; SILVA JUNIOR, 2016). Este conceito de plantio direto para o cafeeiro se distingue do "plantio em covas" e tem como principais vantagens o acréscimo de matéria orgânica, a melhoria da estruturação do solo e estabilização da microbiologia do solo na área.

Além do sistema de plantio, os biofertilizantes também contribuem para a melhoria das condições físicas do solo, principalmente a estrutura e textura, além de promover a produção de substâncias húmicas que exercem expressiva importância na fertilidade do solo (SOUSA et al., 2014). A adubação biológica com biofertilizantes é utilizada na agricultura brasileira em diferentes culturas, como hortaliças, ervas aromáticas, flores, cana de açúcar, feijão, soja, milho, banana e goiaba (QUEIROZ et al., 2004). No entanto, estudos sobre a utilização de biofertilizantes em culturas perenes, como o cafeeiro, ainda é incipiente.

As combinações corretas entre os tipos de plantio e o biofertilizante podem promover uma notável melhoria, tanto nas condições físicas como na fertilidade do solo. Com essas melhorias, os cafeeiros conseguem originar um maior crescimento do sistema radicular (SOUSA et al., 2014), obtendo uma maior tolerância às condições de estresse hídrico (APARECIDO et al., 2017). Além do que, com um sistema radicular mais desenvolvido, há um maior crescimento vegetativo dos ramos plagiotropicos dos cafeeiros, que por sua vez promovem uma elevação da produção de grãos por planta (APARECIDO; ROLIM; SOUZA, 2015). Vale ainda ressaltar, que os biofertilizantes são muito mais econômicos do que os fertilizantes químicos (FREITAS et al., 2015).

Uma das maneiras de comparar resultados de experimentos em condições climáticas distintas com eficiência é com a utilização do índice térmico nas avaliações. O índice térmico ou graus dias (GD), que é a medida de avaliação da quantidade de calor que se acumula acima de uma temperatura de base especificada durante um período de 24 horas (MATHUKUMALLI et al., 2016), é uma valiosa ferramenta para a previsão da taxa de crescimento de diversos cultivos agrícolas (YIN et al., 2016). As variações de temperatura dentro do intervalo de limites superiores e inferiores têm

um efeito significativo sobre a taxa de crescimento das plantas (PIRES et al., 2016), mas para efetuar comparações das taxas de crescimento dos cultivos entre locais com condições térmicas distintas há necessidade de empregar a análise de GD (APARECIDO; ROLIM; SOUZA, 2014).

Assim, objetivou-se por meio deste trabalho analisar a influência dos diferentes tipos de plantio e do fertilizante biológico no crescimento inicial e na produção do cafeeiro arábica cultivar Catucaí, em função do índice térmico.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi desenvolvido no Sul de Minas Gerais, município de Muzambinho, (latitude: 21° 22' 33'' sul, longitude: 46° 31' 32'' oeste e altitude: 1050 m). A classificação climática predominante na região segundo Thornthwaite (1948) é $B_4rB'_2a$ (clima úmido com pequena deficiência hídrica), clima esse considerado apto ao cultivo do cafeeiro (MARTINS et al., 2015).

As dimensões da área experimental foram de 25 metros de largura e 80 metros de comprimento, com uma declividade de 15%, sendo o solo classificado como latossolo vermelho distrófico (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA, 2006). A cultivar utilizada foi o Catucaí 2-SL implantado no dia 17 de dezembro de 2011, quando as plantas apresentavam de 5 a 6 pares de folhas verdadeiras.

O delineamento experimental foi em blocos casualizados, em esquema fatorial 3 x 2 com 4 repetições, num total de 6 tratamentos. Foram utilizados: a) três tipos de plantio no primeiro fator, sendo o plantio convencional, o plantio "em cova" e cultivo mínimo em sulco; e b) duas doses do adubo biológico (presença e ausência). Utilizaram-se plantas de *Coffea arabica* L., cultivar "Catucaí 2-SL", em um espaçamento de 3,0 m entre fileiras e 1,0 m entre plantas, sendo cultivadas sem irrigação. As parcelas foram constituídas de três linhas com nove plantas cada, perfazendo um total de 27 plantas por parcela, sendo 22 plantas de bordadura e cinco plantas de parcela útil, totalizando 648 plantas.

A avaliação do crescimento das plantas foi realizada no período de 22 de dezembro de 2011 a 15 de dezembro 2013, totalizando nove avaliações em dois anos. Foram mensurados: a altura de plantas (cm); o diâmetro do caule (mm) através de paquímetro digital precisão de 0,1 mm; o número de ramos plagiotrópicos por planta; o diâmetro da copa: medido na maior inserção da copa, (cm); e a produtividade, que foi quantificada em sacas ha^{-1} na primeira safra.

O plantio convencional foi constituído pelos processos de aração, gradagem e sulcagem para, posteriormente, ser realizada a etapa de transplantio. Por sua vez, o cultivo mínimo foi constituído pela abertura de um sulco utilizando subsolador e sulcador, para depois ser realizado o transplantio. No método do plantio "em covas" foram abertas covas nas dimensões de 30x30x30 cm utilizando uma broca acoplada ao trator.

O adubo biológico microgeo® foi preparado conforme a recomendação do fabricante, adicionando à solução 5% de microgeo®, 15% de esterco bovino fresco e completado a solução com água. A aplicação foi realizada na cova e sulco de plantio em quantidade de calda equivalente a 300 L ha^{-1} com mais duas aplicações via foliar no ano de plantio. Nos outros anos foi aplicado o adubo biológico via foliar três vezes por ano agrícola na época de adubação do cafeeiro.

Foram utilizados dados diários de temperatura máxima e mínima do ar (ºC) e a precipitação (mm) mensurados pelos sensores 107-L e TB4-L da marca Campbell Sci., respectivamente. Para coleta dos dados foi utilizada datalogger modelo 21X da Campbell Sci. A temperatura média do ar foi calculada como a média entre a máxima e a mínima diária. Com a temperatura base inferior de 10,2°C proposto por Carvalho et al. (2014) quantificou-se os índices térmicos (GD) (Equação 1).

$$\sum GD = \left[\frac{Tmax - Tmin}{2}\right] - Tbase$$

sendo, ∑GD = somatório de graus dia; Tmax = temperatura máxima absoluta diária do ar (ºC); Tmin = temperatura mínima absoluta diária do ar (ºC); Tbase = temperatura base inferior do cultivo.

As avaliações foram realizadas em função dos graus dias contabilizados a partir da data de plantio. Os resultados das avaliações foram submetidos à análise de variância (ANOVA), pelo teste F, e quando houve significância ($p < 0,05$), as médias foram agrupadas pelo teste de Scott-Knott, a 95% de confiança, por meio do software estatístico computacional livre (R CORE-TEAM, 2016).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A interação entre os tipos de plantio e a adubação biológica não foi significativa pelo teste F ($p > 0,05$) em todas as variáveis analisadas, o que justifica as análises e tabelas com médias separadas.

Para altura de plantas, houve diferença significativa entre os tipos de plantio a partir de 2290 graus dias (ΣGD) acumulados (Tabela 1). Os cafeeiros que foram implantados pelo sistema de plantio "em covas" evidenciaram alturas de plantas em torno de 10% superiores, em relação aos demais sistemas de implantação. De maneira geral, em todos os GD não houve diferenças significativas entre as alturas de plantas dos sistemas de plantio em sulco (cultivo mínimo) e o sistema de plantio convencional. Os sistemas em sulco e convencional podem ter promovido menores alturas de plantas devido ao elevado revolvimento da camada superficial do solo, que por consequencia promove uma maior compactação superficial, favorecendo a degradação do solo e a perda da qualidade microbiologica (LLANILLO et al., 2006; RÓS; TAVARES FILHO; BARBOSA, 2014). A aplicação da adubação biológica não promoveu alterações na altura de plantas.

Para a variável diâmetro de caule as plantas implantadas no sistema de cultivo mínimo não apresentaram diferenças significativas em comparação com o cafeeiro implantado no sistema convencional em todos os GD. Contudo, os diâmetros do caule foram mais elevados nas plantas implantadas sob o plantio "em covas", demonstrando diferenças significativas em relação ao cultivo mínimo e o convencional em todos os GD (Tabela 2). O plantio "em covas" conseguiu promover melhorias no crescimento das plantas de cafeeiro em todos os GD avaliados, uma vez que esse tipo de implantação consegue aumentar a atividade biológica nas condições estruturais do solo, além da maior ciclagem de nutrientes que o aumento da atividade biológica promove (OLIVEIRA et al., 2016; REICHERT et al., 2009). Com 6430ΣGD os cafeeiros evidenciaram 27,75; 26,17 e 25,62 cm de diâmetro de caule nos sistemas de plantio "em covas", cultivo mínimo e convencional, respectivamente (Tabela 2). A utilização do fertilizante biológico não promoveu alterações no diâmetro do caule do cafeeiro.

O número de ramos plagiotrópicos (NRP) é uma variável altamente correlacionada com a produção cafeeira (FAVARIN et al., 2002). Inicialmente, nas primeiras avaliações (1320; 2290 e 3090ΣGD acumulados), o NRP não demonstrou diferença significativa entre os tipos de sistema de implantação (Tabela 3). Por sua vez, com 4340ΣGD as plantas implantadas nos sistemas de implantação que promovem um menor revolvimento do solo (plantio "em cova" e cultivo mínimo) evidenciaram os maiores destaques no NRP, sendo 7,95; 10,62 e 4,92% mais elevadas nas avaliações de 4340ΣGD; 5560GD e 6430ΣGD, respectivamente. Essas diferenças nos tratamentos ocorreram a partir de 4340ΣGD (1 ano após o plantio), visto que é neste momento que ocorre o clímax no crescimento do sistema radicular do cafeeiro, que consequentemente há o pleno desenvolvimento também da copa do cultivo (LARCHER, 2004). Para adubação biológica não foi observada diferença significativa entre os sistemas de plantio (Tabela 3).

As avaliações nos diâmetros de copa do cafeeiro iniciaram com 4340ΣGD, pois nas mensurações com 1320ΣGD, 2290ΣGD e 3090ΣGD as plantas, em nenhum dos tratamentos, apresentavam-se com copas formadas (Tabela 4). Os pesquisadores Aparecido, Rolim e Souza (2015) avaliando o crescimento do cafeeiro destacam que o início da formação das copas ocorre entre 270 a 365 dias após o transplantio.

Os cafeeiros implantados no sistema de plantio "em cova" demonstram os maiores diâmetros de copa em todos os GD avaliados. Com 4340ΣGD, 5560ΣGD e 6430ΣGD acumulados o plantio "em cova" evidenciou incrementos de 13,47%, 13,52 e 6,27%, respectivamente, em relação aos demais sistemas de implantação (Tabela 4). Por sua vez, assim como para as demais variáveis, o diâmetro de copa do cafeeiro não demonstrou alterações em função da aplicação da adubação biológica. Esse fato pode ter ocorrido em consequência da dose de biofertilizante aplicada, que pode não ter fornecido o suporte adequado para substituir a carga de fertilizantes químicos do cafeeiro. Kumar et al. (2014) relatam que quando aplicados em baixas doses os biofertilizantes não promovem diferenças no desenvolvimento dos cultivos agrícolas.

A primeira produção do cafeeiro acorreu com 6800ΣGD acumulados, o que corresponde a aproximadamente 18 meses. A maior produtividade foi observada nas plantas implantadas em plantio "em cova" em comparação com os plantios em sulco e o convencional (Tabela 5). O fato do sistema de plantio em cova ter proporcionado os melhores resultados, pode ter ocorrido devido à desestruturação total do solo promovido pela broca no solo, reduzindo a resistência à penetração, facilitando assim o desenvolvimento inicial radicular e consequentemente, manifestando em alguns caracteres da parte aérea e frutificação (BEUTLER et al., 2006).

TABELA 1 - Altura das plantas (cm) em função dos graus dias (1320ΣGD ≅ 3 meses; 2290ΣGD ≅ 6 meses; 3090ΣGD ≅ 9 meses, 4340ΣGD ≅ 12 meses, 5560ΣGD ≅ 15 meses e 6430ΣGD ≅ 18 meses) após o plantio.

	ΣGraus dias após o plantio (GD)					
Tipo de Plantio	1320	2290	3090	4340	5560	6430
Plantio "em cova"	23,77 a	32,37 a	36,10 a	61,00 a	74,87 a	87,00 a
Cultivo Mínimo	23,70 a	29,87 b	33,50 b	56,50 b	68,87 b	81,62 b
Convencional	23,61 a	28,50 b	32,95 b	52,12 b	64,62 b	78,12 b
Teste F	0,95 NS	0,0140*	0,0288*	0,0066*	0,0087*	0,0241*
C.V. (%)	4,51	5,97	5,33	6,17	6,16	5,66
Adubo Biológico						
Com	23,56 a	30,66 a	33,58 a	55,16 a	67,33 a	79,93 a
Sem	23,82 a	29,83 a	34,78 a	57,92 a	71,58 a	84,45 a
Teste F	0,71 NS	0,51 NS	0,11 NS	0,11 NS	0,12NS	0,70NS
C.V. (%)	6,82	9,12	4,06	5,29	4,33	2,99
Tipo de Plantio x Adubo Biológico						
Teste F	0,25 NS	0,85 NS	0,41 NS	0,35 NS	0,47 NS	0,47 NS
C.V. (%)	5,57	6,17	8,74	9,36	10,48	9,7

Médias seguidas de uma mesma letra na coluna pertencem a um mesmo grupo pelo teste de Scott-Knott a 95% de confiança.

TABELA 2 - Diâmetro do caule das plantas de cafeeiro (mm) em função dos graus dias (1320ΣGD ≅ 3 meses; 2290ΣGD ≅ 6 meses; 3090ΣGD ≅ 9 meses, 4340ΣGD ≅ 12 meses, 5560ΣGD ≅ 15 meses e 6430ΣGD ≅ 18 meses) após o plantio na região do Sul de Minas Gerais.

	ΣGraus dias após o plantio (GD)					
Tipo de Plantio	1320	2290	3090	4340	5560	6430
Plantio "em cova"	5,56 a	9,50 a	11,20 a	19,75 a	24,37 a	27,75 a
Cultivo Mínimo	5,11 b	8,25 b	10,40 b	18,00 b	22,75 b	26,17 b
Convencional	4,98 b	7,62 b	10,07 b	16,87 b	21,87 b	25,62 b
Teste F	0,0099*	0,0148*	0,002*	0,013*	0,08*	0,01*
C.V. (%)	4,93	10,52	6,98	8,87	7,85	6,47
Adubo Biológico						
Com	5,18 a	8,56 a	10,22 a	17,34 a	22,25 a	26,00 a
Sem	5,26 a	8,50 a	10,89 a	18,49 a	23,75 a	27,17 a
Teste F	0,46 NS	0,89 NS	0,23 NS	0,11 NS	0,07 NS	0,23 NS
C.V. (%)	4,55	16,43	9,15	7,55	6,06	7,15
Tipo de Plantio x Adubo Biológico						
Teste F	0,52 NS	0,35 NS	0,56 NS	0,36 NS	0,44 NS	0,25 NS
C.V. (%)	4,70	13,29	16,01	11,05	9,63	7,82

Médias seguidas de uma mesma letra na coluna pertencem a um mesmo grupo pelo teste de Scott-Knott a 95% de confiança.

TABELA 3 - Número de ramos plagiotrópicos (NRP) em função dos graus dias (1320ΣGD ≅ 3 meses; 2290ΣGD ≅ 6 meses; 3090ΣGD ≅ 9 meses, 4340ΣGD ≅ 12 meses, 5560ΣGD ≅ 15 meses e 6430ΣGD ≅ 18 meses) após o plantio no Sul de Minas Gerais.

	ΣGraus dias após o plantio (GD)					
Tipo de Plantio	1320	2290	3090	4340	5560	6430
Plantio "em covas"	3,70 a	9,87a	11,75 a	21,50 a	29,50 a	34,75 a
Cultivo Mínimo	3,50 a	8,87 a	11,50 a	20,87 a	28,12 a	33,87 a
Convencional	3,20 a	7,87 a	11,00 a	19,50 b	25,75 b	32,62 b
Teste F	0,42 NS	0,31 NS	0,40 NS	0,0450*	0,0109*	0,0409*
C.V. (%)	20,53	10,95	9,23	6,02	5,95	3,97
Adubo Biológico						
Com	3,23 a	8,67 a	11,08 a	20,27 a	27,42 a	33,33 a
Sem	3,70 a	8,93 a	11,75 a	20,93 a	28,17 a	34,17 a
Teste F	0,07 NS	0,39 NS	0,16 NS	0,31 NS	0,09 NS	0,20 NS
C.V. (%)	12,46	11,5	7,72	7,47	2,78	3,76
Tipo de Plantio x Adubo Biológico						
Teste F	0,73 NS	0,59 NS	0,25 NS	0,09 NS	0,23 NS	0,47 NS
C.V. (%)	21,59	12,17	11,68	5,69	5,80	5,33

Médias seguidas de uma mesma letra na coluna pertencem a um mesmo grupo pelo teste de Scott-Knott a 95% de confiança.

TABELA 4 - Diâmetro de copa das plantas de cafeeiro (cm) em função dos graus dias (4340ΣGD ≅ 12 meses, 5560ΣGD ≅ 15 meses e 6430ΣGD ≅ 18 meses) após o plantio no Sul de Minas Gerais.

	ΣGraus dias após o plantio (GD)		
Tipo de Plantio	4340	5560	6430
Plantio "em covas"	69,12 a	92,50 a	103,62 a
Cultivo Mínimo	60,62 b	82,87 b	98,87 b
Convencional	59,00 b	77,12 b	95,37 b
Teste F	0,0261*	0,0051*	0,0404*
C.V. (%)	9,17	6,86	4,92
Adubo Biológico			
Com	60,83 a	81,33 a	96,33 a
Sem	65,00 a	87,00 a	102,25 a
Teste F	0,06 NS	0,07 NS	0,47 NS
C.V. (%)	5,42	6,2	4,10
Tipo de Plantio x Adubo Biológico			
Teste F	0,45 NS	0,24 NS	0,44 NS
C.V.	13,64	12,20	9,10
DMS	8,84	8,86	7,49

Médias seguidas de uma mesma letra na coluna pertencem a um mesmo grupo pelo teste de Scott-Knott a 95% de confiança.

TABELA 5 - Produtividade do cafeeiro (sacas ha^{-1}) em função dos graus dias após o plantio (6800GD ≅ 18 meses).

	ΣGraus dias após o plantio (GD)
Tipo de Plantio	6800ΣGD
Plantio "em cova"	4,12 a
Cultivo Mínimo	3,12 b
Convencional	2,37 b
Teste F	0,0432*
C.V. (%)	22,15
Adubo Biológico	
Com	3,33 a
Sem	3,08 a
Teste F	0,70 NS
C.V.	45,73
Tipo de Plantio x Adubo Biológico	
Teste F	0,38 NS
C.V. (%)	34,03

Médias seguidas de uma mesma letra na coluna pertencem a um mesmo grupo pelo teste de Scott-Knott a 95% de confiança.

4 CONCLUSÕES

O cafeeiro arábica cultivar Catucaí implantado no sistema de plantio "em cova" evidenciou os melhores resultados, nos parâmetros vegetativos e também produtividade, até os 6800 graus dias acumulados.

Com a implantação do cultivo do cafeeiro no plantio "em covas" há um incremento de 33,37% na produtividade da primeira safra, em relação aos sistemas de cultivo mínimo e convencional.

A utilização da adubação biológica via foliar no cafeeiro durante a formação da lavoura não promove alterações na altura de plantas, no diâmetro do caule, no número de ramos plagiotrópicos, no diâmetro de copa e na produtividade da primeira safra.

5 REFERÊNCIAS

APARECIDO, L. E. O. et al. Agrometeorological models for forecasting coffee yield. **Agronomy Journal**, Madison, v. 109, p. 249-258, 2017.

APARECIDO, L. E. O.; ROLIM, G. S.; SOUZA, P. S. Épocas de florescimento e colheita da nogueira-macadâmia para áreas cafeícolas da região sudeste. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 36, n. 1, p. 170-178, 2014.

_____. Sensitivity of newly transplanted coffee plants to climatic conditions at altitudes of Minas Gerais, Brazil. **Australian Journal of Crop Science**, Queensland, v. 9, p. 160-167, 2015.

BARBOSA, J. N. et al. Coffee quality and its interactions with environmental factors in Minas Gerais, Brazil. **Journal of Agricultural Science**, Alberta, v. 4, n. 5, p. 181-190, 2012.

BARDIN-CAMPAROTTO, L.; CAMARGO, M. B. P.; MORAES, J. F. L. Estimated time of grain ripening of different arabica coffee cultivars for the São Paulo State, Brazil. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 42, n. 4, p. 594-599, abr. 2012.

BEUTLER, A. N. et al. Efeito da compactação na produtividade de cultivares de soja em Latossolo Vermelho. **Revista Brasileira de Ciência de Solo**, Viçosa, v. 30, p. 787-794, 2006.

CARVALHO, C. H. M. et al. Coffee tree (*Coffea arabica* L.) growth at high and low planting densities under different irrigation regimes. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 30, n. 2, p. 243-250, mar./abr. 2006.

CARVALHO, H. P. et al. Classificação do ciclo de desenvolvimento de cultivares de cafeeiro através da soma térmica. **Coffee Science**, Lavras, v. 9, n. 2, p. 237-244, 2014.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Primeiro levantamento, v.2, n.1:** safra 2016. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/16_01_20_09_24_06_boletim_cafe_-_janeiro_2016.pdf>. Acesso em: 14 out. 2016.

CUBRY, P. et al. Global analysis of *Coffea canephora* (pierre ex froehner) from the guineo-congolese region reveals impacts from climatic refuges and migration effects. **Genetic Resources and Crop Evolution**, Dordrecht, v. 60, p. 483-501, 2013.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília, DF, 2006. 306 p.

FAVARIN, J. L. et al. Equações para a estimativa do índice de área foliar do cafeeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 6, p. 769-773, jun. 2002.

FERRAREZI, R. S. et al. Crescimento de mudas de café sob diferentes preparos do solo e irrigação para agricultura familiar. **Coffee Science**, Lavras, v. 10, n. 1, p. 91-101, 2015.

FREITAS, G. B. de et al. Resposta de brócolis à adubação de cobertura com biomassa de adubo verde e biofertilizante. **Ceres**, Viçosa, v. 58, n. 5, p. 645-650, 2015.

KUMAR, S. et al. Organic matrix entrapped bio-fertilizers increase growth, productivity, and yield of Triticum aestivum L. and Transport of NO_3^-, NO_2^-, NH_4^+ and PO_4^{-3} from soil to plant leaves. **Journal of Agricultural Science and Technology**, Tehran, v. 16, p. 315-329, 2014.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: RiMa, 2004. 531 p.

LLANILLO, R. F. et al. Evolution of physical properties of soils according to tillage systems on annual crops. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 27, n. 2, p. 205-220, 2006.

MARCHI, E. C. S. et al. Sobrevivência de mudas de cafeeiro produzidas em sacos plásticos e tubetes no sistema convencional e plantio direto, em duas classes de solo. **Ceres**, Viçosa, v. 50, n. 290, p. 407-416, 2015.

MARTINS, D.; GONÇALVES, C. G.; SILVA JUNIOR, A. C. Coberturas mortas de inverno e controle químico sobre plantas daninhas na cultura do milho. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 47, n. 4, p. 649-657, 2016.

MARTINS, M. et al. Influência das condições climáticas na produtividade e qualidade do cafeeiro produzido na região do Sul de Minas Gerais. **Coffee Science**, Lavras, v. 10, n. 4, p. 499-506, 2015.

MATHUKUMALLI, S. R. et al. Prediction of *Helicoverpa armigera* Hubner on pigeonpea during future climate change periods using MarkSim multimodel data. **Agricultural and Forest Meteorology**, New Haven, v. 228/229, p. 130-138, 2016.

MEDEIROS, W. N. et al. Initial growth and nutrient concentration in *Eucalyptus urophylla x Eucalyptus grandis* clones under weed interference. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 26, n. 1, p. 147-157, 2016.

MENDES, I. C. et al. Propriedades biológicas em agregados de um Latossolo Vermelho-Escuro sob plantio convencional e direto no Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 3, p. 435-443, 2003.

MORAES, E. R. et al. Produtividade e características agronômicas da cana-de-açúcar em diferentes sistemas de preparo do solo. **Revista de Agricultura Neotropical**, Cassilândia, v. 3, n. 1, p. 27-32, 2016.

OLIVEIRA, P. et al. Response of soil fungi and biological processes to crop residues in no-tillage system. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 46, n. 1, p. 57-64, jan./mar. 2016.

PIRES, F. R. et al. Manejo de plantas de cobertura antecessoras à cultura da soja em plantio direto. **Ceres**, Viçosa, v. 55, n. 2, p. 94-101, 2015.

PIRES, G. F. et al. Increased climate risk in Brazilian double cropping agriculture systems: implications for land use in Northern Brazil. **Agricultural and Forest Meteorology**, New Haven, v. 228/229, p. 286-298, 2016.

QUEIROZ, F. M. et al. Características químicas do solo submetido ao tratamento com esterco líquido de suínos e cultivado com gramíneas forrageiras. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 5, p. 1487-1492, 2004.

R CORE TEAM. **R:** a language and environment for statistical computing. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2016. Disponível em: <https://www.R-project.org/>. Acesso em: 10 jun. 2016.

REICHERT, J. M. et al. Variação temporal de propriedades físicas do solo e crescimento radicular de feijoeiro em quatro sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 44, n. 3, p. 310-319, mar. 2009.

ROS, A. B.; TAVARES FILHO, J.; BARBOSA, G. M. C. Sweet potato yield under different soil managements. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 35, n. 1, p. 227-238, 2014.

SILVA, F. A. et al. Milho para ensilagem cultivado nos sistemas de plantio direto e convencional sob efeito de veranico. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 36, n. 1, p. 327-340, 2015.

SOUSA, F. A. et al. Microbial activity and production of coffee crops after fertilization with pig slurry. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 30, n. 4, p. 1041-1049, 2014.

THORNTHWAITE, C. W. An approach towards a rational classification of climate. **Geographical Review**, New York, v. 38, p. 55-94, 1948.

VALE, G. F. R. do; CARVALHO, S. P. de; PAIVA, L. C. Avaliação da eficiência de polímeros hidroretentores no desenvolvimento do cafeeiro em pós-plantio. **Coffee Science**, Lavras, v. 1, n. 1, p. 7-13, 2006.

YIN, X. G. et al. Climate effects on crop yields in the Northeast Farming Region of China during 1961-2010. **Journal of Agricultural Science**, Toronto, v. 154, p. 1190-1208, 2016.

PRIMEIRA APROXIMAÇÃO PARA SOLO CULTIVADO COM CAFEEIRO CONILON NA REGIÃO ATLÂNTICA DA BAHIA

André Cayô Cavalcanti[1], Marcos Góes de Oliveira[2], André Monzoli Covre[3], Ivoney Gontijo[4], Heder Braun[5], Fábio Luiz Partelli[6]

(Recebido: 16 de agosto de 2016; aceito: 24 de outubro de 2016)

RESUMO: O Sistema Integrado de Diagnose e Recomendação (DRIS), apesar de ser comumente utilizado na interpretação de análises foliares, pode ser empregado em análise química de solo, existindo potencial do uso da metodologia em solos cultivados com cafeeiros. Objetivou-se estabelecer faixas de suficiência e normas DRIS para solos cultivados com cafeeiro conilon na região Atlântica do Estado da Bahia. Coletaram-se 24 amostras de solo em 2012 e 2013, na profundidade de 0-20 cm, sendo quantificados os teores de matéria orgânica, Ca, Mg, K, P, S, Zn, B, Cu, Fe, Mn, saturação de bases e capacidade de troca catiônica a pH 7. Estabeleceram-se normas DRIS e faixas de suficiência para os nutrientes do solo, a partir de lavouras com produtividade, igual e superior a 100 sacas beneficiadas ha^{-1} de café conilon, sendo aplicáveis na recomendação de adubação da cultura na região. A maioria dos parâmetros estabelecidos apresentou discrepância em relação ao referencial teórico que se tem atualmente para o café conilon. Os resultados sugerem o desenvolvimento de normas regionais e específicas para a aplicação do método DRIS e faixas de suficiência no solo, para lavouras de café conilon.

Termos para indexação: *Coffea canephora*, normas regionais, análise de solo, normas DRIS, faixa de suficiência.

FIRST APPROACH FOR SOIL TO CONILON COFFEE IN THE ATLANTIC REGION OF BAHIA

ABSTRACT: *The Integrated Diagnosis and Recommendation (DRIS), although commonly used in the interpretation of leaf analysis has also been employed in chemical analysis of soil, as there is potential for the use of the methodology also in soil and coffee. This study aimed to establish DRIS sufficiency ranges and standards for soils under conilon coffee in the Atlantic region of Bahia State. Forty eight samples of soil were collected in two years at a depth of 0-20 cm. Amounts of organic matter, Ca, Mg , K, P, S , Zn, Cu, Fe, Mn, bases and saturation capacity cation exchange at pH 7 were quantified. It managed to establish DRIS and soil sufficiency ranges from crops to productivity, equal and more than 100 ha-1 bags of coffee conilon, which are applicable in the fertilizer recommendation of this culture in the region. Most parameters set presented discrepancy in relation to the theoretical framework that currently has to conilon coffee. The results suggest the development of regional and specific rules for the application of DRIS and band of sufficiency on the ground to conilon coffee plantations.*

Index terms: *Coffea canephora, regional norms, soil analysis, DRIS norms; sufficiency ranges.*

1INTRODUÇÃO

O gênero *Coffea* spp. compreende pelo menos 124 espécies (DAVIS et al., 2011), das quais *C. arabica* L. (café Arábica) e *C. canephora* Pierre ex A. Froehner (café conilon e/ou robusta) são as principais espécies cultivadas no mundo (DAVIS et al., 2012; VIDAL et al., 2010). Na safra 2015/2016 a produção mundial de café foi de 143,4 milhões de sacas, das quais 58,9 milhões de sacas oriundas de café conilon (INTERNATIONAL COFFEE ORGANIZATION - ICO, 2016). No Brasil, a produção na safra 2015/2016, foi de 13,0 milhões de sacas beneficiadas. Essa produção representa 22,7 % do total de café conilon produzido no mundo e caracteriza-o como o segundo maior produtor mundial desta espécie. Ainda no Brasil, destacam-se os estados do Espírito Santo, Rondônia e Bahia como os maiores produtores nacionais (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB, 2013).

A produtividade em lavouras de café conilon passou de 20 sacas por hectare para cerca de 150 sacas por hectare nos últimos anos, principalmente devido ao emprego de tecnologias, com destaque para o uso adequado do manejo do solo e práticas culturais favoráveis, destacando-se as podas, densidade de plantio, irrigação, seleção de genótipos produtivos e mecanização, todas somadas às condições edafoclimáticas favoráveis ao desenvolvimento, frutificação e maturação do cafeeiro (PARTELLI et al., 2014; PARTELLI; VIEIRA; MARTINS, 2006).

Para o manejo químico do solo, a correção e a prática da adubação são fundamentais.

[1,2,3,4,6]Universidade Federal do Espírito Santo/UFES - Centro Universitário Norte do Espírito Santo/CEUNES - Rodovia BR 101 Norte, Km 60 Bairro Litorâneo - 29.932-540 - São Mateus - ES - andrecavalcanti40@yahoo.com.br, mgoesoliveira@hotmail.com,andre-covre@hotmail.com, ivoney.gontijo@ufes.br, partelli@yahoo.com.br
[5]Universidade Estadual do Maranhão/UEMA - Cidade Universitária Paulo VI, S/N - Bairro Tirirical - 65.054-970 - São Luís MA hederbraun@gmail.com

Entretanto, interpretar a análise química de solo é importante para determinar fontes, quantidades e o momento mais adequado para a aplicação de corretivos e fertilizantes pelo produtor. Para isso, é necessário calibrar o teor do elemento presente no solo, com as características das plantas cultivadas em campo tais como: índice de crescimento, teor do nutriente e, ou rendimento da cultura (PARTELLI et al., 2014).

Segundo Dow e Roberts (1982), as faixas de suficiência constituem o método mais aprimorado de interpretação de análise de solo e folha, uma vez que considera uma faixa de concentração abaixo da qual a taxa de crescimento, ou a produção, diminuem. De acordo com Beaufils e Sumner (1976), o conceito de balanço dos nutrientes preconizado no Sistema Integrado de Diagnose e Recomendação (DRIS) para análise foliar também pode ser utilizado para o solo, aumentando as opções de interpretação da fertilidade deste componente.

As técnicas de faixa de interpretação e de DRIS, apesar de serem comumente utilizadas para interpretações de análises foliares, têm sido empregadas em análises de fertilidade do solo em milho (ROCHA et al., 2007), laranja (SANTANA et al., 2008), algodão (MORAIS et al., 2009), feijão (PAIVA JÚNIOR, 2011) e cana-de-açúcar (GONÇALVES, 2012).

O DRIS é um método que se baseia 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). A relação entre os nutrientes é chamada de normas DRIS e permite identificar carências, e excesso dos nutrientes nos tecidos vegetais e no solo, por ordem de importância (WALWORTH; SUMMER, 1987).

Por outro lado, o sucesso desse método de padrão nutricional a ser estabelecido deve ser específico para cada região, podendo ser influenciado pelo estádio fenológico da cultura (PARTELLI et al., 2007, 2014).A obtenção de padrões regionais pode contribuir para o uso racional de insumos, melhorar o equilíbrio nutricional das plantas e, conseqüentemente, aumentar a produtividade das lavouras e, ainda, reduzir os custos de produção dessa cultura (DIAS et al., 2010; PARTELLI et al., 2007; SANTANA et al., 2008).

São escassos os estudos para o diagnóstico dos nutrientes no solo que limitam a produtividade de café conilon na região sul do estado da Bahia com o uso de normas DRIS e faixas de suficiência. Neste sentido, objetivou-se estabelecer faixas de suficiência e normas DRIS adequadas para o diagnóstico dos nutrientes no solo que limitam a produtividade das lavouras de café conilon na região Atlântica do estado da Bahia.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em lavouras comerciais de café conilon (*C. canephora*) localizadas na região sul do Estado da Bahia, região do Atlântico. Conforme a classificação de Köppen, o clima dessa região é Aw, tropical com estação seca no inverno e verão chuvoso (ALVARESet al., 2014). As faixas e normas DRIS foram criadas após monitorar 24 lavouras nos municípios de Itamaraju, Itabela, Eunápolis, Porto Seguro e Teixeira de Freitas, com produtividade igual ou superior a 100 sacas por hectare, considerando a média de duas safras. Essas propriedades possuíam de 2.500 plantas a 4.000 plantas por hectare e foram, manejadas com irrigação, adubações e calagem. Foi realizado o controle fitossanitário durante todo o desenvolvimento da cultura. Os produtos utilizados para controle de pragas, doenças e plantas infestantes são os registrados para a cultura e foram aplicados nas doses recomendadas.

As amostragens do solo foram coletadas no final de maio e início de junho em 2012 e 2013. Em cada ano agrícola foram retiradas 12 amostras simples por lavoura, na profundidade de 0-20 cm para compor amostras compostas. Foram obtidas 48 amostras totais composta de solo, das quais foram quantificados os teores de matéria orgânica, Ca, Mg, K, P, S, Zn, B, Cu, Fe, Mn, a saturação de bases e capacidade de troca catiônica a pH 7, conforme metodologia descrita pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 2013).

Posteriormente, elaborou-se um banco de dados para, obter os valores de referência para o DRIS, constituído pela média e pelo desvio-padrão das relações bivariadas, obtidas nas formas direta e inversa, entre todos os dados avaliados (BEAUFILS; SUMNER, 1976;JONES, 1981). Utilizaram-se os valores-padrão definidos pela amplitude do intervalo determinado pela média ± desvio-padrão na análise da amostra de solo de cada característica no conjunto de lavouras da população de alta produtividade, para o método de faixa de suficiência (FS), conforme esta descrito em Partelliet al. (2007, 2014) e Partelli, Vieira e Martins (2006).

Informações sobre DRIS e FS oriundos de lavouras de café conilon no Estado da Bahia ainda são escassos. Deste modo fez-se necessário utilizar para efeito de comparação, trabalhos originados de lavouras de café conilon do Espírito Santo (Tabela 1). Além disto, existem proximidades geográficas entre os dois Estados, principalmente no que tange ao Norte do Espírito Santo, que é referência nacional na produção de conilon.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os padrões, expressos pela razão entre dois nutrientes, das suas características químicas obtidas no solo das 24 lavouras fornecem suporte para fazer o diagnóstico da fertilidade do solo por meio do DRIS de cafeeiro conilon no Atlântico sul do Estado da Bahia (Tabela 2).

Os coeficientes de variação obtidos para as relações entre os nutrientes no solo encontram-se na Tabela 2. De acordo com Walworth e Sumner (1987) relações com coeficiente de variação acima de 50% atribuem menor peso ao cálculo dos índices DRIS, pelo fato das funções reduzidas serem ponderadas pelos respectivos coeficientes de variação.

Beaufils e Sumner (1976) concluíram que a técnica do balanço dos nutrientes é aplicada tanto para solo quanto para a planta, o que aumenta o campo de atuação do DRIS. Resultados satisfatórios têm sido obtidos com o emprego do DRIS no solo, como atestam Gonçalves (2012), Morais et al. (2009), Partelli,Vieira e Martins (2006), Rocha et al. (2007) e Santana et al. (2008).

Nas plantas, os nutrientes são analisados quanto aos teores totais e representam as concentrações e proporções de nutrientes que desempenham determinadas funções metabólicas. Os resultados de análise de solo, ao contrário, são teores que fornecem referências da resposta da planta à adubação. Para o P, as dificuldades são ainda maiores. O P extraído pelo Mehlich I constitui-se em proporção de fósforo disponível, e não a quantidade total de nutriente que é passível de absorção pelas raízes (LEANDRO; CUNHA, 2003). O uso do DRIS no solo assume importância no manejo da adubação, pois é mais fácil alterar concentrações de nutrientes no solo, mediante a calagem ou adubação, do que alterar as concentrações foliares (DIAS et al., 2010; PARTELLI et al., 2007; SANTANA et al., 2008).

As faixas de suficiência estabelecidas para solo (Tabela 3) podem ser utilizadas para efetuar diagnóstico da fertilidade em lavouras de cafeeiro conilon no Atlântico sul do Estado da Bahia, pois foram estabelecidas com base em lavouras representativas da região com altas produtividades, igual ou superior a 100 sacas por hectare.

A concentração média de matéria orgânica (Tabela 3) foi classificada como adequada (Tabela 1), baseada no trabalho de Bragança, Lani e Muner (2001). O cultivo de espécies perenes, entre elas o café conilon, geralmente favorece o acúmulo de matéria orgânica no solo, em função de diversos fatores, tais como menor revolvimento da camada arável, maior entrada de biomassa vegetal através de podas, quedas de folhas, galhos, ramos e frutos e maior proteção do solo contra erosão (PARTELLI; VIEIRA; MARTINS, 2006).

Costa Júnior et al. (2012) afirmam ser mais importante a estabilidade da MO no solo do que sua quantidade propriamente dita. À medida que a adubação orgânica se consolida o balanço imobilização/mineralização tende respectivamente para o segundo, suportando assim maiores produções e fornecendo nutrientes mais estáveis às plantas.

Nos ambientes tropicais, a maior parte da matéria orgânica do solo é formada por substâncias húmicas (SH), estas são produtos da transformação biológica dos resíduos orgânicos até formas estabilizadas de compostos relativamente refratários à decomposição biológica. De acordo com a sua solubilidade, as SH podem ser classificadas em ácidos fúlvicos (AF), ácidos húmicos (AH) e huminas (H) (ZECH et al., 1997). A distribuição relativa das frações humificadas podem ser utilizadas como indicadores de qualidade da matéria orgânica (PARTELLI et al., 2009).

Para o teor médio de P no solo (Tabela 3), a Comissão de Fertilidade do Solo do Espírito Santo (2007) o classifica como alto (Tabela 1). Nos últimos anos, houve aumento da utilização de fosfatos naturais na adubação de cafeeiros (AMARAL et al., 2011; OLADIRAN et al., 2012; PARTELLI et al., 2009). Sabe-se que a disponibilidade de fósforo é indispensável para que a planta desenvolva seu ciclo. A nutrição fosfatada no estágio inicial proporciona uma marcante resposta das plantas. Esta resposta pode estar relacionada ao papel do P na síntese de proteínas, por constituir nucleoproteínas necessárias à divisão celular, atuar no processo de absorção iônica, além de ter grande importância sobre o desenvolvimento do sistema radicular e na síntese de ATP, fornecendo assim, energia para o transporte de assimilados, armazenamento e transferência de energia, aumento das células e na transferência de informações genéticas.

TABELA 1 - Classes de interpretação dos atributos químicos do solo segundo classificação proposta por Bragança, Lani e Muner(2001) e Comissão de Fertilidade do Solo do Espírito Santo (2007).

Variável	Classes de Interpretação				
	Muito Baixa	Baixa	Média	Adequada	Alta
MO ($dagdm^{-3}$)[1]	-	<2,0	-	2,1-3,0	>3,0
P ($mg\ dm^{-3}$)[2]	-	<10,0	10-15	15,1-20,0	>20,0
K ($mg\ dm^{-3}$)[2]	-	<60	60-120	120,1-200	>200,0
Ca ($cmol_c dm^{-3}$)[1]	-	<3,0	3,0-4,0	-	>4,0
Mg ($cmol_c\ dm^{-3}$)[1]	-	<0,8	0,8-1,0	-	>1,0
S ($mg\ dm^{-3}$)[1]	-	<15,0	15,1-30	-	>30,0
B ($mg\ dm^{-3}$)[2]	-	<0,2	0,2-0,6	-	>0,6
Cu ($mg\ dm^{-3}$)[2]	-	<0,5	0,5-1,0	-	>1,0
Fe ($mg\ dm^{-3}$)[1]	-	<100	100-200	-	>200
Mn ($mg\ dm^{-3}$)[2]	-	<5,0	5,0-15,0	-	>15,0
Zn ($mg\ dm^{-3}$)[2]	-	<2,0	2,0-6,0	-	>6,0
V %[1]	0-25	26-50	51-59	60-90	>90,0
T ($cmol_c dm^{-3}$)[1]	-	<5,0	-	5-15	>15,0

[1]Bragança, Lani e Muner (2001); [2]Comissão de Fertilidade do Solo do Espírito Santo (2007).

TABELA 2 - Valores médios da relação entre os teores de nutrientes obtidos no solo, desvio padrão e coeficiente de variação (CV%) do solo das lavouras de cafeeiro conilon no Atlântico sul do Estado da Bahia.

Relações	Média	Desvio Padrão	CV(%)	Relações	Média	Desvio Padrão	CV(%)
MO/P	0,0917	0,0476	51,93	Cu/MO	0,9901	0,6375	64,39
MO/K	0,0284	0,0092	32,55	Cu/P	0,0979	0,0962	98,25
MO/Ca	1,1198	0,4593	41,02	Cu/K	0,0276	0,0176	98,25
MO/Mg	3,3711	1,8237	54,10	Cu/Ca	1,0489	0,7135	68,02
MO/S	0,2010	0,1039	51,71	Cu/Mg	3,3488	2,7373	81,74
MO/B	4,1698	2,5863	62,03	Cu/S	0,1927	0,1495	77,58
MO/Cu	1,4801	1,1177	75,51	Cu/B	4,0563	4,1299	101,8
MO/Fe	0,0199	0,0277	139,0	Cu/Fe	0,0200	0,0265	132,3
MO/Mn	0,1020	0,0942	92,44	Cu/Mn	0,0827	0,0680	82,24
MO/Zn	0,5234	0,3063	58,51	Cu/Zn	0,4222	0,2430	57,56
MO/V	0,0376	0,0144	38,35	Cu/V	0,0348	0,0210	60,37
MO/T	0,3943	0,1007	25,53	Cu/T	0,3856	0,2690	69,76
P/MO	14,345	7,6651	53,46	Fe/MO	90,441	51,707	57,17
P/K	0,4001	0,2254	56,34	Fe/P	8,1088	6,5762	81,10
P/Ca	15,423	9,4326	61,16	Fe/K	2,4441	1,4814	60,61
P/Mg	46,757	33,608	71,88	Fe/Ca	94,765	69,030	72,84
P/S	2,6410	1,6869	63,87	Fe/Mg	269,59	205,61	76,27
P/B	62,680	54,421	86,82	Fe/S	18,148	15,849	87,33
P/Cu	25,214	36,094	143,1	Fe/B	386,27	311,72	80,70

P/Fe	0,2518	0,2773	110,1	Fe/Cu	141,77	145,22	102,4
P/Mn	1,4374	1,5073	104,8	Fe/Mn	11,133	14,647	131,5
P/Zn	7,4941	6,9139	92,26	Fe/Zn	48,902	46,275	94,63
P/V	0,5358	0,3461	64,60	Fe/V	3,1018	1,7986	57,98
P/T	5,5620	3,0986	55,71	Fe/T	34,045	18,710	54,96
K/MO	39,369	14,299	36,32	Mn/MO	21,507	17,882	83,15
K/P	3,6915	2,9338	79,47	Mn/P	2,0545	2,3011	112,0
K/Ca	43,074	22,243	51,64	Mn/K	0,5941	0,5219	87,84
K/Mg	126,39	66,641	52,73	Mn/Ca	23,555	21,340	90,60
K/S	7,5481	4,1757	55,32	Mn/Mg	74,601	78,117	104,7
K/B	165,88	124,19	74,87	Mn/S	4,2621	4,1925	98,37
K/Cu	60,255	57,824	95,97	Mn/B	93,263	135,18	144,9
K/Fe	0,6838	0,6299	92,12	Mn/Cu	28,179	31,343	111,2
K/Mn	3,8711	3,9490	102,0	Mn/Fe	0,6138	1,2123	197,5
K/Zn	20,232	14,502	71,68	Mn/Zn	10,022	9,7452	97,24
K/V	1,4273	0,6337	44,39	Mn/V	0,7947	0,7129	89,71
K/T	14,839	4,4995	30,32	Mn/T	7,9969	6,3918	79,93
Ca/MO	1,0788	0,5231	48,49	Zn/MO	2,8196	2,0368	72,24
Ca/P	0,0947	0,0599	63,31	Zn/P	0,2567	0,2446	95,27
Ca/K	0,0298	0,0158	52,95	Zn/K	0,0764	0,0530	69,39
Ca/Mg	3,0496	1,0654	34,93	Zn/Ca	2,6970	1,5600	57,84
Ca/S	0,1957	0,1051	53,71	Zn/Mg	8,0314	4,7290	58,88
Ca/B	5,2276	5,4729	104,6	Zn/S	0,5046	0,3874	76,77
Ca/Cu	1,5017	1,1753	78,26	Zn/B	13,814	21,020	152,1
Ca/Fe	0,0183	0,0190	104,1	Zn/Cu	3,2613	1,9380	59,42
Ca/Mn	0,1031	0,0954	92,51	Zn/Fe	0,0536	0,0752	140,2
Ca/Zn	0,4820	0,2322	48,17	Zn/Mn	0,2293	0,1856	80,94
Ca/V	0,0346	0,0064	18,41	Zn/V	0,0907	0,0474	52,27
Ca/T	0,3877	0,1086	28,01	Zn/T	1,0246	0,6290	61,39
Mg/MO	0,3878	0,2005	51,69	V/MO	31,308	14,815	47,32
Mg/P	0,0344	0,0238	69,27	V/P	2,8376	1,8809	66,29
Mg/K	0,0108	0,0068	62,86	V/K	0,8533	0,4012	47,02
Mg/Ca	0,3704	0,1347	36,38	V/Ca	29,919	6,0261	20,14
Mg/S	0,0757	0,0590	77,88	V/Mg	88,594	28,590	32,27
Mg/B	1,8134	1,7246	95,10	V/S	5,8690	3,3894	57,73
Mg/Cu	0,5796	0,5178	89,34	V/B	148,30	151,73	102,3
Mg/Fe	0,0061	0,0052	86,05	V/Cu	42,935	30,386	70,77
Mg/Mn	0,0394	0,0440	111,4	V/Fe	0,5242	0,5182	98,87
Mg/Zn	0,1783	0,1117	62,64	V/Mn	3,0392	2,8621	94,17
Mg/V	0,0124	0,0038	30,79	V/Zn	14,091	6,6622	47,28
Mg/T	0,1419	0,0603	42,48	V/T	11,325	3,0069	26,55

S/MO	6,6385	4,6593	70,19	T/MO	2,7274	0,8075	29,61
S/P	0,5595	0,4585	81,94	T/P	0,2470	0,1456	58,92
S/K	0,1758	0,0981	55,77	T/K	0,0743	0,0251	33,82
S/Ca	6,5441	3,1746	48,51	T/Ca	2,8180	0,9263	32,87
S/Mg	20,519	13,060	63,65	T/Mg	8,5215	4,0296	47,29
S/B	30,507	35,142	115,1	T/S	0,5114	0,2395	46,85
S/Cu	9,7997	11,484	117,1	T/B	12,227	9,9160	81,10
S/Fe	0,1103	0,1011	91,70	T/Cu	4,0479	3,5917	88,73
S/Mn	0,6183	0,5853	94,66	T/Fe	0,0507	0,0619	122,0
S/Zn	3,0046	2,1618	71,00	T/Mn	0,2635	0,2486	94,36
S/V	0,2273	0,1192	52,43	T/Zn	1,3357	0,7630	57,13
S/T	2,3784	1,0698	44,98	T/V	0,0952	0,0276	29,01
B/MO	0,3169	0,1456	45,95	B/Cu	0,4404	0,3424	77,75
B/P	0,0311	0,0261	83,85	B/Fe	0,0071	0,0128	180,3
B/K	0,0091	0,0053	58,89	B/Mn	0,0311	0,0303	97,47
B/Ca	0,3847	0,2596	67,47	B/Zn	0,1715	0,1360	79,29
B/Mg	1,1726	0,9709	82,79	B/V	0,0128	0,0086	67,31
B/S	0,0678	0,0545	80,40	B/T	0,1307	0,0733	56,04

TABELA 3 - Concentração média dos nutrientes, desvio padrão (DP), faixa de suficiência (FS) e coeficiente de variação (CV) das lavouras de cafeeiro conilon no Atlântico sul do Estado da Bahia.

Nutrientes	Concentração	DP	Faixa de Suficiência	CV (%)
MO(dagdm^{-3})	2,12	0,54	1,58 - 2,66	25,57
P (mg dm^{-3})	30,73	18,34	12,39 - 49,07	59,81
K (mg dm^{-3})	80,48	28,58	51,90 - 109,06	35,51
Ca (cmol$_c$ dm^3)	2,09	0,66	1,43 - 2,75	31,57
Mg (cmol$_c$ dm^3)	0,76	0,32	0,44 - 1,08	41,74
S (mg dm^{-3})	12,94	6,06	6,88 - 19,00	46,82
B (mg dm^{-3})	0,69	0,36	0,33 - 1,05	52,60
Cu (mg dm^{-3})	1,99	1,14	0,85 - 3,13	57,54
Fe (mg dm^{-3})	184,25	101,91	82,34 - 286,16	55,31
Mn (mg dm^{-3})	42,31	32,70	9,61 - 75,01	77,28
Zn (mg dm^{-3})	5,38	2,99	2,39 - 8,37	55,60
Sat. Bases (%)	60,05	12,88	47,17 - 72,93	21,44
T (cmol$_c$ dm^3)	5,41	0,71	4,7 - 6,12	13,12

Porém, esse nutriente nem sempre está disponível à planta, uma vez que os teores no solo são relativamente baixos, pois sua fixação na maioria dos solos é elevada, principalmente em solos ricos em sesquióxidos de ferro e/ou de alumínio e ácidos (OLADIRAN et al., 2012), como é o caso de boa parte dos solos brasileiros.

O método Mehlich, utilizado pela grande maioria dos laboratórios de análises de solos, é composto por solução diluída de ácidos fortes, cuja reação com o fosfato natural é intensa, podendo superestimar a quantidade de P disponível (GATIBONI; KAMINSKI; SANTOS, 2005).

Segundo trabalho de Schlindwein e Gianello (2008) envolvendo calibração de extratores para avaliação dos teores de fósforo no solo, o teor apresentado deste nutriente no presente trabalho deve estar em categoria abaixo da classificada ou simplesmente aquém das necessidades reais das plantas. Metodologias interativas de análise nutricional envolvendo avaliação da fertilidade do solo e DRIS poderiam contribuir nesse caso, uma vez que estas possuem grande capacidade de diagnosticar desbalanços sutis de nutrientes. A calibração de outros extratores também deve ser considerada, principalmente, se apresentarem maiores coeficientes de correlação entre teores disponíveis no solo, concentração foliar e produtividade.

A concentração de K (Tabela 3) foi enquadrada como média (Tabela 1) pela Comissão de Fertilidade do Solo do Espírito Santo (2007). Para K, vale ressaltar a importância da ciclagem no retorno e manutenção desse nutriente no solo, devendo-se também levar em consideração as perdas por lixiviação. Tais fatores podem influenciar nas concentrações encontradas desse nutriente em análises de solo (GARCIA et al., 2008).

O potássio, para o cafeeiro é tão exigido quanto o nitrogênio (N), sendo, um nutriente essencial para a cultura (COVRE et al., 2016; PARTELLI et al., 2014). Ele confere maior resistência às doenças, especialmente as fúngicas, e a estresses hídricos, por ser regulador da turgescência, atuando na abertura e no fechamento estomático, além de contribuir na maior absorção de Zn pela planta. Tal elemento atua na formação dos frutos de café, pois influi na atividade enzimática, na síntese e no transporte de carboidratos. Assim, há maior qualidade de bebida dos grãos de café nas plantas bem nutridas em potássio (BRAGANÇA et al., 2007).

A concentração de Ca e Mg (Tabela 3) verificada nas áreas em estudo encontram-se classificadas como baixas (Tabela 1) segundo Bragança, Lani e Muner (2001). Baixos teores de Ca e Mg podem levar ao decréscimo na produção da lavoura devido ao fato do cafeeiro conilon ser extremamente exigente em macronutrientes (BRAGANÇA et al., 2011; COVRE et al., 2016; PARTELLI et al., 2014). Effegenet al. (2008) ao avaliarem a fertilidade dos solos de lavouras de café conilon de diferentes localidades Sul do Espírito Santo, observaram baixos teores de Ca e Mg para a maioria das lavouras amostradas.

A concentração de enxofre (Tabela 3) é considerada baixa (Tabela 1) por Bragança, Lani e Muner (2001). No solo, o enxofre encontra-se na forma orgânica, que representa mais de 90% do total na maioria dos solos, e na forma inorgânica. O enxofre inorgânico é encontrado no solo em combinações de sais de sulfato, sulfetos e minério. O enxofre é absorvido pelas plantas na forma SO_4, que é altamente sujeita às perdas por lixiviação. O enxofre tem como característica principal possuir caráter móvel no solo, tendendo a se concentrar nas camadas subsuperficiais, sobretudo, sendo este fato favorecido pela concentração superficial de fósforo. Solos argilosos com altos teores de óxidos de ferro apresentam grande capacidade de adsorção de SO_4^{2-}, o que diminui a sua movimentação no perfil do solo. Já em solos arenosos a movimentação do SO_4^{2-} é maior e, com isso, pode ser perdido por percolação. Além disso, solos arenosos possuem baixos teores de matéria orgânica, consequentemente, menores reservas de S orgânico (TIWARI, 2006).

Em relação aos micronutrientes (Tabela 3), somente o B foi classificado como baixo (Tabela 1) por Bragança, Lani e Muner(2001), estando todos os outros na faixa considerada de médio a alto (Tabela 1) por Bragança, Lani eMuner(2001) e Comissão de Fertilidade do Solo do Espírito Santo (2007), sendo que o Fe e o Zn foram considerados médios e os demais altos.

O interesse pelo estudo dos micronutrientes em plantas tem aumentado em função dos recentes avanços alcançados pelas pesquisas que evidenciaram seu papel importante na resistência aos estresses e às doenças das plantas e, em extensão, dos animais (WELCH, 1995). Para o café conilon, as quantidades de micronutrientes requeridas variam principalmente em função da idade e da produtividade esperada. O conhecimento das taxas de acúmulo e do total acumulado pelos órgãos dessa espécie e variedade é de grande importância como subsídio para a recomendação e ajuste do programa de adubação das lavouras, notadamente quando se trabalha com níveis ótimos econômicos de produtividade (BRAGANÇA et al., 2007; MARRÉ et al., 2015).

A saturação de bases (V = 60,05%) e a capacidade de troca catiônica a pH 7 - CTC (5,41cmol$_c$/dm^3) foram consideradas adequadas (Tabela 1) para o cafeeiro conilon segundo Bragança, Lani e Muner (2001) e Comissão de Fertilidade do Solo do Espírito Santo (2007).

Um solo que apresenta baixa saturação de bases possui maior adsorção de Al^{3+} e H^{+} e quantidades menores dos cátions básicos Ca^{2+}, Mg^{2+} e K^{+}, adsorvidos aos coloides do solo. O Al^{3+} tóxico presente na solução de solos ácidos compromete o desenvolvimento radicular das plantas levando à menor absorção de água e nutrientes (CARVALHO; SOUSA; SOUSA, 2005). Solos cultivados com café conilon devem apresentar porcentagem de saturação por bases (V%) igual ou superior a 60%, comportando elevadas produções nesta cultura (BRAGANÇA et al., 2007).

Se a maior parte da CTC do solo está ocupada por cátions básicos como $Ca^{2+,}$ Mg^{2+} e K^{+}, pode-se dizer que esse é um solo adequado ao bom desenvolvimento das plantas. Por outro lado, se grande parte da CTC está ocupada por cátions ácidos como H^{+} e Al^{3+} este será um solo pobre do ponto de vista químico. Um valor baixo de CTC indica que o solo tem pequena capacidade para reter cátions em forma trocável; nesse caso, não se devem fazer as adubações e as calagens em grandes quantidades de uma só vez, mas sim de forma parcelada para que se evitem maiores perdas por lixiviação (MACEDO, 2009).

Como visto diferenças relatadas entre padrões de outras regiões permitem confirmar que as normas devam ser regionais e específicas para café conilon, devendo ser ajustadas para altas produtividades.

4 CONCLUSÕES

Foram estabelecidas normas DRIS e faixas de suficiência para solos cultivados com cafeeiro conilon na região Atlântica do Estado da Bahia.

As diferenças relatadas entre padrões de outras regiões permitem confirmar que as normas devam ser regionais e específicas para café conilon, devendo ser ajustadas para altas produtividades.

Os valores de P, K, Mg, S, Cu, Mn, Fe e Zn foram enquadrados como adequados e/ou excessivos. Contudo, os teores de B, Ca e Mg foram considerados baixos.

5 AGRADECIMENTOS

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa e financiamento da pesquisa. Aos diversos cafeicultores que disponibilizaram as áreas para o estudo.

6 REFERÊNCIAS

ALVARES, C. A.et al. Köppen's climate classification map for Brazil. **Metereologische Zeitschrift**,Stuttgart, v. 22, p. 711-728, 2014.

AMARAL, J.F.T.et al. Eficiência de utilização de nutrientes por cultivares de cafeeiro. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.41, n.4, p. 621-629, 2011.

BALDOCK, J.O.; SCHULTE, E.E. Plant analysis with standardized scores combines DRIS and sufficiency range approaches for corn. **Agronomy Journal**, Madison, v.88, n.3, p.448-456, 1996.

BEAUFILS, E.R.; SUMNER, M.E. Application of the DRIS approach for calibrating soil, plant yield and plant quality factors on sugarcane. **Proceedings of the South Africa Sugar Technology Association**, Johannesburg, v.50, p.118-124, 1976.

BRAGANÇA, S. M. et al. Acumulation of macronutrients for the conilon coffee tree. **Journal of Plant Nutrition**, Jefferson City, v. 31, n. 1, p. 103-120, 2011.

_____. Acúmulo de B, Cu, Fe, Mn e Zn pelo cafeeiro conilon.**Ceres**, Viçosa, v. 54, n. 314, p. 398-404, 2007.

BRAGANÇA, S. M.; LANI, J. A.; MUNER, L. H. de. **Café conilon:** adubação e calagem. Vitória: INCAPER, 2001. 31 p.

CARVALHO, J. C. R.; SOUSA, C. S.; SOUSA, C. S. **Fertilização e fertilizantes**. Cruz das Almas: Ed. UFBA, 2005. Disponível em: <http://www.ufrb.edu.br/nutricaomineral/nmp_pg_09/Apostila%20fertilizantes%20e%20fertiliza%E7%E3o.pdf>. Acesso em: 2 abr. 2015.

COMISSÃO DE FERTLIDADE DO SOLO DO ESPÍRITO SANTO. **Manual de recomendação de calagem e adubação para o estado do Espírito Santo:** 5ª aproximação. Vitória: SEEA\INCAPER\CEDAGRO, 2007. 305p.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira:**café safra 2015.Brasília, DF, 2013. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/13_01_09_17_43_49_boletim_cafe_janeiro_2015.pdf>. Acesso em: 15 abr. 2016.

COSTA JUNIOR, C. Carbono em agregados do solo sob vegetação nativa, pastagem e sistemas agrícolas no bioma cerrado. **Revista Brasileira de Ciência de Solo**, Viçosa, v.36, p.1311-1321, 2012.

COVRE, A.M. et al. Nutrients accumulation in bean and fruit from irrigated *Coffea canephora* cv. Conilon. **Emirates Journal of Food and Agriculture**, Abu Dhabi,v. 28, p. 1-8, 2016.

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. **Botanical Journal of the Linnean Society**, London, v. 167, p. 357-377, 2011.

_____.The impact of climate change on indigenous Arabica Coffee (*Coffea arabica*): predicting future trends and identifying priorities. **PlosOne**, London, v. 7, n. 11, p.e47981, 2012.

DIAS, J. R. M. Normas DRIS para cupuaçuzeiro cultivado em monocultivo e em sistemas agroflorestais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 45, n. 1, p.64-71, jan. 2010.

DOW, A. I.; ROBERTS, S. Proposal: critical nutrient ranges for crop diagnosis. **Agronomy Journal**, Madison, v. 74, p. 401-403, 1982.

EFFEGEN, T. A. M. *et al*. Atributos químicos do solo e produtividade de lavouras de cafeeiro conilon submetidas a diferentes tratos culturais no Sul do Espírito Santo.**BioscienceJournal**, Uberlândia, v. 24, n. 2, p. 7-18, 2008.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**.3.ed. Rio de Janeiro, 2013. 359p.

GARCIA, R.A.etal. Potassium cycling in a corn-brachiaria cropping system. **European Journal Agronomy**, London,v. 28, p. 579-585, 2008.

GATIBONI, L. C.; KAMINSKI, J.; SANTOS, D. R.Modificações nas formas de fósforo do solo após extrações sucessivas com Mehlich-1, Mehlich-3 e resina trocadora de ânions.**Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, n. 3, p. 363-371, 2005.

GONÇALVES, H. M. **Sistema integrado de diagnose e recomendação na cultura de cana de açúcar orgânica em Goianésia, Góias**.2012. 117 p. Tese (Doutorado em Produção Vegetal)-Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2012.

INTERNATIONAL COFFEE ORGANIZATION. **Annual review 2015/16:** IOC document. London, 2016. 40 p.

JONES, C.A. Proposed modifications of the diagnosis and recommendation integrated system (DRIS) for interpreting plant analyses. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, London, v.12, p. 785-794, 1981.

LEANDRO, W. M.; CUNHA, P. P._Sistema integrado de diagnose e recomendação (DRIS) na cultura da soja em Silvania-GO. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 36, p. 277-282, 2003.

MACEDO, M. C. M. Integração lavoura e pecuária: o estado da arte e inovações tecnológicas. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 38, p. 133-146, 2009.

MARRÉ, W.B. et al. Micronutrient accumulation in coniloncoffee berries with different maturation cycles. **Revista Brasileira de Ciência Solo**, Viçosa,v. 39, p. 1456-1462, 2015.

MORAIS, N. R. et al. Critérios de interpretação de qualidade do solo para a cultura do algodoeiro produzido do Cerrado goiano. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 25, n. 1, p. 129-140, 2009.

OLADIRAN, O. et al. Phosphorus response efficiency in cowpea genotypes. **Journal of Agricultural Science**, Ontario, v. 4, n. 1, p. 81-90, 2012.

PAIVA JÚNIOR, E.F. **Padrões foliares e de solo para a cultura do feijoeiro comum no vale do Rio dos Bois, Goiás**. 2011. 79 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia)-Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Goiás,Goiânia, 2011.

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**, London, v. 30, p. 1651-1667, 2007.

_____. 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, 2014.

_____. Qualidade da matéria orgânica e distribuição do fósforo no solo de lavouras orgânicas de café Conilon. **Ciência Rural**, Santa Maria,v. 39, p. 2065-2072, 2009.

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, p.43-49, 2006.

ROCHA, A. C.et al.Normas DRIS para cultura do milho semeado em espaçamento reduzido na região de Hidrolândia,GO,Brasil. **Journal of Biosciences**, Uberlândia, v. 23, n. 4, p. 50-60, 2007.

SANTANA, J. G. et al. Normas DRIS para interpretação de análises de folha e solo, em laranjeira pêra, na região central de Goiás. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 38, n. 2, p. 109-117, 2008.

SCHLINDWEIN, J.A.; GIANELLO, C. Calibração de métodos de determinação de fósforo em solos cultivados sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, n.5, p.2037-2049, 2008.

TIWARI, R.J. Response of sugarcane (*Saccharum officinarum*) to direct and residual effect of sulphur. **Indian Journal of Agricultural Sciences**, Delhi, v.76, n.2, p.117-119, 2006.

VIDAL, R. O. et al. A high-throughput data mining of single nucleotide polymorphisms in Coffea species expressed sequence tags suggests differential homeologous gene expression in the allotetraploid *Coffea arabica*. **Plant Physiology**, Bethesda, v. 154, n. 3, p. 1053-1066, 2010.

WALWORTH, J.L.; SUMNER, M.E. The diagnosis and recommendation integrated system (DRIS). In: STEWART, B.A. (Ed.). **Advances in soil science**. New York: Springer Verlag, 1987. v.6, p.149-188.

WELCH, R.M.Micronutrient nutrition of plants. **Critical Reviews in Plant Sciences**, Boca Raton, v. 14, p. 49-82, 1995.

ZECH, W. et al. Factors controlling humification and mineralization of soil organic matter in the tropics. **Geoderma**, Amsterdam, v.79, p.117-161, 1997.

SATURAÇÃO POR BASES PARA O CAFEEIRO BASEADA NO pH DO SOLO E NO SUPRIMENTO DE Ca E Mg

André Guarçoni

(Recebido: 19 de agosto de 2016; aceito: 21 de novembro de 2016)

RESUMO: O método da saturação por bases, utilizado para determinação da necessidade de calagem (NC), pode gerar doses inadequadas, uma vez que a saturação por bases esperada (Ve) é fixa, independentemente do tipo de solo. O objetivo do trabalho foi estabelecer valores adequados de saturação por bases esperada (Ve) para os cafeeiros arábica e conilon decorrentes da relação existente entre essa característica, o pH e o suprimento de Ca e Mg para as plantas, em solos com diferentes classes de CTC pH 7,0 (T). Foram analisadas quimicamente 599 amostras de solos sob café, sendo determinadas suas características químicas. Foi realizada análise de correlação linear e selecionadas equações que melhor representassem a relação entre o pH e V. Foram estimadas saturações por bases que estariam relacionadas a valores de pH sugeridos para os cafés arábica e conilon, bem como ao suprimento adequado de Ca e Mg, considerando solos com CTC pH 7,0 classificada como baixa, média ou boa. A relação existente entre pH do solo e V não é linear. Para um mesmo pH, o valor de V varia de acordo com a CTC pH 7,0 do solo. Foram estabelecidas distintas equações que relacionam pH e V, considerando a classe de CTC pH 7,0. Recomendam-se os seguintes valores de saturação por bases esperada (Ve) para o cafeeiro, de acordo com a classe de CTC pH 7,0 do solo (T): Ve = 90% (T baixa: TBa$\leq$ 4,30 $cmol_c\ dm^{-3}$), Ve = 70% (T média: 4,30 < TM$\leq$ 8,60 $cmol_c\ dm^{-3}$) e Ve = 60% (T boa: 8,60 < TBo$\leq$ 15,00 $cmol_c\ dm^{-3}$).

Termos para indexação: Calcário, recomendação, cálcio, magnésio.

BASE SATURATION FOR COFFEE PLANTATIONS STABLISHED ACCORDING TO SOIL pH AND Ca AND Mg SUPPLY

ABSTRACT: *The base saturation method (BSat), used to determining lime requirement (LR), may produce inadequate doses, since the expected base saturation (Ve) is fix, independently of the soil type. The aim of this work was to determine adequate expected base saturation (Ve) for the Arabica and Conilon coffee according to relationship between this characteristic, pH and Ca and Mg supply for the plants, in soils with different classes of cation-exchange capacity at pH 7 (T). Several chemical characteristics of 599 soil samples collected under coffee plantations were analyzed. Linear correlation analysis was performed, and selecting equations that best represent the relationship between pH and V. Base saturations were estimated that would be related to suggested pH values for the arabica and conilon coffees, as well as the adequate supply of Ca and Mg, considering soils with low, medium or good T. The relationship between pH and V was not linear. Take into account the same soil pH, V changing accordingly to T. It was recommended the following Ve values for coffee plantations, according to T classes: Ve = 90% (for low T: TL$\leq$ 4,30$cmol_c\ dm^{-3}$), Ve = 70% (for medium T: 4,30 < TM $\leq$ 8,60 $cmol_c\ dm^{-3}$) and Ve = 60% (for good T8,60 <TG$\leq$ 15,00 $cmol_c\ dm^{-3}$).*

Index terms: *Lime, recommendation, calcium, magnesium.*

1 INTRODUÇÃO

Os solos intemperizados, como os presentes na maioria das regiões onde se cultiva o café no Brasil, apresentam, em sua condição natural, elevada acidez e baixas concentrações de nutrientes disponíveis para as plantas. Dessa forma, caso não sejam aplicadas quantidades suficientes de corretivos e fertilizantes ao solo, a obtenção de baixas produtividades é uma consequência mais do que óbvia.

A aplicação de calcário é a técnica mais adequada e econômica para corrigir a acidez dos solos, elevando seu pH, reduzindo a toxidez de elementos químicos como o Al^{3+} e aumentando diretamente os teores no solo dos nutrientes Ca e Mg (ANJOS; SOBRAL; LIMA JÚNIOR, 2011; MACHADO et al., 2014; PREZOTTI; GUARÇONI, 2013; SOUZA; MIRANDA; OLIVEIRA, 2007).

A calagem, que nada mais é do que a ação de aplicar calcário ao solo, seja de forma incorporada ou em superfície, melhora, como consequência da redução na acidez, suas características químicas e propriedades, aumentando a disponibilidade de nitrogênio, de fósforo e de potássio, a CTC efetiva (t), a atividade de microrganismos e a colonização micorrízica (ARANTES; LAVORENTI; TORNISIELO, 2007; BRIEDIS et al., 2012; GUARÇONI; MENDONÇA, 2003; NOGUEIRA et al., 2013; SCHNEIDER et al., 2011; SILVA et al., 2007).

Por outro lado, se aplicado em excesso, o calcário pode ocasionar aumento da densidade do solo e do teor de argila dispersa em água, com consequente redução da macro e da microporosidade (SPERA et al., 2008), além de reduzir a disponibilidade de micronutrientes metálicos (MELO et al., 2011).

[1]Instituto Capixaba de Pesquisa - Assistência Técnica e Extensão Rural / INCAPER- BR 262, Km 94 - CRDR - Centro Serrano Venda Nova do Imigrante - ES - 29.375-000 guarconi@incaper.es.gov.br

A calagem é, nesse contexto, uma tecnologia fundamental para que as plantas consigam expressar seu potencial produtivo, alcançando produtividades que tornem seu cultivo cada vez mais econômico e rentável (NATALE et al., 2012). Entretanto, a necessidade de calagem (NC), que se traduz na quantidade de calcário (PRNT 100%) a ser aplicada na superfície de um hectare (10.000 m2) e incorporada até 0,20 m de profundidade no solo (SOUZA; MIRANDA; OLIVEIRA, 2007), deve ser estimada de forma criteriosa. Caso o método escolhido para determinação da NC não seja adequado à situação prática em questão, podem ser aplicadas doses insuficientes ou, pior, excessivas, que, de uma forma ou de outra, irão acarretar queda na produtividade das lavouras em relação ao seu potencial produtivo.

Dentre os métodos utilizados no Brasil para determinação da NC, o método da Saturação por Bases (SatB) (RAIJ et al., 1983) é um dos mais difundidos, empregando-se a seguinte fórmula de cálculo: NC = (Ve – Va) T/100. Esse método tem seu princípio de recomendação baseado na relação existente entre a saturação por bases (V) e a acidez ativa dos solos, expressa, na maioria das vezes, por meio do pH em água (1:2,5). Essa relação é conhecida há mais de 60 anos, sendo apresentada por Catani e Gallo (1955) e discutida detalhadamente por Raij, Sacchetto e Igue (1968).

Mesmo com a modificação das propriedades dos solos pela agricultura cada vez mais intensiva, trabalhos mais recentes, como o de Batista et al. (2015), continuam demonstrando que a calagem promove aumentos proporcionais nos valores de V e do pH do solo.Todavia, a intensidade de correlação entre essas variáveis pode variar de acordo com o tipo de solo que recebeu a calagem, como descrito por Corrêa et al. (2007), Nicolodi, Anghinoni e Gianello (2008), Raij, Sacchetto e Igue (1968),Silva et al. (2007), Souza et al. (1989) e Vasconcelos, Santana e Ferreira(1994).

No método SatB, ao se propor o alcance de uma definida saturação por bases para o solo (V esperada ou Ve), pretende-se atingir níveis de pH que favoreçam o bom desenvolvimento radicular e a adequada disponibilização de nutrientes, além de fornecer Ca e Mg em quantidades suficientes, visando alcançar elevadas produtividades das culturas de interesse. Entretanto, essa não é uma relação de causa e efeito direta, ou seja, o pH não varia diretamente em função da V, ambos variam proporcionalmente de acordo com a quantidade de calcário aplicada, como reportado por Silva et al. (2007).

Tanto a V quanto o pH são características do solo variáveis e dependentes, nesse contexto, da calagem. Para que se eleve a V do solo de forma consistente, deve-se aplicar, além dos cátions básicos (Ca, Mg, K e até mesmo Na), uma fonte geradora de hidroxila para o meio, como carbonato ou silicato. Portanto, para que sejam recomendadas doses adequadas de calcário, utilizando-se o método SatB, deve-se conhecer a estimativa da relação existente entre esta característica e o pH, que, indubitavelmente, não é a mesma para todos os tipos de solo.

Os valores de V a serem alcançados com a calagem são definidos pela pesquisa para diversas culturas, denominando-os como V_2 ou mais explicitamente como Ve, ou seja, a saturação por bases esperada para as culturas de interesse. Como são variáveis positivamente correlacionadas, dependentes da calagem, espera-se que o pH dos solos aumentem proporcionalmente e concomitantemente à V. O problema é que, para determinada Ve, o valor de pH alcançado a partir da calagem é muito variável em função do tipo de solo, como reportado por diversos autores que elaboraram equações que correlacionavam pH e V, partindo de Catani e Gallo (1955) e prosseguindo, dentre outros, com Faquin et al. (1998), Nicolodi, Anghinoni e Gianello (2008), Raij, Sacchetto e Igue (1968), Silva et al. (2007), Souza et al. (1989) e Vasconcelos, Santana e Ferreira (1994). Todas essas estimativas, que geraram diferentes equações para a relação existente entre pH e V, revelam a dificuldade em se definir um valor único de Ve para uma mesma cultura em diferentes tipos de solo.

Para o café, o valor de Ve mais aceito é o de 60 % (ALVAREZ V.; RIBEIRO, 1999), mas este pode ser adequado ou não, de acordo com o solo no qual a cultura é implantada. Há, portanto, necessidade de se avançar ainda mais neste pormenor, uma vez que, apesar de um pouco esquecido atualmente, este é um tema que ainda carece de respostas mais abrangentes.

O objetivo do presente trabalho foi estabelecer valores adequados de saturção por bases esperada (Ve) para os cafeeiros arábica e conilon decorrentes da relação existente entre essa característica, o pH e o suprimento de Ca e Mg para as plantas, em solos com diferentes classes de CTC pH 7,0 (T).

2 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi desenvolvido utilizando-se banco de dados com resultados de análises químicas de 599 amostras de solos sob café, localizados

em diversas regiões do estado de Minas Gerais. Foram determinadas características de acidez, formas disponíveis e trocáveis de nutrientes, teor de matéria orgânica (MO) e propriedades derivadas, sendo utilizados os seguintes métodos de análise descritos por Defelipo e Ribeiro (1997): pH (H_2O) 1:2,5; Matéria Orgânica, oxidação com dicromato de potássio, Walkley-Black; P e K, Mehlich-1; Ca^{2+}, Mg^{2+} e Al^{3+}, KCl 1,0 mol L^{-1}; H+Al e CTC pH 7 (T), extrator $Ca(OAc)_2$ 0,5 mol L^{-1}pH 7,0.

Foram calculados os limites mínimo e máximo, a média, a mediana, o desvio padrão e o coeficiente de variação das características químicas determinadas nas 599 amostras de solos sob café. Foi realizada análise de correlação linear simples (Pearson) entre os valores das características químicas dos solos. Posteriormente, foram selecionadas equações que melhor representassem as correlações significativas de elevada magnitude ($r \geq 0,75$) entre o pH e as demais características químicas determinadas.

Os solos foram agrupados, então, de acordo com a classe de CTC pH 7,0 (T), sendo calculadas novas correlações, mas desta feita apenas entre o pH e a saturação por bases (V). Foram selecionadas, novamente, equações que representassem as correlações significativas e de elevada magnitude ($r \geq 0,75$). Estas foram comparadas com as equações obtidas por outros autores, para solos com as mesmas faixas de CTC pH 7,0; visando aferir as relações existentes entre os valores de pH e de V para cada situação.

Considerando os valores de pH do solo sugeridos para a cultura do café (entre 5,8 e 6,0), definidos em manuais de recomendação para os cafés arábica e conilon (GUIMARÃES et al., 1999; PREZOTTI et al., 2007) e corroborados em trabalhos de campo (EFFGEN et al., 2008; SILVA et al., 2004), foram estimados valores de V esperada (Ve) a serem utilizados no método SatB[NC = (Ve – Va) T/100] (RAIJ et al., 1983), para solos agrupados de acordo com a classe de T. Com estes valores, foi determinada a necessidade de calagem pelo método SatB para cada uma das 599 amostras de solos, comparando as doses recomendadas com a necessidade de Ca+Mg proposta por Alvarez e Ribeiro (1999) para a cultura do café.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise estatística das características químicas determinadas nas 599 amostras de solos demonstrou a amplitude do banco de dados utilizado, explicitada pelos valores mínimos e máximos e pelos coeficientes de variação (CV) (Tabela 1).

A variabilidade das características químicas é uma consequência dos diferentes solos e dos diversos tipos de manejo representados por estas amostras, demonstrando que a cafeicultura é realizada em situações completamente heterogêneas, mesmo considerando a amostra irrisória em relação ao número total de lavouras produtivas.

A única característica química dos solos que apresentou correlação significativa e de elevada magnitude ($\geq 0,75$) com o pH foi a saturação por bases (V), com coeficiente de correlação igual a 0,80; significativo a 0,1% de probabilidade ($r = 0,80^{***}$). Esta relação já foi observada em diversos trabalhos, como os de Corrêa et al. (2007), Faquin et al. (1998), Nicolodi, Anghinoni e Gianello (2008), Raij, Sacchetto e Igue (1968), Silva et al. (2007),Souza et al. (1989) e Vasconcelos, Santana e Ferreira (1994), mas com magnitudes diferentes, e maior intensidade de correlação em algumas situações específicas.

Foram testados outros modelos preditivos para esta relação, via regressão, além do modelo linear. O modelo que mais se ajustou aos dados foi o modelo raiz quadrático (Figura 1). Por este modelo, pode-se afirmar que a relação entre pH e V não é linear, fato este também observado por Faquin et al. (1998) e Nicolodi, Anghinoni e Gianello (2008).

Utilizando o modelo selecionado para prever as consequências de diversos cenários, foi observado que até V = 78% os acréscimos correspondentes no pH, para cada 1% de incremento em V, eram elevados. Contudo, a partir de V = 78%, o valor do pH aumentou de apenas 0,01 para cada 1% de acréscimo em V, demonstrando que a intensidade de correlação tende a diferir entre dois patamares de V, um menor ou igual a 78% e outro maior do que este valor. Isso se deve ao fato do pH do solo variar de forma quadrática a partir de doses crescentes de $CaCO_3$ (FRADE JÚNIOR et al., 2013; SOUSA et al., 2013), ou seja, quando o pH do solo é baixo, a aplicação de calcário promove maior incremento nesta característica, diminuindo o efeito da calagem sobre o pH à medida em que a acidez do solo vai sendo reduzida. Mas o aumento na V a partir da aplicação de calcário é linear (CORRÊA et al., 2007), o que bem explica o modelo de resposta selecionado para a relação pH x V.

TABELA 1 - Limites máximo e mínimo, média, mediana, desvio padrão (s) e coeficiente de variação (CV) de características químicas determinadas em 599 amostras de solos sob lavouras de café.

Estatísticas	Caracterísitcas	da	fertilidade	do	solo		
	pH	P	K	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Al^{3+}	H+Al
		--------mgdm^{-3} --------		----------cmol$_c$dm^{-3} ----------			
Mínimo	3,86	0,10	1,00	0,02	0,01	0,00	0,20
Máximo	6,67	81,50	210,00	9,93	2,73	2,60	15,00
Média	5,02	1,79	24,30	1,13	0,29	0,28	3,74
Mediana	4,97	0,80	15,00	0,85	0,22	0,20	3,40
s	0,47	4,84	28,54	1,11	0,29	0,37	1,91
CV (%)	9,44	271,14	117,46	98,85	99,74	132,07	50,98
	SB	t	T	V	m	P-rem	MO
	---------- cmol$_c$dm^{-3} ----------			---------- % -------		mgL^{-1}	g kg^{-1}
Mínimo	0,06	0,16	1,05	1,50	0,00	0,38	1,60
Máximo	12,38	12,48	17,58	90,80	90,60	11,17	52,70
Média	1,48	1,76	5,22	28,49	21,07	2,15	34,03
Mediana	1,14	1,53	4,80	25,10	13,90	1,77	35,20
s	1,40	1,33	2,34	18,54	21,94	1,43	8,96
CV (%)	94,67	75,51	44,79	65,07	104,14	66,45	26,32

1/pH (H2O), P e K: Mehlich-1, Ca2+, Mg2+ e Al3+: KCl 1 mol L-1, H+Al e T: Ca(OAc)2 0,5 mol L-1 pH 7,0, P-rem: P em solução após agitação por 1 h de 60 mol L-1 de P em CaCl2 10 mmolL-1, na relação solo:solução de 1:10 (ALVAREZ et al., 2000), Matéria orgânica (MO): oxidação com dicromato de potássio, Walkley-Black.

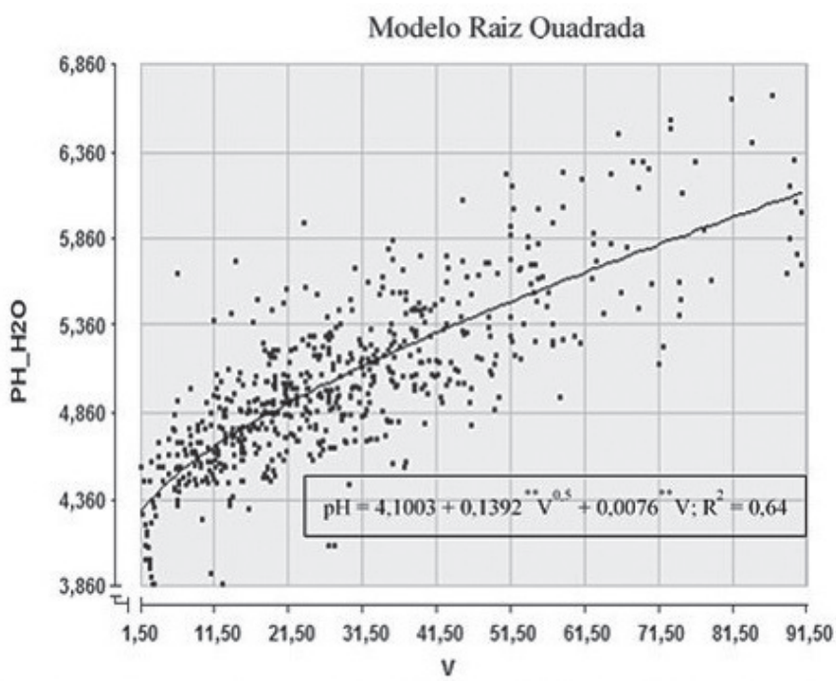


FIGURA 1 - Modelo preditivo para a relação entre pH e V (%) considerando 599 amostras de solos sob lavouras de café.

Devido ao baixo valor do coeficiente de determinação (R^2) do modelo selecionado (Figura 1), pode-se inferir que uma única equação não seja suficiente para traduzir esta relação em todas as situações. Nesse sentido, Nicolodi, Anghinoni e Gianello (2008) observaram relações não lineares entre indicadores da acidez dos solos, inclusive entre pH e V, e sugeriram que a separação dos solos em pelo menos dois grupos, um menos argiloso, com menor teor de matéria orgânica, e outro mais argiloso, com maior teor de matéria orgânica, proporcionaria maior grau de associação entre as variáveis. Inferindo diretamente sobre o que sugerem esses autores, pode-se dizer que haveria maior grau de associação entre pH e V se os solos fossem agrupados de acordo com sua classe de CTC pH 7,0 (T). Não obstante, deve-se partir da premissa de que tanto pH quanto V são variáveis dependentes, nesse contexto, da quantidade de calcário aplicada.

A característica química do solo que mais influencia a determinação da necessidade de calagem pelo método SatB, devido a forma de cálculo, é a CTC pH 7,0 (T). Além disso, a T apresentou elevada correlação com a acidez potencial (H+Al) ($r = 0,80^{***}$) e com o teor de matéria orgânica dos solos ($r = 0,89^{***}$), ambas significativas a 0,1% de probabilidade, o que reafirma a inferência realizada. Dessa forma, optou-se por agrupar os solos de acordo, unicamente, com a classificação de T, uma vez que esta é uma característica de grande influência sobre o fenômeno.

As amostras de solos do banco de dados (599 amostras) foram agrupadas, então, em quatro grupos: solos com T classificada como baixa (TBa$\leq$ 4,30 $cmol_c\ dm^{-3}$, grupo composto por 223 amostras), média (4,30< TM $\leq$ 8,60 $cmol_c\ dm^{-3}$, grupo composto por 337 amostras), boa (8,60<TBo$\leq$ 15,00 $cmol_c\ dm^{-3}$, grupo composto por 32 amostras) e muito boa (TMBo> 15,00 $cmol_c\ dm^{-3}$, grupo composto por sete amostras), de acordo com classificação proposta por Alvarez V. e Ribeiro. Todavia, o grupo formado pelos solos com T classificada como muito boa (TMBo) foi composto por apenas sete amostras, sendo que apenas duas delas apresentaram pH abaixo de 6,0. Então, partindo do princípio de que este grupo não seria adequadamente representado, resolveu-se por descartá-lo. Ademais, solos com valores de T maiores do que 15,00 $cmol_c dm^{-3}$ geralmente apresentam capacidade tampão de pH muito elevada, como observado por Faquin et al. (1998) e Silva et al. (2008), o que tenderia a provocar um viés na tese levantada.

Mantendo-se apenas os solos com T classificada como baixa (TBa$\leq$ 4,30 $cmol_c\ dm^{-3}$), média (4,30 < TM $\leq$ 8,60 $cmol_c\ dm^{-3}$) e boa (8,60 <TBo$\leq$ 15,00 $cmol_c\ dm^{-3}$), foram calculadas novas correlações entre pH e V, obtendo-se equações lineares para as mesmas (Tabela 2).

As equações apresentadas na Tabela 2 foram comparadas com equações estabelecidas por outros autores, usando como referência a classe de T dos solos utilizados nos diversos trabalhos, de forma que a comparação entre equações fosse realizada para solos com a mesma classe ou com a classe de T mais próxima possível. É importante ressaltar que todos os autores apresentados a seguir determinaram H+Al pelo método do acetato de cálcio ($Ca(OAc)_2$ 0,5 mol L^{-1} pH 7,0).

A equação estabelecida para o grupo de solos com T classificada como baixa (TBa$\leq$ 4,30 $cmol_c dm^{-3}$) foi comparada com a equação sugerida por Silva et al. (2007). Estes autores trabalharam com um Latossolo Vermelho distrófico típico de textura média, no qual aplicaram cinco doses crescentes de calcário em cobertura, avaliando seu efeito em quatro profundidades na linha de plantio e na entrelinha. Apesar de nem todas as amostras apresentarem T classificada como baixa, todas ficaram bem próximas do valor limite de 4,30 $cmol_c dm^{-3}$. Equação de Silva et al. (2007): pH = 3,630 + 0,0276 V.

A equação proposta para o grupo de amostras com T classificada como média (4,30 < TM $\leq$ 8,60 $cmol_c dm^{-3}$) foi comparada com a equação definida por Corrêa et al. (2007). Estes autores trabalharam num Latossolo Vermelho-Amarelo argiloso, com T de 8,60 $cmol_c dm^{-3}$, onde aplicaram doses crescentes de calcário e avaliaram os efeitos da calagem e a produtividade do café. Equação de Corrêa et al. (2007): pH = 2,698 + 0,0490 V.

Para o grupo de solos com T classificada como boa (8,60 <TBo$\leq$ 15,00 $cmol_c\ dm^{-3}$), utilizou-se como fonte de comparação a equação sugerida por Raij, Cantarella e Zullo (1979). Esta equação é, na verdade, baseada num grupo de equações estabelecidas por Raij, Sacchetto e Igue (1968) para diversas amostras superficiais e subsuperficiais de solos com B Textural ou B Latossólico do estado de São Paulo. A equação de Raij, Cantarella e Zullo (1979) é, devido à forma com que foi elaborada, mais um modelo teórico do que a expressão de uma situação prática, sendo considerada como o símbolo da relação existente entre pH e V. Equação de Raij, Cantarella e Zullo (1979): pH = 4,50 + 0,025 V.

TABELA 2 - Modelos de correlação linear entre pH e saturação por bases (V%), para solos agrupados de acordo com a classe da CTC a pH 7,0 (T).

Classe de T[1/]	Equação	Coeficiente de correlação (r)
T Baixa (TBa)	pH = 4,495 + 0,0162**V	0,76***
T Média (TM)	pH = 4,412 + 0,0223**V	0,83***
T Boa (TBo)	pH = 4,260 + 0,0292**V	0,86***

[1/]T classificada como baixa (TBa≤ 4,30 $cmol_c$ dm^{-3}), média (4,30< TM ≤ 8,60 $cmol_c$ dm^{-3}) e boa (8,60<TBo≤ 15,00 $cmol_c$ dm^{-3}); *** e ** significativo aos níveis de 0,1 e 1% de probabilidade, respectivamente.

Com as equações estabelecidas no presente trabalho e com as equações definidas pelos autores citados, foram calculadas as saturações por bases que estariam relacionadas aos valores de pH do solo sugeridos para os cafeeiros arábica e conilon (5,8 a 6,0) (EFFGEN et al., 2008; GUIMARÃES et al., 1999; PREZOTTI et al., 2007; SILVA et al., 2004). A partir dos resultados, ficou evidente a equivalência entre as equações selecionadas para os grupos de solos organizados de acordo com a classificação de T e as equações sugeridas por outros autores, para solos com as mesmas classes de T utilizadas no presente trabalho (Tabela 3).

Foi também observado que à medida em que se aumentaram os valores de T dos solos ocorreu redução nos valores de V associados a valores de pH sugeridos para o cafeeiro (Tabela 3). É interessante ressaltar que a clássica equação proposta por Raij, Cantarella e Zullo (1979) representa muito bem a relação entre pH e V em solos com T classificada como boa, não sendo adequada para representá-la em todas as classes de T, como poder-se-ia equivocadamente pensar.

No método SatB de recomendação da NC, para cada 10% que se aumenta na V esperada (Ve), a dose de calcário recomendada, em t ha^{-1}, aumenta 1/10 da T do solo em $cmol_c$ dm^{-3}, ou seja, num solo com T de 3,5 $cmol_c$ dm^{-3}, para cada aumento de 10% em Ve, seriam aplicados 0,35 t ha^{-1} de calcário. Já em um solo com T de 15 $cmol_c dm^{-3}$, para cada 10% de aumento em Ve, seriam aplicados 1,5 t ha^{-1} de calcário. Nos dois casos, esses acréscimos independem, matematicamente, da saturação por bases apresentada pelo solo no momento da amostragem (Va). Essa diferença, relativizada pela magnitude da T do solo, pode levar à distinta relação entre pH e V existente nos solos com diferentes classificações de T, e explica por que um mesmo valor de pH se relaciona a valores de V mais elevados em solos com T classificada como baixa, e a menores valores de V em solos com T classificada como boa (Tabela 3), mesmo se for considerado o efeito da capacidade tampão, que não tende a ser tão acentuado em solos com esta última classificação.

A relação existente entre pH e V determinados nos solos, pode ser extrapolada para a relação entre pH e a V esperada (Ve) do método SatB de determinação da necessidade de calagem, pois autores como Corrêa et al. (2007) e Faquin et al. (1998) demonstraram haver estreita correlação entre a Ve utilizada nos cálculos da NC e a V apresentada pelos solos após período adequado de reação do calcário aplicado.

Para se atingir valores adequados de pH do solo para as diversas culturas, diferentes valores de Ve devem ser, então, utilizados, de modo que estes sejam maiores em solos com baixa T e menores em solos com T mais elevada (Tabela 3). Portanto, não se deve utilizar apenas um único valor de Ve para cada cultura, independentemente da T do solo, como é atualmente recomendado.

Considerando especificamente a cultura do café, para a qual é recomendada, usualmente, uma V esperada (Ve) de 60%, valores de pH completamente distintos seriam alcançados após se proceder a calagem utilizando Ve = 60%, em solos com diferentes classificações de T, como se pode verificar utilizando as equações apresentadas na Tabela 2.

Se o pH do solo ficar abaixo do adequado, como seria o caso de solos com baixa T, poderia ocorrer toxidez de elementos como Al^{3+} e menor disponibilidade de macronutrientes, como sustentado por Melo et al. (2011). Por outro lado, em solos com T classificada como boa, o pH tenderia a atingir valores acima do adequado, reduzindo, segundo Melo et al. (2011), a disponibilidade de micronutrientes metálicos, especialmente de Zn, que, de acordo com Menezes et al. (2010), teria sua absorção diminuída devido ao aumento da adsorção deste nutriente ao solo e à redução em sua solubilidade. Essa pode ser uma das causas de relatos sobre a ineficácia da calagem, que, segundo Silva et al. (2007), nem sempre é realizada de forma adequada.

TABELA 3 - Saturações por bases (V) associadas a valores ideais de pH para os caféas arábica e conilon considerando modelos estabelecidos para solos com diferentes classes de CTC pH 7,0 (T).

	T baixa[1/]		T média[2/]		T boa[3/]	
pHsolo (Café)	TBa	Silva et al. (2007)	TM	Corrêa et al. (2007)	TBo	Raij et al. (1979)
			%			
5,80	80	79	62	63	53	52
5,90	87	82	67	65	56	56
6,00	93	86	71	67	59	60

[1/]pH = 4,50 + 0,0162V e pH = 3,63 + 0,0276V, T classificada como baixa: ($T \leq 4,30$ $cmol_c$ dm^{-3});[2/] pH = 4,41 + 0,0223V e pH = 2,70 + 0,0490V, T classificada como média ($4,30 < T \leq 8,60$ $cmol_c$ dm^{-3}); [3/] pH = 4,30 + 0,0292V e pH = 4,50 + 0,0250V, T classificada como boa ($8,60 < T \leq 15,00$ $cmol_c$ dm^{-3}); respectivamente.

A partir das constatações apresentadas, podem ser sugeridos novos valores de Ve para a fórmula do método SatB: NC = (Ve-Va)T/100 pois a saturação por bases comumente recomendada para o café (Ve = 60%) claramente não surtiria o efeito desejado em todos os casos (Tabela 3). Assim, de acordo com as equações apresentadas na Tabela 3, pode-se sugerir: Ve = 90% (solos com T classificada como baixa), Ve = 70% (solos com T classificada como média) e Ve = 60% (solos com T classificada como boa), para que o pH dos solos alcance valores próximos dos recomendados para os cafeeiros arábica e conilon (5,8 a 6,0).

As relações entre pH e V estabelecidas no presente estudo, nas quais se consideram as classes de T, não seriam adequadas para solos com característica de hidromorfismo ou com teores de matéria orgânica muito elevados, como os estudados por Faquin et al. (1998). Esses autores demonstraram que estes tipos de solos tendem a apresentar comportamento distinto, devido à elevada capacidade tampão de pH, havendo necessidade de maiores doses de calcário para que valores mais adequados de pH do solo sejam alcançados. Outros fatores, como a mineralogia da fração argila (SILVA et al., 2008), podem também reduzir a capacidade preditiva das equações ora apresentadas, mas, por serem definidas de acordo com a classe de T, certamente são muito menos sensíveis a essas variações do que modelos únicos para qualquer situação, como utilizado atualmente.

Quando se utiliza o método da saturação por bases para recomendar a necessidade de calagem, é possível estimar os valores de pH do solo que seriam alcançados de acordo com o valor preestabelecido da saturação por bases esperada (Ve), caso exista um modelo preditivo que bem represente a relação pH x V. Contudo, utilizando o mesmo método, não se pode estimar se quantidades suficientes de Ca e Mg seriam fornecidas via calagem.

Utilizando os valores de V esperada (Ve) para a cultura do café, aqui sugeridos, foram calculadas frequências de distribuição das doses de necessidade de calagem (NC) determinadas pelo método SatB, para as 592 amostras de solo estudadas (599 menos as sete amostras do grupo TMBo, que foram retiradas do trabalho), em relação à necessidade de Ca+Mg para o cafeeiro estipulada por Alvarez V. e Ribeiro (Tabela 4).

Para o grupo de solos com T classificada como baixa, mesmo utilizando uma Ve = 90%, maior do que o recomendado para o cafeeiro (Ve = 60%), em apenas 28% dos casos as doses de calcário seriam suficientes para suprir as plantas com Ca e Mg. Considerando o grupo de solos com T classificada como média (Ve = 70%), em 64% dos casos seria recomendada quantidade suficiente de calcário para suprir as plantas adequadamente com Ca e Mg.

Os resultados do presente trabalho demonstram claramente que o valor da V esperada (Ve), para uma mesma cultura, não deve ser fixo para solos com diferentes classes de T, considerando não só as variações no pH, mas também as quantidades de Ca e Mg adicionadas via calagem.

A porcentagem de T a ser preenchida pela soma de bases pode acarretar quantidades muito baixas de Ca e Mg disponíveis para as culturas, como ficou demonstrado. Nesse caso, mesmo que o pH atinja nível adequado, as plantas podem apresentar deficiência de Ca e Mg. Portanto, avaliar a disponibilidade de nutrientes para as plantas, utilizando porcentagens preenchidas de T não é adequado, a não ser que se defina previamente a magnitude de T.

TABELA 4 - Necessidades de calagem calculadas com as saturações por bases esperadas (Ve) sugeridas para grupos de solos com diferentes classificações de CTC pH 7,0 (T), e frequência de distribuição em que essas doses supririam adequadamente as plantas de café com cálcio e magnésio.

Estatísticas	Classificação de T		
	Baixa (Ve = 90%)	Média (Ve = 70%)	Boa (Ve = 60%)
		NC (t ha^{-1})	
Mínimo	0,00	0,00	0,00
Máximo	3,77	5,74	8,06
Média	2,10	2,39	4,03
Mediana	2,27	2,44	4,60
S	0,86	1,01	2,45
CV (%)	40,89	42,32	60,82
Suprimento (Ca+Mg)[1/]	----------	%	----------
NC ≥ X-(Ca+Mg)[2/]	28	64	100

[1/] Valor sugerido por Alvarez e Ribeiro (1999) X = 3,5 $cmol_c dm^{-3}$ de Ca+Mg; [2/] Necessidade de suprimento, via calagem, de Ca+Mg para o cafeeiro, ou seja, o que a planta precisa (X), menos o que o solo pode suprir (Ca+Mg), sendo especificamente a segunda parte da fórmula do método de neutralização do Al^{3+} e elevação dos teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} para cálculo da necessidade de calagem.

Pode-se questionar a adequação do teor de 3,5 $cmol_c dm^{-3}$ de Ca+Mg proposto por Alvarez V. e Ribeiro (1999), alegando-se ser este elevado. No entanto, é muito difícil, considerando as necessidades do cafeeiro em Ca e Mg, que este valor seja menor do que 3,0 $cmol_c dm^{-3}$ de Ca+Mg, gerando praticamente o mesmo impacto sobre a necessidade de suprimento de Ca e Mg via calagem. Além disso, 3,5 $cmol_c dm^{-3}$ de Ca+Mg é o valor utilizado no método da neutralização do Al^{3+} e elevação dos teores de Ca^{2+} e Mg^{2+}, empregado em Minas Gerais, maior produtor de café do Brasil, o que torna sua aplicabilidade prática pouco duvidosa. Deve-se ressaltar que este é, até o momento, o mesmo valor recomendado para o café conilon, ou seja, para as duas espécies de café se recomendam Ve = 60 % e X = 3,5 cmolc dm^{-3}.

Novas alternativas devem ser utilizadas, portanto, para melhor ajustar as doses de calcário determinadas pelo método SatB nas condições onde o suprimento de Ca e Mg seria deficitário. Uma dessas alternativas pode ser fundamentada no cálculo da dose de calcário utilizando-se, em conjunto, a V esperada (Ve) e a necessidade de Ca+Mg da cultura. Se a dose calculada dessa forma for maior do que a suportada pelo solo (NC ≥ H+Al), o que não ocorre quando se utiliza exclusivamente o método SatB, pode-se pensar no parcelamento da calagem, sendo este o único caso de parcelamento aceitável.

Nos solos com T classificada como boa, mesmo utilizando-se o valor de Ve = 60%, as quantidades de Ca e Mg fornecidas via calagem seriam suficientes para suprir as plantas em 100% dos casos (Tabela 4). Um menor percentual de bases preenchendo elevada T corresponde a concentrações de Ca^{2+} e Mg^{2+} no solo de maior amplitude, como seria de esperar, suprindo as plantas de forma satisfatória.

Esses fatores relacionados à calagem têm grande influência sobre a produtividade do cafeeiro, e claramente explicam alguns resultados de pesquisa à primeira vista surpreendentes, como os de Raij et al. (1996). Num solo com T de 2,8 $cmol_c dm^{-3}$, esses autores obtiveram a maior produtividade de café quando utilizaram a dose de 4 t ha^{-1} de calcário dolomítico. Todavia, segundo os mesmos, se fosse utilizada V esperada (Ve) de 70% para cálculo da necessidade de calagem pelo método da SatB, seria recomendada para esta situação a dose de 2 t ha^{-1} de calcário dolomítico. Então, embora maiores Ve permitam alcances de valores de pH mais adequados em solos com baixa T, ainda assim a dose recomendada pode não ser suficiente para suprir as plantas com Ca e Mg, o que parece ter sido o caso do trabalho citado.

Na definição da V esperada (Ve) para cálculo da necessidade de calagem, utilizando o método da Saturação por Bases, deve ser considerada a classe da CTC pH 7,0 (T) do solo, pois esta influencia diretamente a dose e consequentemente os valores de pH alcançados após a calagem, bem como as quantidades de Ca e Mg disponíveis para as plantas.

4 CONCLUSÕES

A relação existente entre pH do solo e V não é linear.

Para um mesmo pH do solo, os correspondentes valores de V variam de acordo com a CTC pH 7,0.

Recomendam-se os seguintes valores de Ve para o cafeeiro, de acordo com a classificação da CTC pH 7,0 do solo (T): Ve = 90% (T baixa: T≤ 4,30 $cmol_c$ dm^{-3}), Ve = 70% (T média: 4,30 < T≤ 8,60 $cmol_c$ dm^{-3}) e Ve = 60% (T boa: 8,60 < T≤ 15,00 $cmol_c$ dm^{-3}).

Na grande maioria das situações, para solos com CTC pH 7,0 classificada como baixa ou média, as doses da necessidade de calagem calculadas pelo método da Saturação por Bases não são suficientes para suprir as plantas de café com Ca e Mg, mesmo utilizando os valores de Ve mais elevados preconizados neste trabalho.

5 REFERÊNCIAS

ALVAREZ V., V.H. et al. Determinação e uso do fósforo remanescente. **Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, n. 1, p. 27-32, 2000.

ALVAREZ, V.H.; RIBEIRO, A.C. Calagem. In: RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G.; ALVAREZ, V.H. (Ed.). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais:** 5ª aproximação. Viçosa, MG: CFSEMG, 1999. cap. 8, p. 43-60.

ANJOS, J.L.; SOBRAL, L.F.; LIMA JUNIOR, M.A. Efeito da calagem em atributos químicos do solo e na produção da laranjeira. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.15, n.11, p.1138-1142, nov. 2011.

ARANTES, S.A.C.M.; LAVORENTI, A.; TORNISIELO, V.L. Efeito da calagem e do glifosato na atividade microbiana de diferentes classes de solos. **Pesticidas:** Revista de Ecotoxicologia e Meio Ambiente, Curitiba, v. 17, p. 19-28, jan./dez. 2007.

BATISTA, A. H. et al. Liming and fertilisation in Pinus taeda plantations with severe nutrient deficiency in savanna soils. **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 37, n. 1, p. 117-125, jan./mar. 2015.

BRIEDIS, C. et al. Carbono do solo e atributos de fertilidade em resposta à calagem superficial em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 47, n. 7, p.1007-1014, jul. 2012.

CATANI, R.A.; GALLO, J.R. Avaliação da exigência de calcário dos solos do Estado de São Paulo mediante a correlação entre o pH e a porcentagem de saturação por bases. **Revista de Agricultura**, Piracicaba, v. 30, n. 1, p. 49-60, 1955.

CORRÊA, J.B. et al. Índice de saturação por bases na nutrição e na produtividade de cafeeiros catuaí vermelho (*Coffea arabica* L.). **Coffee Science**, Lavras, v. 2, n. 2, p. 159-167, jul./dez. 2007.

DEFELIPO, B.V.; RIBEIRO, A.C. **Análise química do solo:** metodologia.2. ed. Viçosa, MG: Ed. UFV, 1997. 26p.

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.

FAQUIN, V. et al. Resposta do feijoeiro à aplicação de calcário em solos de várzea do sul de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo,** Viçosa, v. 22, n. 4, p.651-660, out./dez. 1998.

FRADE JUNIOR, E. F. et al. Neutralização química de acidez em solos sedimentares da Amazônia Ocidental, Acre. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 9, n. 16, p. 1566-1572, 2013.

GUARÇONI, A., MENDONÇA, E.S. Capacidade tampão de pH do solo e disponibilidade de fósforo pela adição de composto orgânico. **Magistra**, Cruz das Almas, v. 15, n. 2, p. 141-145, jul./dez. 2003.

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

MACHADO, L.V. et al. Fertilidade e compartimentos da matéria orgânica do solo sob diferentes sistemas de manejo. **Coffee Science**, Lavras, v. 9, n. 3, p. 289-299, jul./set. 2014.

MELO, L.C.A. et al. Nutrição e produção de matéria seca de milho submetido a calagem e adubação sulfatada. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 41, n. 2, p. 193-199, abr./jun. 2011.

MENEZES, A.A. et al. Disponibilidade de zinco para milho pelos extratores Mehlich-1, Mehlich-3 e DTPA em solos de Minas Gerais, na presença e ausência de calagem. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, n. 2, p.417-424, 2010.

NATALE, W. et al. Acidez do solo e calagem em pomares de frutíferas tropicais. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 34, n. 4, p. 1294-1306, dez. 2012.

NICOLODI, M.; ANGHINONI, I.; GIANELLO, C. Relações entre os tipos e indicadores de acidez do solo em lavouras no sistema plantio direto na região do planalto do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 3, p. 1217-1226, maio/jun. 2008.

NOGUEIRA, N. O. et al. Teor de nitrogênio, clorofila e relação clorofila-carotenoide em café arábica em solo submetido a diferentes corretivos de acidez. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v.8, n.3, p.390-395, 2013.

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

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

RAIJ, B.V. et al. Alumínio trocável e saturação em bases como critérios para recomendação de calagem. **Bragantia**, Campinas, v. 42, n. 1, p. 149-156, 1983.

_____. Calagem e adubação nitrogenada e potássica para o cafeeiro. **Bragantia**, Campinas, v. 55, n. 2, p. 347-355, 1996.

RAIJ, B. V.; CANTARELLA, H.; ZULLO, M. A. T. Método tampão SMP para determinação da necessidade de calagem de solos do estado de São Paulo. **Bragantia**, Campinas, v. 38, n. 7, p. 57-69, 1979.

RAIJ, B. V.; SACCHETTO, T. D.; IGUE, T. Correlações entre o pH e o grau de saturação em bases nos solos com horizonte B textural e horizonte B latossólico. **Bragantia**, Campinas, v. 27, n. 17, p. 193-200, 1968.

SCHNEIDER, J. et al. Influência de diferentes sistemas de manejo e calagem em experimento de longa duração sobre fungos micorrízicos arbusculares. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n. 4, p. 701-709, jul./ago. 2011.

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, M. A. C. et al. Aplicação superficial de calcário em pomar de laranjeira pêra em produção. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 29, n. 3, p. 606-612, dez. 2007.

SILVA, V. et al. Variáveis de acidez em função da mineralogia da fração argila do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 2, p. 551-559, mar./abr. 2008.

SOUSA, D.M.G.; MIRANDA, L.N.; OLIVEIRA, S.A. Acidez do solo e sua correção. In: NOVAIS, R. F. et al. (Ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG: SBCS, 2007. cap. 5, p. 205-274.

SOUSA, L.F.R. et al. Determinação do pH de um Argissolo Vermelho Amarelo distrófico incubado com aplicação de doses crescentes de $CaCO_3$ por diferentes métodos. **Revista Agroecossistemas**, Belém, v. 5, n. 2, p. 58-63, 2013.

SPERA, S.T. et al. Dispersão de argila em microagregados de solo incubado com calcário. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, p. 2613-2620, 2008. Número especial.

VASCONCELLOS, C.A.; SANTANA, D.P.; FERREIRA, L. Métodos de determinação da necessidade de calagem e características físico-químicas de alguns solos de Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 29, n. 8, p. 1253-1263, ago. 1994.

Planococcus citri (RISSO) (HEMIPTERA: PSEUDOCOCCIDAE): RELAÇÕES MACHO-FÊMEA E INFLUÊNCIAS NA BIOLOGIA REPRODUTIVA

Lenira Viana Costa Santa-Cecília[1], Ernesto Prado[2], Andressa Barbosa Pereira[3], Brígida Souza[4], Lara Sales[5]

(Recebido: 25 de agosto de 2016; aceito: 19 de dezembro de 2016)

RESUMO: A reprodução da cochonilha-branca *Planococcus citri* tem sido relatada como biparental e partenogenética facultativa ou exclusivamente biparental. Entretanto, a ocorrência da partenogênese facultativa pode ser um atributo das populações locais e, assim, as diferenças geográficas serem determinantes na reprodução desses insetos. Desta forma, objetivou-se com este trabalho aprofundar os estudos sobre a reprodução de *P. citri* oriunda de uma população infestando cafeeiros (*Coffea arabica*) na região Sul do Estado de Minas Gerais, tendo em vista a escassez de informações sobre esse pseudococcídeo no Brasil. Foram estudados o tipo de reprodução, o efeito da temperatura sobre a razão sexual, a capacidade de reprodução de machos com 1 ou 2 dias após a emergência e fêmeas com 1 a 40 dias de idade e o número de fêmeas que podem ser fecundadas por um único macho. Constatou-se que espécimes de *P. citri* oriundos dessa população somente se reproduzem sexuadamente. As temperaturas de 20, 25 e 30°C tiveram influência na razão sexual, verificando-se um aumento da proporção de fêmeas a 20°C e 30°C, e uma proporção similar entre machos e fêmeas a 25°C. A temperatura de 15°C ocasionou a mortalidade de todos os insetos. O macho é capaz de copular dentro das 24 h após emergência, o que é um indício de que sua maturidade sexual seja completada no interior do casulo, onde permanece por cerca de dois dias. Embora não sobreviva além de dois dias após a emergência, nesse período pode copular com até 21 fêmeas. Fêmeas entre 1 e 40 dias de idade foram capazes de copular e apresentar descendentes machos e fêmeas na mesma proporção.

Termos para indexação: Cochonilha-farinhenta, tipo de reprodução, temperatura, razão sexual, cópula.

Planococcus citri (RISSO) (HEMIPTERA: PSEUDOCOCCIDAE): MALE/FEMALE RELATIONSHIPS AND INFLUENCES IN THE REPRODUCTIVE BIOLOGY

ABSTRACT: *The reproduction of the citrus mealybug,* Planococcus citri *(Hemiptera: Pseudococcidae) has been reported as biparental with facultative parthenogenesis or exclusively biparental. Parthenogenesis may be an attribute of local populations, thus geographic variations could be determinant for the type of reproduction. Therefore, this work aimed to increase our knowledge on the reproduction of* P. citri *by evaluating the type of reproduction of a Brazilian population of the citrus mealybug collected in coffee trees (*Coffea arabica*) in south of Minas Gerais state, Brazil. We explored the kind of reproduction, the effect of the temperature on the sexual ratio, the mating capacity of males of 1 or 2 days after emergency and female´s age from 1 to 40 days old, and the number of successful mating of a male. The citrus mealybug from that population presented sexual reproduction exclusively. There was a bias to a higher female proportion at 20°C and 30°C, rearing temperatures considered no optimal for the mealybug development, while at 25°C conduced to a similar proportion of males and females. No mealybug developed at 15°C. The male sexual maturity seems to occur already inside the cocoon where it remains for about 2 days and was able to mate during the first 24 h after emergence. Although short lived, around 2 days after emergence, the male were able to mate up to 21 females. Females between 1 and 40 days were able to mate and reproduce at the same proportion.*

Index terms: *Citrus mealybug, reproduction, temperature, sexual ratio, mating.*

1 INTRODUÇÃO

A cochonilha-branca *Planococcus citri* (Risso, 1813) (Hemiptera: Pseudococcidae) é uma espécie de distribuição mundial, adaptada a uma grande diversidade de climas e hospedeiros. No Brasil, sua ocorrência é registrada para diversos cultivos agrícolas, como soja (Fabaceae), cana-de-açúcar (Poaceae), algodoeiro (Malvaceae), videira (Vitaceae), citros (Rutaceae) e outras fruteiras, algumas plantas ornamentais e cafeeiros (Rubiaceae) (BEN-DOV; MILLER; GIBSON, 2013; SILVA et al., 1968; WILLIAMS; GRANARA DE WILLINK, 1992). Em cultivos de café (*Coffea* spp.), ocasiona perdas na produção decorrentes da sucção de seiva, principalmente nas rosetas (SANTA-CECÍLIA; SOUZA, 2014).

A reprodução dessa cochonilha tem sido relatada como biparental e partenogenética facultativa (MALLESHAIAH; RAJAGOPAL; GOWDA, 2000; MYERS, 1932; PADI, 1997) ou exclusivamente biparental (JAMES, 1937; SILVA; MENDEL; FRANCO, 2010). Entretanto, o tipo de reprodução, particularmente a partenogênese facultativa, pode ser um atributo de populações

[1,2]IMA/Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais/EPAMIG-EcoCentro - Cx. P. 176- 37.200-000 - Lavras - MG scecilia@epamig.ufla.br, epradoster@gmail.com
[3,4,5]Universidade Federal de Lavras/UFLA - Departamento de Entomologia/DEN - Cx. P. 3037- 37.200-000 - Lavras - MG andressa.bpereira@hotmail.com, brgsouza@den.ufla.br, larasalesbio@gmail.com

locais, visto que mudanças no tipo de reprodução são respostas adaptativas às condições do ambiente onde se desenvolvem (VARNDELL; GODFRAY, 1996). Em termos práticos, a ocorrência de partenogênese facultativa pode limitar o uso da técnica de confusão sexual usada como estratégia no manejo da densidade populacional das cochonilhas (MILLER; KOSZTARAB, 1979).

Sabe-se que o mecanismo de determinação do sexo nas cochonilhas-farinhentas (Pseudococcidae) está relacionado ao fenômeno de heterocromatização do genoma paternal (Paternal Genome Elimination - PGE), sendo o macho funcionalmente haploide (KHOSLA; MENDIRATTA; BRAHMACHARI, 2006). Todos os ovos são fertilizados, porém, nos machos o cromossomo paterno é eliminado. O modo como as fêmeas controlam este fenômeno não é completamente conhecido, contudo, as condições ambientais são fatores importantes na determinação do sexo, destacando-se a temperatura (GOLDASTEH et al., 2009; JAMES, 1937), a qual pode ter influência sobre a fêmea-mãe ou o ovo fertilizado (embrião) e na razão sexual. Segundo Trivers e Willard (1973), os progenitores são capazes de mudar a razão sexual para favorecer o sexo com mais habilidade de ter sucesso reprodutivo e sobreviver. Em condições favoráveis, as fêmeas tenderiam a produzir mais machos, pois estes são capazes de ter maior número de descendentes devido à capacidade de fecundar muitas fêmeas. No entanto, quando expostas a temperaturas extremas, as mães favoreceriam uma descendência com predominância de fêmeas, visto que, os machos adultos, por apresentarem curto período de vida, quando expostos a um ambiente desfavorável teriam pouco sucesso reprodutivo.

Independentemente da temperatura, as fêmeas das cochonilhas-farinhentas passam por três estádios ninfais e vivem entre 50 e 60 dias (CORREA et al., 2011), enquanto que os machos passam por quatro estádios, sendo que no final do segundo, tecem um casulo onde passam o terceiro, o quarto e parte da vida adulta (CORREA et al., 2008; CORREA; SOUZA; SANTA-CECILIA, 2008; MORANDI FILHO et al., 2008). Vários aspectos da biologia reprodutiva de *P. citri* nas condições brasileiras são desconhecidos, sobretudo em relação aos machos que, devido ao curto período de alimentação (somente no primeiro e parte do segundo instar), são menos prejudiciais aos cultivos agrícolas.

Considerando que as condições ambientais e as relações intra-específicas entre machos e fêmeas podem influenciar a reprodução de *P. citri*, com este trabalho objetivou-se estudar aspectos da biologia reprodutiva dessa espécie, a partir de exemplares de uma população do sul de Minas Gerais. Testou-se a hipótese de que fatores como variações térmicas e idade dos progenitores são determinantes na reprodução desse inseto. A obtenção dessas informações é de fundamental importância para a compreensão da dinâmica populacional dessa espécie de cochonilha.

2 MATERIAL E MÉTODOS

A criação da cochonilha *P. citri* originou-se com exemplares coletados em cafeeiros no município de Campos Gerais (latitude: 21º 14' 06" S; longitude: 45º 45' 31" W), região Sul de Minas Gerais, Brasil, e mantida em abóboras (*Cucurbita maxima* L.), cultivar 'Cabotchá', a 25±1ºC, 70±10% UR e 12 horas de fotofase. A identificação específica foi realizada pelo Dr. E. Prado, da Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG), em Lavras, MG, por meio da chave de identificação de Williams e Granara de Willink (1992).

1. Tipo de reprodução

Ovos da cochonilha foram coletados da criação em abóbora e transferidos para discos foliares de cafeeiro (*Coffea arabica* L.), cv 'Mundo Novo', colocados sobre uma lâmina de ágar-água (1%) em uma placa de Petri (15 cm de diâmetro). As placas foram vedadas com filme plástico de polietileno, conforme metodologia de Santa-Cecília et al. (2008). Quando as ninfas atingiram o terceiro instar, foram individualizadas em placas de Petri (5 cm de diâmetro) contendo discos foliares mantidos em ágar-água, conforme descrito, visando à obtenção de fêmeas adultas para uso no teste.

Os tratamentos consistiram em fêmeas virgens e acasaladas. Para o acasalamento, os machos foram introduzidos nas placas de Petri quando ainda nos casulos. Adotou-se o critério de que a presença do macho junto à fêmea resultaria em acasalamento, e que a ocorrência de oviposição seria a evidência de fertilização. As placas foram dispostas em câmara climatizada a 25±1°C, 70±10% UR e 12 horas de fotofase. Cada tratamento constou de 20 repetições. Foram registrados o número de fêmeas que ovipositaram e o número de ovos viáveis por fêmea.

2. Efeito da temperatura sobre a razão sexual

Ninfas de terceiro instar de *P. citri* foram coletadas da criação em abóbora e individualizadas em placas de Petri (5 cm de diâmetro) contendo discos foliares de café, cv. 'Mundo Novo', mantidos em ágar-água (1%) e vedadas com filme plástico de polietileno. Após a ecdise das ninfas fêmeas, adicionou-se o macho ainda no casulo, também retirado da criação em abóbora. As placas de Petri, em número de 20, foram acondicionadas a 15, 20, 25 e 30ºC. Essas temperaturas foram definidas com base nas pesquisas de Correa et al. (2008), que estudaram a relação entre as condições térmicas e o desenvolvimento dessa espécie. A partir da formação dos casais e durante toda a embriogênese, as cochonilhas foram expostas às diferentes temperaturas.

Efetuou-se a coleta diária dos ovissacos ao longo de quinze dias a partir do início da oviposição. Os ovos foram acondicionados nas respectivas temperaturas nas quais foram produzidos e, quando no primeiro instar, as ninfas de todos os tratamentos foram transferidas para 25ºC, onde permaneceram até o terceiro instar. Nesse estádio procedeu-se a separação dos sexos.

As avaliações foram realizadas diariamente, registrando-se o número de machos e fêmeas emergidos. Os dados obtidos (%) foram comparados pelo teste de Qui-quadrado, com transformação em arcsen $\sqrt{(x/100)}$. A proporção de fêmeas entre as temperaturas foi comparada por meio da análise de variância (ANOVA), seguida do teste de Tukey a 5% de significância.

3. Efeito da idade dos progenitores na reprodução

Fêmeas no terceiro instar e machos no interior do casulo foram individualizados em discos foliares de cafeeiro, como descrito anteriormente (item 1). Após 24 ou 48 horas da emergência do casulo (machos com 1 ou 2 dias de idade, respectivamente), foram formados 10 casais, transferindo-se fêmeas de 1, 2, 3, 4, 5, 10, 20, 30 e 40 dias de idade para as placas contendo os machos. Essas placas, em número de 180, foram acondicionadas a 25±1ºC, 70±10% UR e 12 horas de fotofase. Diariamente, foram avaliadas a ocorrência de oviposição (considerada evidência de acasalamento) e o número de ovos viáveis produzidos ao longo de todo o período de vida das fêmeas.

Os dados referentes à idade do macho (1 e 2 dias) foram submetidos ao teste t-Student. Calculou-se a porcentagem média de fêmeas que ovipositaram segundo a idade de machos e fêmeas. Também foi efetuada a análise de regressão para o número de ovos de acordo com a idade das fêmeas reprodutivas.

4. Número de fêmeas que podem ser fecundadas por um único macho

Ninfas de primeiro instar foram coletadas da criação e transferidas para placas de Petri (5 cm de diâmetro), conforme metodologia descrita no item 1. Ao atingirem a fase adulta, foram selecionados machos e fêmeas para comporem os tratamentos, os quais foram constituídos pelas proporções de um macho para 1, 2, 5, 10, 20 ou 30 fêmeas, com 10 repetições. Efetuaram-se avaliações diárias contabilizando-se as fêmeas que ovipositaram. Calcularam-se as médias e intervalos de variação (amplitudes).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

1. Tipo de reprodução

Nenhuma das fêmeas mantidas na ausência do macho ovipositou, descartando-se a partenogenia como forma de reprodução para a população local de *P. citri*, nas condições estudadas neste trabalho. Houve 25% de mortalidade natural das fêmeas, as quais não chegaram a produzir ovos. Verificou-se 100% de oviposição pelas fêmeas sobreviventes mantidas com os machos, com uma produção média de 85,9±9,2 ovos viáveis por fêmea.

Existem controvérsias a respeito da existência da partenogênese facultativa em *P. citri*, tendo sido constatada por alguns autores (MALLESHAIAH; RAJAGOPAL; GOWDA, 2000; MYERS, 1932; PADI, 1997) e não verificada por outros (JAMES, 1937; SILVA et al., 2014; SILVA; MENDEL; FRANCO, 2010). Para as cochonilhas-farinhentas são mencionadas ambos os tipos de reprodução, podendo ocorrer variações conforme a espécie. Por exemplo, *Pseudococcus calceolariae* (Maskell), *Pseudococcus longispinus* (Targioni Tozzetti), *Pseudococcus maritimus* (Ehrhorn), *Pseudococcus viburni* (Signoret) e *Planococcus ficus* (Signoret) necessitam se acasalar para produzir descendentes viáveis (SILVA; MENDEL; FRANCO, 2010; WATERWORTH; WRIGHT; MILLAR, 2011). Por outro lado, *Phenacoccus solani* Ferris e *Phenacoccus manihoti* Matile-Ferrero exibem reprodução partenogenética (CALATAYUD

et al., 1998). Diferentemente, *Ferrisia virgata* (Cockerell), *Dysmicoccus brevipes* (Cockerell), *Planococcoides njalensis* (Laing), *Planococcus vovae* (Nasonov) e *Phenacoccus solenopsis* Tinsley têm sido relatadas como capazes de se reproduzir tanto sexuada como assexuadamente (OLIVEIRA et al., 2014; VENNILA et al., 2010). Adicionalmente, existem espécies de cochonilhas, tais como *P. citri*, *P. maritimus, P. viburni* e *P. calceolariae*, em que algumas fêmeas não acasaladas confeccionaram ovissacos, sem, contudo, haver produção de ovos ou, se presentes, eram estéreis (CORREA et al., 2011; SILVA et al., 2014; SILVA; MENDEL; FRANCO, 2010; WATERWORTH; WRIGHT; MILLAR, 2011).

2. Efeito da temperatura sobre a razão sexual

Somente três exemplares de *P. citri* criados a 15°C produziram descendentes (sete indivíduos), razão pela qual os dados obtidos para esse tratamento não foram incluídos na análise estatística.

Observou-se que a temperatura influenciou a razão sexual de *P. citri*. As fêmeas predominaram quando mantidas a 20 e 30°C, com médias similares, ao passo que a 25°C, não houve diferenças na proporção dos sexos (Tabela 1).

A transferência das ninfas de terceiro instar da temperatura de 25°C (condição em que passaram toda a fase ninfal) para 20°C e 30°C, pode ter sido o fator responsável pela maior produção de fêmeas na geração seguinte. Os resultados obtidos corroboram, em parte, a hipótese de Trivers e Willard (1973) sobre a maior produção de fêmeas em temperaturas consideradas menos favoráveis para o desenvolvimento da espécie. Essa afirmação encontra-se alicerçada no fato da temperatura de 25°C, considerada a mais adequada para o desenvolvimento de *P. citri* (CORREA et al., 2008), ter proporcionado uma proporção sexual similar. A fragilidade dos machos decorrente de seu tamanho relativamente pequeno, curto período de vida e do fato de não se alimentarem na fase adulta, os tornam mais vulneráveis às condições ambientais desfavoráveis. Assim, o ajuste na proporção dos sexos seria um mecanismo adaptativo frente às adversidades ambientais. O processo pelo qual as cochonilhas alteram a produção de machos ou fêmeas não é completamente conhecido, gerando uma incógnita sobre o mecanismo de determinação do sexo (PGE) (ROSS et al., 2011, 2012).

O efeito da temperatura sobre a razão sexual ainda é controverso. Em estudo conduzido por Goldasteh et al. (2009) constatou-se maior proporção de machos de *P. citri* em temperaturas mais altas. Porém, Ross et al. (2011) consideraram que esse fator climático tem um efeito secundário sobre a razão sexual dessa espécie. Para *D. brevipes*, temperaturas na faixa de 20 a 30°C não afetaram a razão sexual da espécie (COLEN et al., 2000).

Em regiões de clima tropical, como no Brasil, as temperaturas médias elevadas podem ser um fator modificador da razão sexual, promovendo a redução do número de machos e o consequente favorecimento da reprodução partenogenética em parte da população. Porém, populações de *P. citri* originárias de países de clima temperado ou frio, como Portugal, Israel e Reino Unido, não mostraram diferenças na razão sexual em função da temperatura (ROSS et al., 2012).

3. Efeito da idade dos progenitores na reprodução

Os machos vivem aproximadamente 2 dias após a saída do casulo, ocasião em que já encontram-se aptos para copular e reproduzir. A fecundidade das fêmeas com idade entre um e 40 dias não foi influenciada pela idade do macho (Tabela 2).

Machos com 24 horas tiveram um mínimo de 30% de cópula exitosa, o que indica que a maturidade sexual ocorre ainda dentro do casulo, onde permanecem por cerca de 2 dias. Esse resultado contrasta com o obtido por Mendel et al. (2012) que não constataram produção de ovos por fêmeas mantidas com machos de até 24 horas de idade. Uma maturidade sexual precoce compensaria a curta vida do macho que, em *P. citri,* geralmente não ultrapassa 48 horas. Para machos de 2 dias, a porcentagem mínima de fêmeas produtivas foi de 40% (Figura 1).

O número de ovos produzidos também não foi correlacionado com a idade das fêmeas (R^2=0,026) (Figura 2), uma vez que aquelas com 40 dias de idade tiveram uma fecundidade similar às jovens. Resultados obtidos em testes com fêmeas mais velhas demonstraram que algumas delas foram férteis e outras foram inférteis, o que foi atribuído a diferenças na metodologia empregada (Silva et al., 2013). Os resultados do presente trabalho permitem concluir que fêmeas de *P. citri* com até 40 dias de idade e, portanto, próximo ao final da fase adulta, são capazes de se reproduzir quando na presença do macho por um período suficiente para a ocorrência do acasalamento.

TABELA 1 - Proporção sexual (média±EP) de *Planococcus citri* (Hemiptera: Pseudococcidae) expostas às diferentes temperaturas (70±10% UR e 12 horas de fotofase).

Temperatura (°C)	Proporção de fêmeas*	Proporção de machos	Valor Qui quadrado (χ^2)
20	70,5 ± 1,9 a (n=18)	29,5 ± 2,0 (n=18)	16,82 **
25	49,5 ± 3,5 b (n=20)	50,5 ± 3,5 (n=20)	0,01 n.s.
30	72,2 ± 1,4 a (n=15)	27,8 ± 1,4 (n=15)	19,70 **
Valor p	< 0,001		

*Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância. **Comparação nas linhas segundo Teste de Qui-Quadrado.

TABELA 2 - Número de ovos viáveis de *Planococcus citri* (Hemiptera: Pseudococcidae) segundo a idade (dias) do macho.

	Idade do macho (dias)	
	1	2
Número de ovos viáveis/fêmea	60,2±5,1 (n=51)	54,9±5,0 (n=60)
Valor p (t-Student)	0,459	

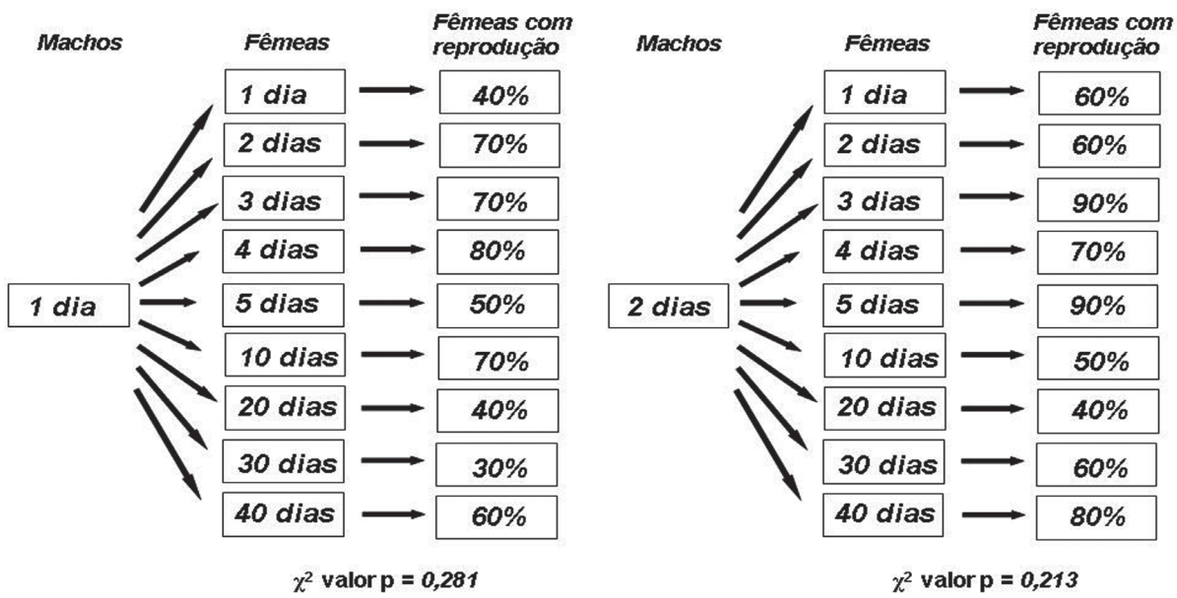


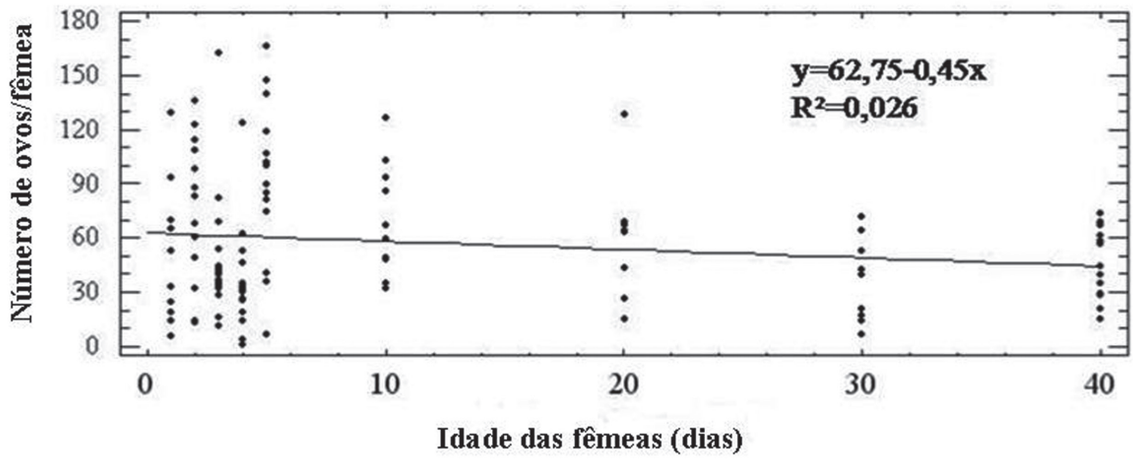
FIGURA 1- Porcentagem de fêmeas de *Planococcus citri* (Hemiptera: Pseudococcidae) que ovipositaram segundo a idade dos machos (25±1ºC, 70±10% UR e 12 horas de fotofase).

4. Número de fêmeas que podem ser fecundadas por um único macho

Quando uma ou duas fêmeas foram colocadas juntamente com um macho todas foram fecundadas e ovipositaram, o que não ocorreu quando um número maior de fêmeas foi testado, verificando-se uma redução na proporção de fêmeas que geraram descendentes (Tabela 3). Ressalta-se que os valores médios obtidos referem-se ao número de fêmeas que ovipositaram e não ao número de cópulas, uma vez que um macho é capaz de copular várias vezes com a mesma fêmea (SILVA et al., 2013).

Os resultados indicaram que um macho de *P. citri* pode acasalar com até 21 fêmeas, embora esse valor possa atingir 23, como já verificado para essa espécie (JAMES, 1937). Múltiplas cópulas parecem ser comuns em Pseudococcidae e têm sido relatadas para várias espécies desta família (WATERWORTH; WRIGHT; MILLAR, 2011).

A obtenção de informações que forneçam bases para a compreensão da dinâmica populacional de *P. citri*, bem como o conhecimento do tipo de reprodução em espécimes provenientes de uma população do sul de Minas Gerais contribuem para a aplicação de estratégias de manejo dessa cochonilha em cafeeiros dessa região. A ocorrência da partenogênese facultativa, por exemplo, pode limitar o uso da técnica de confusão sexual usada como ferramenta auxiliar no manejo da densidade populacional de pragas, porém, este tipo de reprodução (partenogênese facultativa) não foi constatada neste trabalho. Dessa forma, esses resultados revestem-se de especial importância na medida em que a região sul do Estado desponta no cenário nacional como responsável por cerca de 25% da produção de café (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB, 2016), e essa praga constitui-se em uma ameaça à produtividade da cultura.



F**IGURA 2**- Número de ovos de *Planococcus citri* (Hemiptera: Pseudococcidae) de acordo com a idade das fêmeas (dias).

TABELA 3 - Número de fêmeas de *Planococcus citri* (Hemiptera: Pseudococcidae) que ovipositaram, segundo a proporção macho:fêmea (25±1ºC, 70±10% UR e 12 horas de fotofase).

Tratamentos	Número médio de fêmeas que ovipositaram*	Número mínimo/ máximo de fêmeas que ovipositaram
1 macho x 1 fêmea	1,0	-
1 macho x 2 fêmeas	2,0	-
1 macho x 5 fêmeas	4,0	1/5
1 macho x 10 fêmeas	6,9	2/10
1 macho x 20 fêmeas	13,1	9/20
1 macho x 30 fêmeas	14,8	9/21

*Médias obtidas de dez repetições

4 CONCLUSÕES

O tipo de reprodução de *Planococcus citri* oriunda de uma população do sul de Minas Gerais é sexuada.

Temperaturas entre 20 e 30°C influenciam a razão sexual, com maior produção de fêmeas a 20 e 30°C, e proporção similar dos sexos a 25°C.

Machos de *P. citri* recém emergidos ou com 2 dias após a emergência do casulo são capazes de copular e fecundar fêmeas nas primeiras 24 horas.

Machos de 1 ou 2 dias de idade não influenciam a fertilidade dos ovos.

Fêmeas com até 40 dias de idade são capazes de copular e produzir ovos na mesma proporção que as mais jovens.

Machos de *P. citri* podem copular com 15 fêmeas, em média, e com um máximo de 21 fêmeas.

5 AGRADECIMENTOS

Ao Consórcio Pesquisa Café pelo financiamento da pesquisa e bolsa, e à FAPEMIG e CNPq pela concessão de bolsas.

6 REFERÊNCIAS

BEN-DOV, Y.; MILLER, D. R.; GIBSON, G. A. P. **ScaleNet**. [Beltsville]: USDA, [2013]. Disponível em: <http://www.sel.barc.usda. gov/scalenet/scalenet.htm>. Acesso em: 10 dez. 2015.

CALATAYUD, P. A. et al. Rearing the cassava mealybug, *Phenacoccus manihoti,* on a defined diet. **Entomologia Experimentalis et Applicata**, Dordrecht, v. 86, n. 3, p. 325-329, Mar. 1998.

COLEN, K. G. F. et al. Efeitos de diferentes temperaturas sobre a biologia da cochonilha pulverulenta *Dysmicoccus brevipes* (Cockerell, 1893) (Hemiptera: Pseudococcidae). **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 22, n. 2, p. 248-252, ago. 2000.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira:** café-safra 2016, primeiro levantamento, janeiro 2016. Brasília, DF, 2016. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/16_01_20_17_01_56_boletimcafe-janeiro_2016.pdf>. Acesso em: 5 out. 2016.

CORREA, L. R. B. et al. Efeitos de diferentes temperaturas e exigências térmicas da cochonilha-branca *Planococcus citri* (Risso, 1813) (Hemiptera: Pseudococcidae) em cafeeiro. **Arquivos Instituto Biológico**, São Paulo, v. 75, n. 1, p. 53-58, jan./mar. 2008.

_____. Estudos biológicos de cochonilhas do gênero *Planococcus* (Hemiptera: Pseudococcidae) em diferentes hospedeiros. **Arquivos Instituto Biológic**o, São Paulo, v. 78, n. 2, p. 233-240, abr./jun. 2011.

CORREA, L. R. B.; SOUZA, B.; SANTA-CECILIA, L. V. C. Desenvolvimento da cochonilha-branca *Planococcus citri* (Risso, 1813) (Hemiptera: Pseudococcidae) em frutíferas. **Arquivos Instituto Biológico**, São Paulo, v. 75, n. 2, p. 239-242, abr./jun. 2008.

GOLDASTEH, S. et al. Effect of temperature on life history and population growth parameters of *Planococcus citri* (Homoptera, Pseudococcidae) on Coleus *Solenostemon scutellarioides* (L.) Codd.]. **Archives of Biological Science**, Serbia, v. 61, n. 2, p. 329-336, Apr./June 2009.

JAMES, H. C. Sex ratios and the status of the male in Pseudococcidae (Hem. Coccidae). **Bulletin of Entomological Research**, Cambridge, v. 28, n. 3, p. 429-461, 1937.

KHOSLA, S.; MENDIRATTA, G.; BRAHMACHARI, V. Genomic imprinting in the mealybugs. **Cytogenetic Genome Research**, Tokyo, v. 113, n. 1/4, p. 41-52, Mar. 2006.

MALLESHAIAH, B.; RAJAGOPAL, K.; GOWDA, K. N. M. Biology of the citrus mealybug *Planococcus citri* (Risso) (Hemiptera: Pseudococcidae). **Crop Research**, Hisar, v. 20, n. 1, p. 130-133, 2000.

MENDEL, Z. et al. Sexual maturation and aging of adult male mealybug (Hemiptera: Pseudococcidae). **Bulletin of Entomological Research**, Cambridge, v. 102, p. 385-394, 2012.

MILLER, D. R.; KOSZTARAB, M. Recent advances in the study of scale insects. **Annual Review of Entomology**, Palo Alto, v. 24, p. 1-27, 1979.

MORANDI FILHO, W. J. et al. Biologia e tabela de vida de fertilidade de *Planococcus citri* em diferentes estruturas vegetativas de cultivares de videira. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, n. 8, p. 941-947, ago. 2008.

MYERS, L. E. Two economic greenhouse mealybugs of Mississippi. **Journal of Economic Entomology**, Oxford, v. 25, n. 4, p. 891-896, 1932.

OLIVEIRA, M. D. et al. Performance of the stripped mealybug *Ferrisia virgata* Cockerell (Hemiptera: Pseudococcidae) under variable conditions of temperature and mating. **Neotropical Entomology**, Londrina, v. 43, p. 1-8, 2014.

PADI, B. Parthenogenesis in mealybugs occurring in cocoa. In: INTERNATIONAL COCOA PESTS AND DISEASES SEMINAR, 1., 1995, Accra. **Proceedings…** Accra, 1997. p. 242-248.

ROSS, L. et al. Temperature, age of mating and starvation determine the role of maternal effects on sex allocation in the mealybug *Planococcus citri*. **Behavioral Ecological Sociobiology**, New York, v. 65, p. 909-919, 2011.

_____. Temporal variation in sex allocation in the mealybug *Planococcus citri*: adaptation, constraint, or both? **Evolucionary Ecology**, Oxford, v. 26, n. 6, p. 1481-1496, Nov. 2012.

SANTA-CECÍLIA, L. V. C. et al. Methodology for biological studies of mealybugs (Hemiptera: Pseudococcidae). **Coffee Science**, Lavras, v. 3, n. 2, p. 152-155, jul./dez. 2008.

SANTA-CECÍLIA, L. V. C.; SOUZA, B. Cochonilhas-farinhentas de maior ocorrência em cafeeiros no Brasil. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 35, n. 280, p. 45-54, maio/jun. 2014.

SILVA, A. G. d'A. et al. **Quarto catálogo dos insetos que vivem nas plantas do Brasil:** seus parasitos e predadores. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura, 1968. part. 2, t. 1, 622 p.

SILVA, E. B. da et al. Mating behavior and performance in the two cosmopolitan mealybug species *Planococcus citri* and *Pseudococcus calceolariae* (Hemiptera: Pseudococcidae). **Journal of Insect Behavior**, Dordrecht, v. 26, n. 3, p. 304-320, Mar. 2013.

SILVA, E. B. da; MENDEL, Z.; FRANCO, J. C. Can facultative parthenogenesis occur in biparental mealybug species? **Phytoparasitica**, Dordrecht, v. 38, n. 1, p. 19-21, Feb. 2010.

SILVA, R. R. da et al. *Planococcus citri* (Risso, 1813) on Grapevine: do presence of the male influences reproduction? **Journal of Entomology**, Littleton, v. 11, p. 330-337, Nov. 2014.

TRIVERS, R. L.; WILLARD, D. E. Natural selection of parental ability to vary sex-ratio of offspring. **Science**, London. v. 179, n. 4068, p. 90-92, Jan. 1973.

VARNDELL, N. P.; GODFRAY, H. C. J. Facultative adjustment of the sex ratio in an insect (*Planococcus citri*, Pseudococcidae) with paternal genome loss. **Evolution**, New York, v. 50, p. 2100-2105, 1996.

VENNILA, S. et al. Biology of the mealybug, *Phenacoccus solenopsis* on cotton in the laboratory. **Journal of Insect Science**, Ludhiana, v. 10, n. 115, p. 1-9, July 2010.

WATERWORTH, R. A.; WRIGHT, I. M.; MILLAR, J. G. Reproductive biology of three cosmopolitan mealybug (Hemiptera: Pseudococcidae) species, *Pseudococcus longispinus*, *Pseudococcus viburni*, and *Planococcus ficus*. **Annals of the Entomological Society of America**, Lanham, v. 104, n. 2, p. 249-260, 2011.

WILLIAMS, D. J.; GRANARA DE WILLINK, M. C. **Mealybugs of Central and South America**. Wallingford: CAB International, 1992. 635 p.

SISTEMA COMPUTACIONAL *WEB* PARA CONTROLE DE GESTÃO DA PRODUÇÃO DE CAFÉ

Angélica Carvalho Cunha[1], Ligiane Aparecida Florentino[2], Adriano Bortolotti da Silva[3], Luís Roberto Almeida Gabriel Filho[4], Fernando Ferrari Putti[5]

(Recebido: 28 de agosto de 2016; aceito: 24 de novembro de 2016)

RESUMO: O cultivo do café no Brasil concentra-se na região Sul de Minas Gerais, em que a maioria das propriedades apresenta características de agricultura familiar e muitas vezes sem a utilização de tecnologia. Assim, muitos produtores não têm sistemas de controle de gestão da produção. Desta forma, torna-se de suma importância a utilização de *softwares* que realizem a gestão das produções. Devido à competitividade, diferentes áreas profissionais procuram uma eficiência tecnológica para suprir à crescente demanda, visando agilidade na execução dos processos. Portanto, torna-se indispensável que os produtores rurais defasados tecnologicamente passem a ter ferramentas que permitam tornar o empreendimento mais competitivo. Deste modo, o objetivo do presente trabalho foi desenvolver um sistema *web* para gestão de propriedades. O sistema foi desenvolvido a partir de entrevistas com 10 produtores de café da Região Sul de Minas Gerais, em que se constatou a necessidade de sistemas *online* que auxiliassem na gestão das propriedades, assim utilizou-se a linguagem de programação *web Personal Home Page* (*PHP)* e banco de dados *MySQL* para o desenvolvimento do sistema. Deve-se ressaltar que o sistema apresenta a característica de responsividade, adaptando assim em diversos tamanhos e formatos de dispositivos e também de fácil utilização. O desenvolvimento do sistema foi de grande relevância, uma vez que contribui para uma boa gestão do controle da produção de café.

Termos para indexação: Administração rural, agricultura, cafeicultura, *software*, tecnologia.

COMPUTER SYSTEM WEB FOR COFFEE PRODUCTION MANAGEMENT CONTROL

ABSTRACT: *Coffee cultivation in Brazil is concentrated in the southern region of Minas Gerais, where most of the properties have characteristics of family agriculture and often without the use of technology. Thus, many producers do not have production management control systems. In this way, the use of softwares that manage the productions becomes of paramount importance. Due to the competitiveness, different professional areas seek a technological efficiency to supply the growing demand, aiming agility in the execution of the processes. It is therefore imperative that technologically disadvantaged rural producers have the tools to make the enterprise more competitive. In this way, the objective of the present work was to develop a web system for property management. The system was developed from interviews with 10 coffee producers from the Southern Region of Minas Gerais, in which the need for online systems to assist in the management of properties was verified. This was done using the web programming language Personal Home Page (PHP) and MySQL database for system development. It should be noted that the system has the characteristic of responsiveness, adapting in different sizes and formats of devices and also easy to use. The development of the system was of great relevance, since it contributes to a good management of the control of coffee production.*

Index Terms: *Agriculture, coffee, rural management, software, technology.*

1 INTRODUÇÃO

Os profissionais procuram cada vez mais simplificar suas atividades com o intuito de economizarem tempo e as concluírem com maior rapidez. Diante desse cenário, surgem a cada dia, novas tecnologias que trazem grande impacto em todos os sentidos, inclusive no cenário da agropecuária.

A Tecnologia da Informação tem transformado de forma significativa diversas áreas profissionais, e não seria diferente no agronegócio. Perante a competitividade mercadológica, diversos setores buscam uma eficiência tecnológica para atender à crescente demanda, visando redução de custos e agilidade na execução dos processos. Sendo assim, torna-se imprescindível que os agricultores defasados tecnologicamente tenham acesso às ferramentas que permitam tornar o seu negócio mais competitivo (MACHADO; NANTES, 2011).

O setor de café movimenta anualmente, no mundo, cerca de 35 bilhões de dólares. Distribuído em todos os continentes, esse cultivo tem seus dois maiores produtores situados na América do Sul - Brasil e Colômbia (SANTOS; GOMES; GOMES, 2015). No ano de 2013, o Brasil se posicionou como o maior produtor mundial de café (35% da produção mundial), seguido de Colômbia e Vietnã. Os principais estados produtores de café

[1,2,3]Universidade José Do Rosário Vellano/UNIFENAS - Campus de Alfenas - Rod. MG Km 179 - Campus Universitário 37.312-440 - angelicaccunha10@gmail.com, ligiane.aparecida@unifenas.br, adriano.silva@unifenas.br
[2,4,5] Faculdade de Ciências e Engenharia/UNESP - Univ Estadual Paulista - Campus de Tupã, Av. Domingos da Costa Lopes, 780 Bairro Jd. Itaipu - 17.602-496 - Tupã - SP - fernandoputti@tupa.unesp.br, gabrielfilho@tupa.unesp.br

no Brasil são Minas Gerais, Espírito Santo, São Paulo, Paraná, Bahia e Rondônia. O Estado de Minas Gerais lidera a cafeicultura desde 1970 (VALE; CALDERARO; FAGUNDES, 2014).

A região do Sul de Minas, no decorrer do século XX, estabeleceu-se como o dominante produtor de café no Brasil. Na safra 2014/2015, foram produzidas mais de 10 milhões de sacas, correspondente a quase metade da produção do estado e 24% da produção nacional (ANUÁRIO ESTATÍSTICO DO CAFÉ, 2015).

A agropecuária não deve mais ser considerada atrasada e pobre tecnologicamente, mas sim uma atividade moderna e altamente dinâmica. De um lado, as propriedades vinculadas às modernas cadeias produtivas presentes no Brasil podem ser caracterizadas pela sua gestão eficaz e no uso de tecnologias; por outro lado, há um grande conjunto de propriedades que apresenta ineficiência na gestão e carência de tecnologias (GARCIA; VIEIRA FILHO, 2014).

É importante ressaltar que devido à potência na produção agrícola, o Brasil tem utilizado de técnicas e equipamentos para um novo modelo de produção. Todo esse cenário tecnológico permite dinamismo para a agricultura, provocando a produtividade no campo (FELEMA; RAIHER; FERREIRA, 2013).

Na procura de melhor desempenho ou para aquisição de vantagens competitivas, as organizações precisam apresentar capacidade de adaptação às novas exigências do mercado. Porém, quando se trata de tecnologia da informação, área em que as mudanças ocorrem com rapidez, faz-se necessária uma atenção ainda maior (MORAIS; TAVARES, 2013).

Embora a potencialidade de apoio que as inovações em Tecnologia da Informação podem ter para proporcionar mais eficiência em processos, assim como a quantidade, a qualidade e a inserção dos produtos agropecuários no mercado, alguns fatores vêm limitando sua adoção na área como: limitações de crédito e investimento, falta de infraestrutura de telecomunicações em áreas com baixa densidade demográfica, como de informação ou aptidões e competências para utilização e baixo nível escolar de pequenos agricultores e da agricultura familiar (BAMBINI et al., 2015).

Os setores financeiro, de telecomunicações e a indústria somam praticamente 70% do comércio comprador de *software* no Brasil. A agroindústria é representa por apenas 2,6% das compras deste mercado (BAMBINI et al., 2015).

No Brasil, o governo vem agenciando o Programa Nacional de Telecomunicações Rurais. Sua finalidade é permitir à população centrada em áreas rurais o acesso a serviços, de interesse coletivo, de telefonia e *Internet* (BAMBINI et al., 2015).

Tendo em vista as grandes vantagens e facilidades que a utilização da Tecnologia da Informação pode proporcionar aos produtores rurais, é de suma importância o desenvolvimento de um sistema que os auxiliem em suas atividades do dia-a-dia.

O comércio desenvolvedor de *softwares* é munido de tecnologias voltadas ao agronegócio. Há *softwares* para a agricultura de precisão, nas quais permitem realizar simulações espaciais em todas as áreas de gerenciamento predefinidas, calibrar os modelos para simular histórico de variabilidade espacial (THORP et al., 2008). Existem também sistemas que levam em consideração os dados históricos e a mudança nos valores do clima para calcular a quantidade de água necessária para a irrigação (NIKOLIDAKIS et al., 2015). Encontra-se software para a caracterização geométrica de proteção contra insetos, onde é feita análise dos dados fornecidos permitindo estudar a uniformidade do material e também detectar defeitos (ÁLVAREZ; OLIVA; VALERA, 2012).

Nota-se que no mercado existem diversas tecnologias voltadas ao setor agrícola, porém muitos produtores ainda executam suas tarefas manualmente. Diante do levantamento realizado, constatou-se que a produção de café ocorre ainda em maior parte em pequenas e médias propriedades, em que muitas não têm tecnologia para a gestão e controle da produção. Diante deste cenário, o presente trabalho teve como objetivo desenvolver uma aplicação *web* responsiva para auxiliar os produtores de café no controle da gestão de suas propriedades.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Identificação das necessidades e levantamento de requisitos

Realizou-se estudos sobre as necessidades dos produtores rurais de café da região sul de Minas Gerais. A partir da população de produtores de café dessa região foi possível determinar a amostra que representava a população. Esse estudo foi efetuado em forma de entrevista com 40 produtores de café, com o intuito de determinar quais funcionalidades o sistema precisaria proporcionar aos seus usuários. Este questionário teve autorização do comitê de ética da Universidade José do Rosário Vellano com parecer de número 1.629.216.

A partir dos questionários foi possível ver as necessidades dos produtores e assim deveria conter os seguintes itens: cadastro de propriedades (o usuário pode ter mais de uma propriedade); cadastro de talhões de café de cada propriedade; cadastro das adubações; cadastro fertilidade de solo; cadastro das aplicações de produtos fitossanitários; emissão de relatórios.

Softwares utilizados

A seguir são apresentadas as ferramentas que foram utilizadas para o desenvolvimento do sistema, e como elas se relacionam.

O sistema foi desenvolvido em Linguagem de marcação de hipertexto *HTML5*, em que foram desenvolvidos os formulários e as telas do sistema, assim sendo implementados os códigos PHP, a qual foi programada em linguagem de programação *Personal Home Page (PHP)* versão 5.4.3, sendo possível gerar as partes lógicas do sistema. A linguagem de programação *PHP* possui algumas limitações, por isso foram desenvolvidas funções *JavaScript* dentro das páginas criadas com *PHP* para que o sistema tenha melhor performance.

A biblioteca de código aberto *jQuery* foi empregada para o desenvolvimento de alguns efeitos das páginas que interagem com o *HTML* como, ocultação e exibição de informações. Empregou-se o CSS3 (*Cascading Style Sheets*) para definição dos estilos e dos aspectos de *design* do *layout* das páginas. Com o *framework Bootstrap* 3 foi possível implementar a responsividade da aplicação, para que possibilitasse o acesso mediante qualquer tamanho ou tipo de dispositivo. Além do mais, por meio dele foi implementado o *layout* e foram desenvolvidos, por exemplo, os menus, botões, tabelas, entre outros recursos gráficos. Utilizou-se o *IDE* (*Integrated development environment*) de bancos de dados *MySQL* 5.6.17 para o desenvolvimento das tabelas de dados necessárias para a criação do sistema. Para a maior agilidade do processo de desenvolvimento do sistema, foi utilizado o *framework Codeigniter* na versão 2.2.6, garantindo segurança e a confiabilidade da aplicação, pois este segue o padrão MVC (*Model–view–controller*) de desenvolvimento *web*.

Utilizou-se a ferramenta *IDE* Eclipse que possibilitou programar em diversas linguagens de programação como Java e *PHP* e também para a construção do código fonte do sistema.

Com a ferramenta *WampServer* tornou-se possível o desenvolvimento do sistema sem a necessidade de se obter uma hospedagem na *Internet* logo na fase de testes. Essa ferramenta possibilita que a máquina utilizada trabalhe como um servidor.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O sistema *web* desenvolvido permite que os produtores rurais realizem o controle na gestão de sua produção de café de maneira simples e interativa. O sistema permite que o produtor crie seu banco de dados e possa gerar relatórios das produções dos últimos anos, bem como acompanhar os processos de adubações, aplicações de produtos fitossanitários e de correções de solo. Tais variáveis são as principais que o produtor deve manejar na lavoura de forma consciente e ter o controle. Assim com o auxílio da aplicação *online* o produtor poderá acessar de diferentes locais o sistema (Figura1).

Como o sistema é *web*, o produtor terá o controle de sua propriedade de qualquer lugar, basta ter acesso à *Internet*. Para o desenvolvimento da aplicação foi levada em consideração a metodologia responsiva, ou seja, o usuário consegue utilizar de qualquer dispositivo seja ele *desktop, notebook, tablet, Smartphone* ou até mesmo *Smart* TV (RIBAS; VANZIN; ULBRITCHT, 2015).

Desenvolveu-se um sistema (Figura 1) em que todas as informações necessárias a respeito de seus objetivos e funcionalidades, tais como cadastro de propriedades, adubações, correções de solo, aplicações de produtos fitossanitários e desenvolvimento de relatórios, podem ser encontradas.

Na Figura 2ª é apresentada a interface de acesso a partir de um *Smartphone*, em que após acessar o usuário deverá realizar o cadastro no sistema (Figura 2b).

Após o cadastro, o usuário irá se confrontar com a página inicial, em que é exibido ao produtor um gráfico contendo as informações de sua produção nos últimos anos (Figura 3).

Na lateral esquerda há um menu de fácil acesso com todas as funcionalidades do sistema, possibilitando ao produtor a navegação, exploração e inserção de dados (Figura 3).

A fim de facilitar e dividir o sistema por categoria foi possível criar "módulos" que auxiliassem o produtor em sua tomada de decisão. Acessando o módulo "Propriedades" possibilita ao produtor cadastrar uma nova propriedade e até mesmo editar e excluir uma propriedade já existente. A Figura 4a apresenta a tela para cadastrar uma nova propriedade, em que é necessário o produtor preencher as informações de: nome da propriedade, endereço da propriedade e tamanho. Na Figura 4b é ilustrada a tela de propriedade, onde se permite a inclusão de nova propriedade, edição de propriedade já existente e até mesmo sua exclusão.

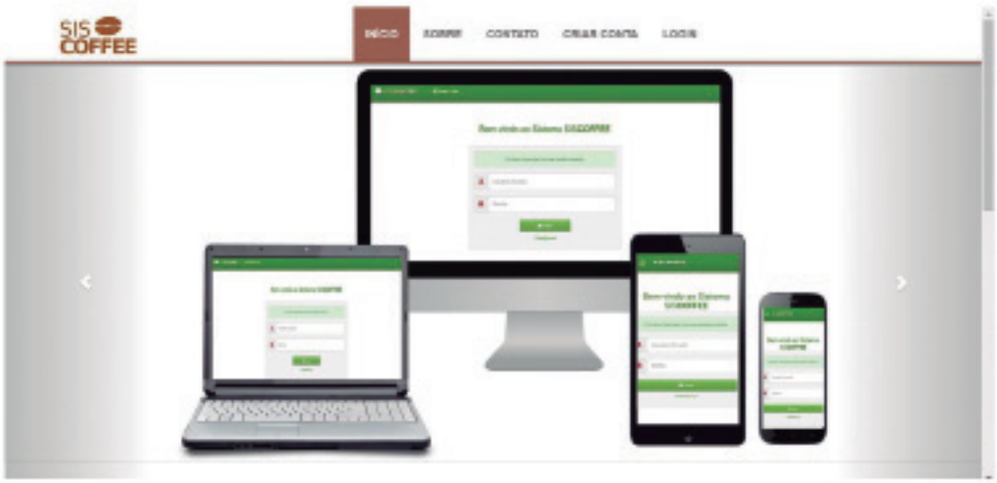


FIGURA 1 - Sistema responsivo desenvolvido que pode ser acessado pelo *tablet*, *smartphone, notebook, desktop* e *SMART* TV.

FIGURA 2 - Site SISCOFFEE. (a) tela inicial no navegador de um Smartphone (b) Tela de cadastro no navegador de um *Smartphone.*

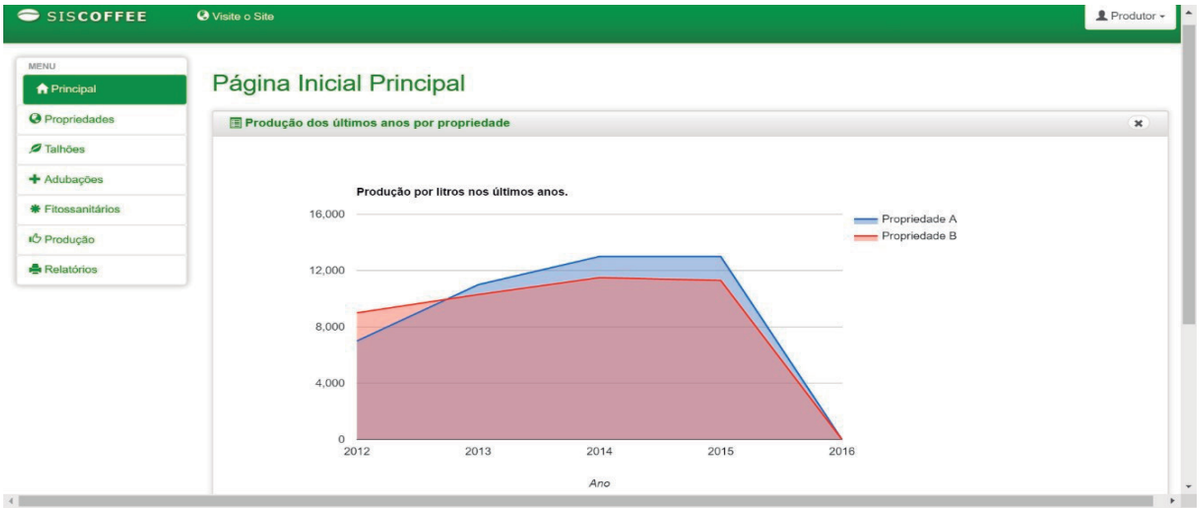


FIGURA 3 - (a) Menu principal, possibilita ao usuário acessar as funcionalidades do sistema. (b) Página inicial do sistema, contendo um gráfico da produção de café por litros de cada propriedade nos últimos anos.

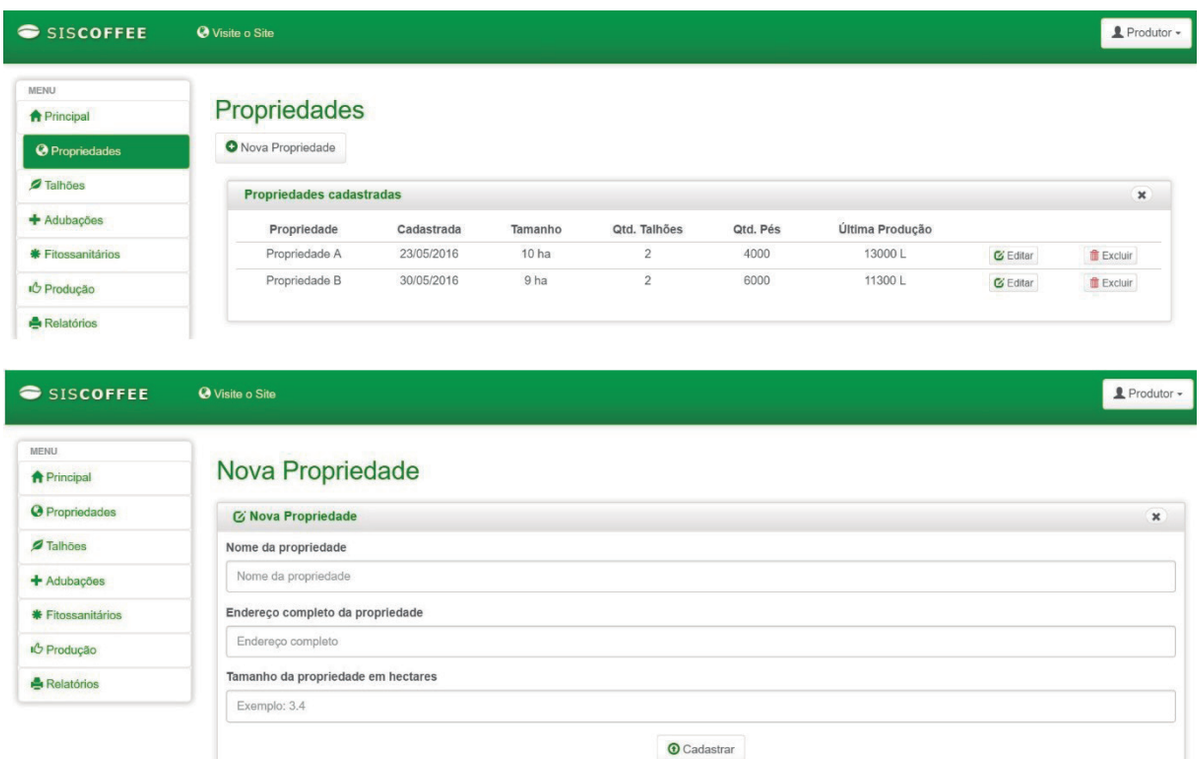


FIGURA 4 - Interface interna do sistema de gerenciamento de propriedades (a) Cadastro de nova propriedade e (b) gerenciamento da produção de café por propriedade.

Após o cadastro das propriedades, o produtor acessará o módulo "Talhões", em que tem a possibilidade de cadastrar um novo talhão ou gerenciá-los, editando e excluindo (Figura 5). O controle dos talhões pelos produtores permite verificar a uniformidade de produção, deste modo observando que precisam de maior cuidado no manejo (OLIVEIRA; VEGRO, 2004). Também a gestão da produção de cada talhão permite o produtor ter maior precisão no controle do comportamento de sua lavoura, assim otimizando seus custos (SANTOS et al., 2009).

Para cadastro de um novo talhão, basta que o usuário clique no botão "Novo Talhão". Desta forma, abrirá uma janela para inserção das informações do novo talhão: propriedade em que ele pertence, código do talhão, quantidade de plantas, tamanho em hectares, ano do plantio e tipo do cultivar (Figura 5).

Além do controle da produção, e observando a necessidade dos produtores foi constatado que eles demandam também um maior controle sobre a fertilidade do solo. Pois para atingir níveis de produção rentáveis o produtor deve acompanhar as características químicas do solo, a fim de realizar as adubações de forma eficiente, e sem correr o risco de deixar de adubar ou adubar em excesso algum talhão da propriedade (FIGUEIREDO et al., 2014).

No módulo "Adubações" há duas opções: fertilidade de solo e adubações. Clicando na opção fertilidade de solo é aberta uma janela contendo um botão para cadastro de nova fertilidade e também informações das fertilidades já realizadas, dispostas em uma tabela, com as possibilidades de editar e apagar os dados (Figura 6a).

Clicando em "Cadastrar fertilidade" é possível inserir as características químicas do solo, em que de acordo com Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais (CFSEMG, 1999) são os componentes básicos as análises do solo, que são: pH CaCl2, MO, P (res.), K+, Ca2+, Mg2+, H + Al, SB, T, V, B, Cu, Fe, Mn, Zn, S-SO42- e data da fertilização (Figura 6b).

A partir da análise do solo realizada, é possível determinar a adubação necessária para cada talhão. Devido à heterogeneidade dos solos é fundamental que seja realizada a adubação em cada talhão e não de forma geral (FIGUEIREDO et al., 2014). Acessando no módulo "Adubações" é possível inserir uma nova adubação ou ter as informações das adubações já realizadas em forma de tabela, podendo editar e excluir os dados (Figura 7a). Clicando no botão "Nova adubação" (Figura 7a) é aberta a janela para cadastro de uma nova adubação. Nesta fase é necessário inserir as seguintes informações: adubo, tipo do adubo, quantidade de adubo em gramas por hectare e data da aplicação (Figura 7b).

Outra preocupação ao desenvolver o sistema de controle de gestão, foi em contemplar a parte de aplicação de defensivos químicos. No módulo "Fitossanitários" é exibida uma tela semelhante ao da Figura 8a, em que o produtor poderá analisar e gerenciar os fitossanitários já aplicados ou clicar no botão "Nova Aplicação" para cadastrar uma nova aplicação de fitossanitários.

Após clicar no módulo "Nova aplicação" é aberta uma janela para cadastro da aplicação do fitossanitário. Nela o produtor terá que primeiramente escolher os talhões e as propriedades que efetuou a aplicação, assim facilitará o trabalho do produtor, uma vez que se houver aplicado o mesmo fitossanitário em mais de um talhão e em mais de uma propriedade, fará apenas um cadastro. Após isso, o produtor irá preencher os dados de: produto utilizado, doença ou praga em que se fez necessária a aplicação do produto, data da aplicação e carência, ou seja, data da próxima aplicação (Figura 8b).

A aplicação de fitossanitários ocorre devido à proliferação de algumas pragas, que muitas vezes devido ao seu controle é necessária a aplicação. Deve-se atentar ao fato de que alguns produtos demandam carência após a aplicação e com o sistema de gestão de controle isso reduz o perigo de ser disponibilizado o produto antes do período se encerrar (DECARO JUNIOR et al., 2015; FERREIRA; LEITE; LASMAR, 2013).

Ao clicar no módulo "Produção" é aberta a tela de produção do ano corrente. Caso não haja nenhuma produção cadastrada no presente ano o produtor tem a opção de cadastrar uma nova produção clicando no botão "Nova produção". O produtor também pode navegar pelas produções dos anos clicando nas setas para esquerda e direita (Figura 9a).

Ao entrar em um ano com produção já cadastrada, é aberta ao produtor uma janela semelhante à da Figura 9b em que tem a opção de analisar sua produção e editar ou excluir.

Clicando no botão "Nova Produção" presentes nas figuras 9a e 9b, o produtor cadastrará sua produção do ano escolhido. Para escolher o ano em que deseja cadastrar basta se movimentar com as setas de direita e esquerda que ficam entre o ano (Figura 9c).

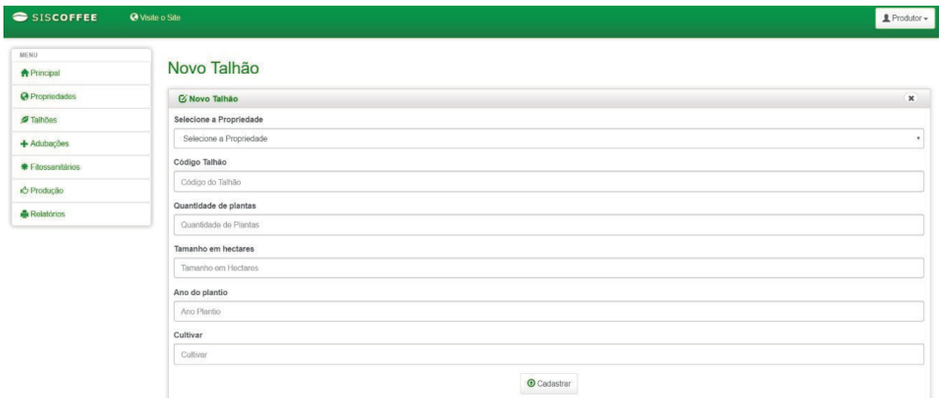


FIGURA 5 - Cadastro de "novo talhão".

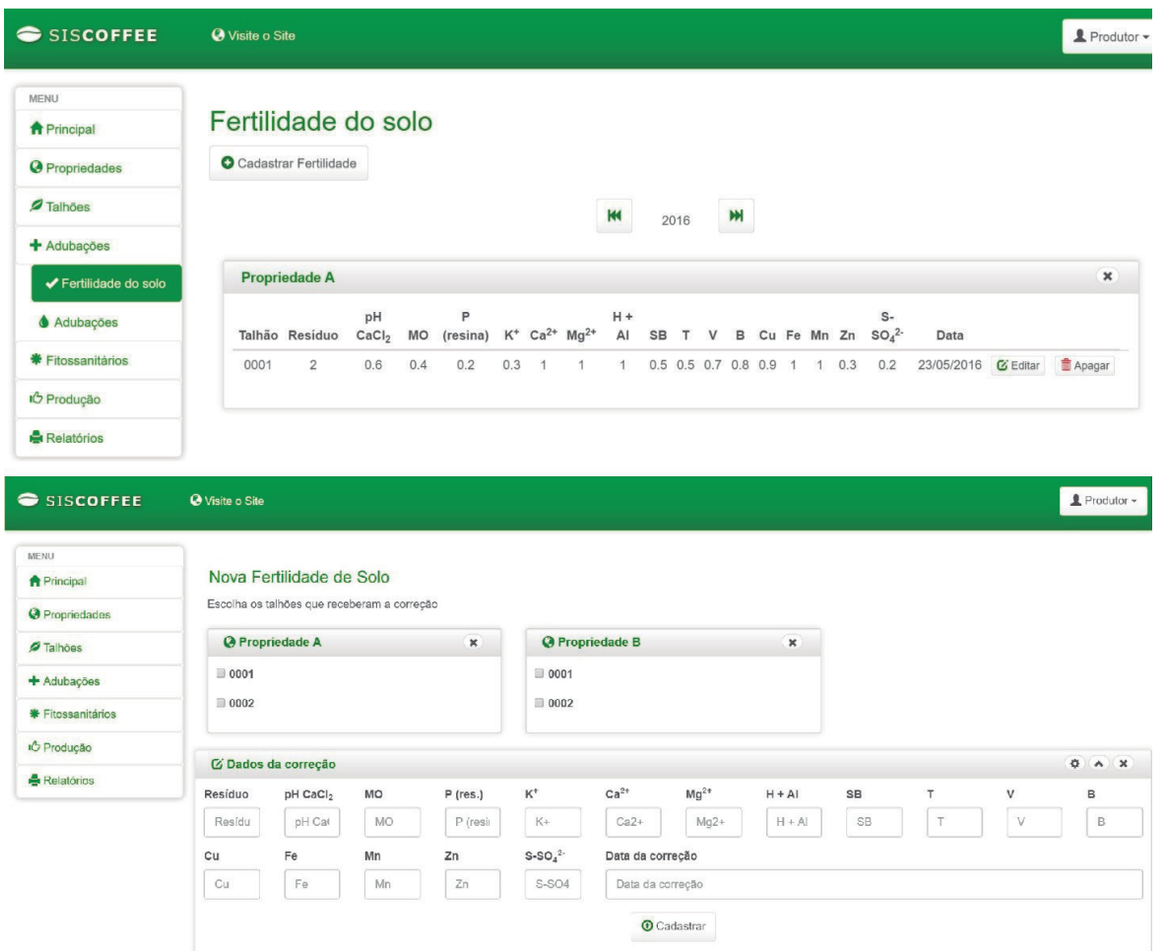


FIGURA 6 - Páginas referentes ao módulo "Adubações". (a) Gerenciamento de fertilidade de solo já cadastradas no sistema, (b) Cadastro de nova fertilidade de solo.

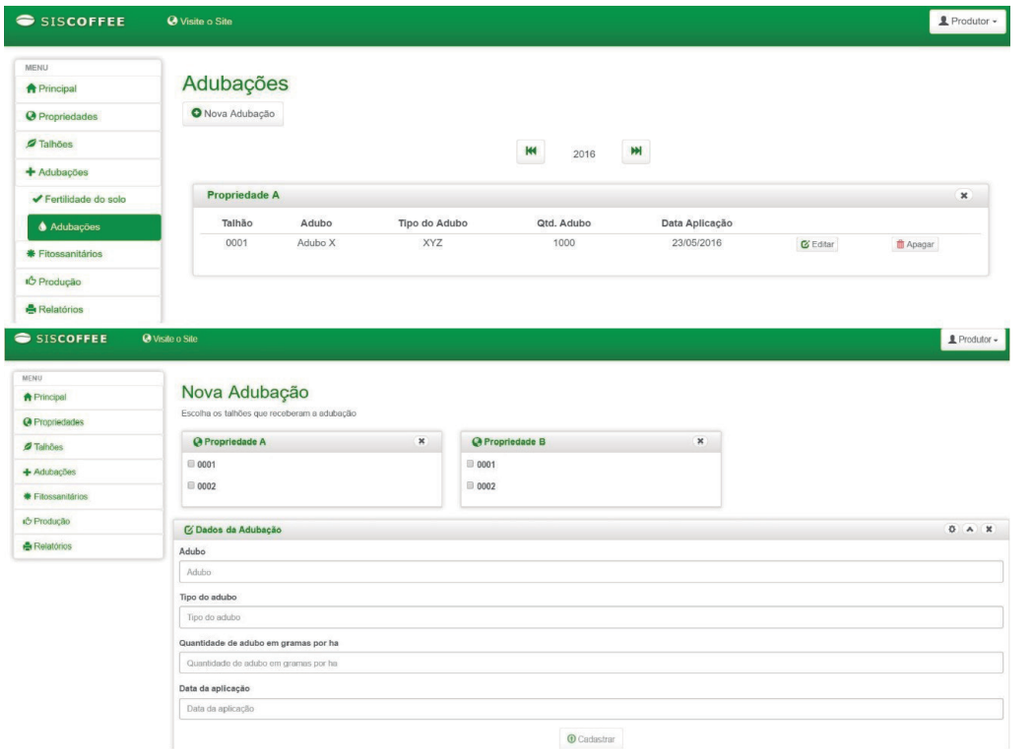


FIGURA 7 - (a) gerenciamento das adubações já cadastradas, (b) cadastro "nova adubação".

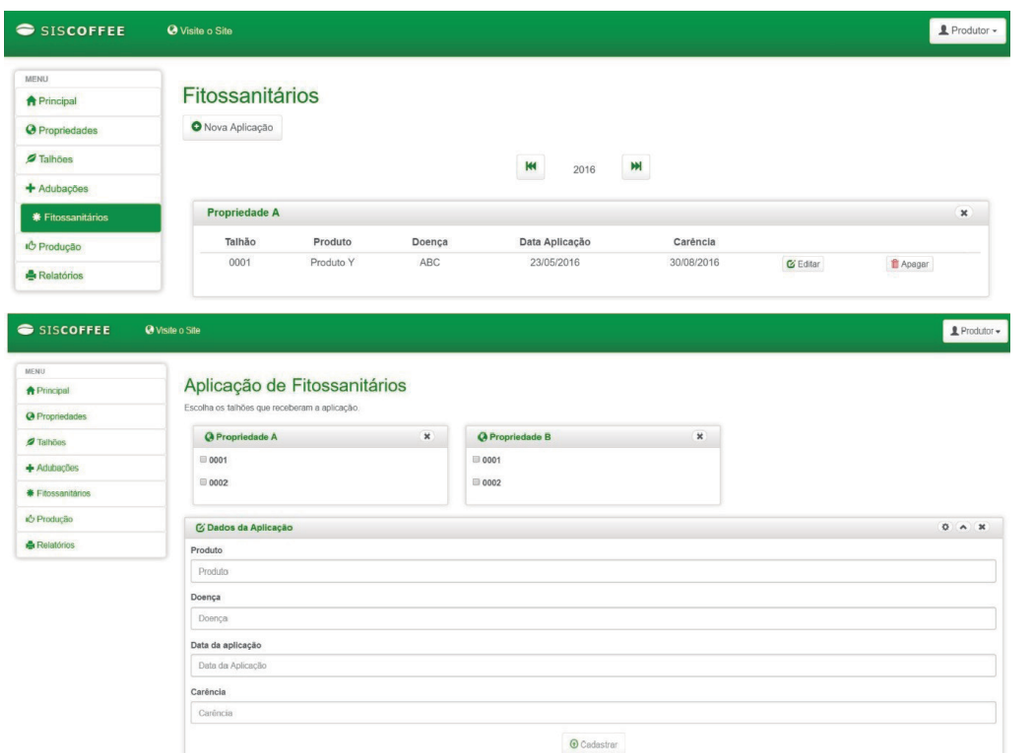


FIGURA 8 - Módulo para gerenciamento da aplicação de fitossanitários, (a) gerenciar aplicações já cadastradas (b) cadastro de nova aplicação de fitossanitário.

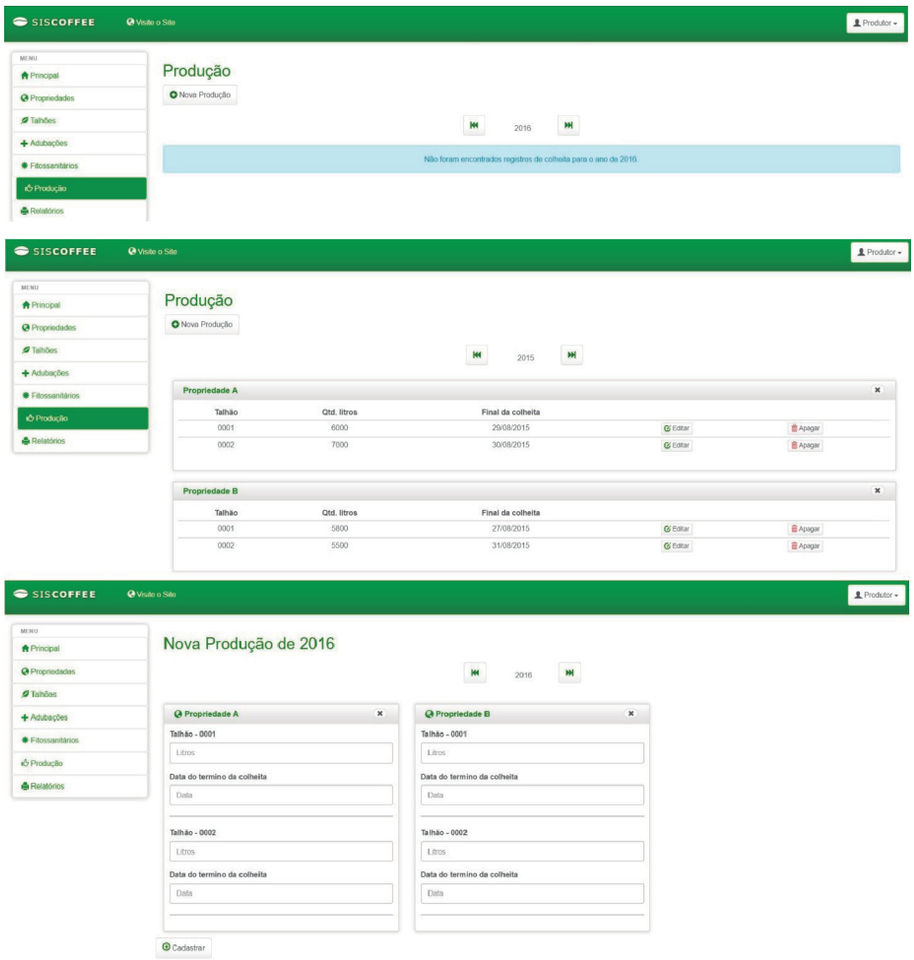


FIGURA 9 - Módulo de produção (a) tela inicial do módulo contendo a produção do ano corrente (b) tela de gerenciamento de produções cadastradas no ano selecionado (c) cadastro de nova produção.

A partir da inserção das informações, o produtor pode gerar relatório, sendo que pode ser gerado para cada módulo ou de forma geral. No módulo "Relatórios" abre-se uma janela em que o produtor pode escolher o relatório a ser gerado. Os relatórios são gerados em planilhas eletrônicas. Nesta tela o produtor pode optar por gerar relatórios de: produção; adubação; fitossanitários e fertilidade do solo, todos estes escolhendo anos iniciais e finais (Figura 10).

A utilização de *software* na agricultura vem ganhando destaque, devido ao aumento da disponibilidade de meios de fácil acesso, como *smartphones e tablets*. Gabriel Filho et al. (2016) desenvolveram o *software* que a partir da massa e altura de bovinos é possível identificar o estágio para abate.

Na área de gestão de recursos hídricos há utilização de *software* para dimensionamento de sistemas de drenagem (LUDWIG et al., 2013a) e para distribuição de efluentes na agricultura (LUDWIG et al., 2013b). Mercante et al. 2010 desenvolveram uma ferramenta para a escolha de máquinas e implementos agrícolas que apresentam o menor custo por área ou pela quantidade produzida e também o planejamento para aquisição de máquinas em propriedades agrícolas. Deve-se ressaltar que os autores visaram desenvolver uma ferramenta simples e de fácil utilização.

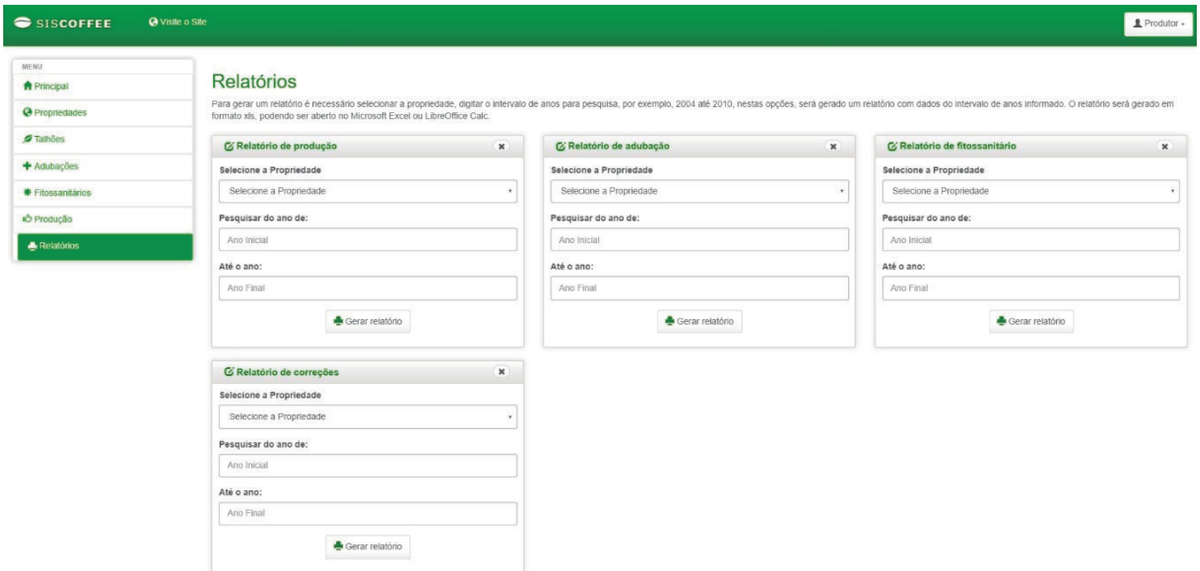


FIGURA 10 - Página de relatórios de produção de café, adubação, fitossanitários e fertilidade do solo.

4 CONCLUSÕES

A adoção da Tecnologia da Informação é de suma importância ao agronegócio, pois cada vez mais torna-se imprescindível ter a capacidade de adaptação às novas exigências do mercado para se ter um melhor desempenho ou para aquisição de vantagens competitivas. Tendo em vista a importância de se ter uma gestão eficaz de produção de café e a grande competitividade mercadológica, o desenvolvimento do sistema computacional SISCOFFEE foi de grande relevância, uma vez que ele permite ao produtor ter o controle de suas propriedades em suas mãos de qualquer lugar que esteja.

A aplicação SISCOFFEE é desenvolvida na modalidade *web* e com a característica responsiva levando em consideração que o produtor rural pode fazer o controle de sua produção em sua propriedade rural e também em outros lugares, como por exemplo, de uma cooperativa ou em sua casa na cidade. Assim, basta ter acesso à *Internet* e estar de posse de um dispositivo de sua preferência como, *smartphone, tablet, notebook* ou *desktop*.

5 AGRADECIMENTOS

À Universidade José do Rosário Vellano pelo suporte acadêmico, a Faculdade de Ciências e Engenharias (UNESP/Tupã) e à Fundação de Amparo à Pesquisa de Minas Gerais (FAPEMIG).

6 REFERÊNCIAS

ÁLVAREZ, A. J.; OLIVA, R. M.; VALERA, D. L. Software for the geometric characterisation of insect-proof screens. **Computers and Electronics in Agriculture**, Washington, v. 82, p. 134-144, 2012.

ANUÁRIO ESTATÍSTICO DO CAFÉ. **Estatísticas**. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/vegetal/estatisticas>. Acesso em: 27 jun. 2016.

BAMBINI, M. D. et al. Software para agropecuária: panorama do mercado brasileiro. **Parcerias Estratégicas**, Brasília, v. 18, n. 36, p. 175-198, jan./jun. 2013.

COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**. 5. ed. Lavras, 1999. 359 p.

DECARO JUNIOR, S. T. et al. Volume de pulverização reduzido para controle de *Leucoptera coffeella* (*Lepidoptera: Lyonetiidae*) em plantas de café. **Coffee Science**, Lavras, v. 10, n. 4, p. 491-498, 2015.

FELEMA, J.; RAIHER, A. P.; FERREIRA, C. R. Agropecuária brasileira: desempenho regional e determinantes de produtividade. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, Brasília, v. 51, n. 3, p. 555-573, set. 2013.

FERREIRA, M. C.; LEITE, G. J.; LASMAR, O. Cobertura e depósito de calda fitossanitária em plantas de café pulverizadas com equipamento original e adaptado para plantas altas. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 29, n. 5, p. 1539-1548, 2013.

FIGUEIREDO, V. C. et al. Levantamento da fertilidade do solo de lavouras cafeeiras em produção, no Sul de Minas Gerais. **Coffee Science**, Lavras, v. 8, n. 3, p. 306-313, 2014.

GABRIEL FILHO, L. R. A. et al. Software to assess beef cattle body mass through the fuzzy body mass index. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 36, p. 179-193, 2016.

GARCIA, J. R.; VIEIRA FILHO, J. E. R. Política agrícola brasileira: produtividade, inclusão e sustentabilidade**. Política Agrícola**, Brasília, v. 23, n. 1, p. 91-104, jan./mar. 2014.

LUDWIG, R. et al. Desenvolvimento de Software para distribuição de efluente na agricultura. **Revista Cultivando o Saber**, Cascavel, v. 6, p. 22-33, 2013a.

_____. Dimensionamento de sistemas de drenagem através de software computacional. **Revista Brasileira de Engenharia de Biossistemas**, Tupã, v. 7, p. 70-76, 2013b.

MACHADO, J. G. C. F.; NANTES, J. F. D. Adoção da tecnologia da informação em organizações rurais: o caso da pecuária de corte. **Gestão e Produção**, São Carlos, v. 18, n. 3, p. 555-570, 2011.

MERCANTE, E. et al. PRAPRAG: software para planejamento racional de máquinas agrícolas. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 30, n. 2, p. 322-333, 2010.

MORAIS, K. M. N.; TAVARES, E. Uso da tecnologia da informação na gestão da cadeia de suprimentos em São Luís, Maranhão, e oportunidades para o desenvolvimento de fornecedores locais. **Interações**, Campo Grande, v. 14, n. 1, p. 89-105, jun. 2013.

NIKOLIDAKIS, S. A. et al. Energy efficient automated control of irrigation in agriculture by using wireless sensor networks. **Computers and Electronics in Agriculture**, Washington, v. 113, p. 154-163, 2015.

OLIVEIRA, M. D. M.; VEGRO, C. L. R. Custo de produção e rentabilidade na cafeicultura paulista: um estudo de caso. **Informações Econômicas**, São Paulo, v. 34, n. 4, p. 33-44, 2004.

RIBAS, A.; VANZIN, T.; ULBRITCHT, V. Design responsivo e acessibilidade para dispositivos moveis: uma revisão sistemática de literatura. **Blucher Design Proceedings**, São Paulo, v. 2, n. 1, p. 1388-1397, 2015.

SANTOS, V. E.; GOMES, M. T. M.; GOMES, M. F. M. Estimativa da elasticidade-renda do consumo de café na região sudeste do brasil. **Revista de Economia e Agronegócio**, Viçosa, v. 3, n. 4, p. 537-558, 2015.

SANTOS, V. F. D. et al. Análise da eficiência técnica de talhões de café irrigados e não-irrigados em Minas Gerais: 2004-2006. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, Curitiba, v. 47, n. 3, p. 677-698, 2009.

THORP, K. R. et al. Methodology for the use of DSSAT models for precision agriculture decision support. **Computers and Electronics in Agriculture**, Washington, v. 64, n. 2, p. 276-285, 2008.

VALE, A. R.; CALDERARO, R. A. P.; FAGUNDES, F. N. A cafeicultura em Minas Gerais: estudo comparativo entre as regiões Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba e Sul/Sudoeste. **Revista de Geografia Agrária**, Uberlândia, v. 9, n. 18, p. 1-23, jun. 2014.

COMPONENTES GENÉTICOS DO DESENVOLVIMENTO E MATURAÇÃO DE FRUTOS DE *Coffea canephora* Pierre ex A.Froehner

Carolina Augusto de Souza[1], Rodrigo Barros Rocha[2], Enrique Anastácio Alves[3], Marcelo Curitiba Espindula[4], André Rostand Ramalho[5], Alexsandro Lara Teixeira[6], Maria Amélia Gava Ferrão[7]

(Recebido: 30 de agosto de 2016; aceito: 21 de novembro de 2016)

RESUMO: O ciclo de maturação dos frutos do cafeeiro *Coffea canephora* é uma característica de herança complexa, de expressão governada por vários genes influenciados pelo ambiente, o que resulta em uma característica quantitativa de distribuição contínua. O objetivo desse trabalho foi caracterizar os componentes genéticos do ciclo de maturação dos frutos de *C. canephora* visando caracterizar o mecanismo de herança e a influência do ambiente na expressão dessa característica. Para isso foram avaliados o número de dias e a soma térmica para a maturação dos frutos de 130 clones, avaliados ao longo de 36 meses, em delineamento de blocos ao acaso com seis repetições de quatro plantas por parcela no município de Ouro Preto do Oeste - RO. Os valores genotípicos e os componentes de variância foram estimados utilizando-se métodos de Máxima Verossimilhança Restrita (REML) e Melhor Predição Linear Não Viesada (BLUP) e a dissimilaridade entre os genótipos quantificada utilizando técnicas de agrupamento hierárquico. As estimativas dos parâmetros genéticos indicam maior acurácia da soma térmica para estimar o ciclo de maturação dos frutos, e uma predominância do efeito genotípico na expressão dessa característica. No dendrograma foi possível observar três grupos de maturação distintos que se mantiveram ao longo do tempo. Também foram observados genótipos (20%) que apresentaram mudanças em sua classificação devido à ação do ambiente. A quantificação da eficiência da seleção e o agrupamento dos clones de ciclo de maturação semelhante subsidiam o desenvolvimento de novas variedades de maior uniformidade de maturação de frutos.

Termos para indexação: Ciclo de maturação, acurácia de seleção, soma térmica, Amazônia, Rondônia.

GENETIC COMPONENTS FOR FRUIT DEVELOPMENT AND RIPENING OF *Coffea canephora* Pierre ex A. Froehner

ABSTRACT: *Although normally measured in classes, fruit ripening cycle is a complex trait with expression governed by several genes influenced by the environment, which results in a quantitative trait of the continuous distribution. This study aimed to characterize the genetic components of Coffea canephora fruits ripening cycle in order to quantify the genotypic and environmental effects in the expression of this trait. The number of days and the thermal time for fruit ripening of 130 clones were evaluated over 36 months in design of randomized blocks with six replicates of four plants per plot in OuroPreto do Oeste - RO. The genotypic values and the variance components were estimated using methods of Restricted Maximum Likelihood (REML) and Best Linear not Unbiased Prediction (BLUP) and the dissimilarity among genotypes quantified using hierarchical clustering techniques. Estimates of genetic parameters indicate greater accuracy of thermal time to estimate the fruit ripening cycle, and a predominance of the genotypic effect on the expression of this trait. In the dendrogram it was possible to observe three different fruit ripening groups, which maintained over time. They were also observed genotypes (20%) that changed their classification due to the environmental effect. The observed efficiency of selection associated and the clustering of genotypes with similar ripening cycles subsidize the development of new varieties.*

Index terms: *Ripening cycle, accuracy of selection, thermal time, Amazonian, Rondônia.*

1 INTRODUÇÃO

O cafeeiro pertence ao gênero *Coffea* spp. o qual possui 124 espécies, encontradas atualmente em regiões tropicais de todo o mundo (DAVIS et al., 2011). Desse conjunto duas espécies são cultivadas em larga escala para comercialização, o *C. arabica* L. e o *C. canephora*. Essas espécies diferenciam-se em relação a características morfológicas e genéticas. Aproximadamente 38% da produção de café do mundo deve-se ao cultivo da espécie *C. canephora*, que se caracteriza pelo elevado vigor vegetativo e produção de uma com alto teor de sólidos solúveis (MOURA et al., 2007; RIBEIRO et al.,2014). Na Amazônia Ocidental destaca-se o Estado de Rondônia pela sua aptidão para cultivo do *C. canephora* (PEZZOPANE et al., 2010; ROCHA et al., 2014).

O conhecimento da época de maturação dos frutos do cafeeiro é fundamental, pois facilita a colheita, o beneficiamento e a comercialização dos frutos (PARTELLI et al., 2010). Segundo Petek, Sera e Fonseca (2009) o ciclo de maturação do cafeeiro pode ser entendido como o período fenológico de desenvolvimento e maturação dos frutos, que ocorre entre o florescimento e a colheita.

[1]Programa de Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente da Universidade Federal de Rondônia - PGDRA/UNIR - Campus José Ribeiro Filho, BR 364 km 9,5 - 76.801-059 - Porto Velho - RO - carolina_augusto@hotmail.com
[2,3,4,5,6] Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa Rondônia - BR 364 - Km 5,5 - Zona Rural - 76.815-800 Porto Velho - RO - rodrigo.rocha@embrapa.br,enrique.alves@embrapa.br, marcelo.espindula@embrapa.br, andre.rostand@embrapa.br,alexsandro.teixeira@embrapa.br
[7]Embrapa Café/Incaper - Parque Estação Biológica, PqEB, s/n - 70.770-901 - Brasília - DF - maria.ferrao@embrapa.br

O ciclo fenológico dos cafeeiros apresenta uma sucessão de fases vegetativas e reprodutivas que ocorrem em aproximadamente dois anos. A fase reprodutiva se caracteriza pelo desenvolvimento das gemas axilares em gemas reprodutivas (CUNHA; VOLPE, 2011; PARTELLI et al., 2014). Após a fecundação e queda das flores inicia-se a fase da frutificação, culminando em um período de aparente dormência, mas de intensa atividade celular. Posteriormente os frutos passam por um período de expansão celular e de alta demanda hídrica, em que os frutos se desenvolvem rapidamente, aumentando em volume e massa seca (PEZZOPANE et al., 2003; REZENDE et al., 2007). Cada estágio de formação possui funções fisiológicas e metabólicas próprias, essenciais à formação do café (LAVIOLA et al., 2007). Além dos fatores ambientais, fatores genéticos são determinantes para o ciclo de maturação dos frutos podendo ser encontradas em campo plantas que amadurecem em diferentes épocas do ano (PETEK; SERA; FONSECA, 2009; PEZZOPANE et al., 2003). Dubberstein et al. (2016) caracterizaram genótipos de *C. canephora* propagados vegetativamente (clones) com ciclo de maturação de aproximadamente 300 dias. Em campo, de maneira prática, os clones de *C. canephora* que amadurecem nos meses de abril, maio e junho são denominados respectivamente clones de ciclo precoce, intermediário e tardio. Ferrão et al. (2008) caracterizam genótipos de ciclo super precoce que apresentaram maturação de frutos no mês de março.

Entre os elementos climáticos que influenciam o ciclo de maturação, a temperatura é considerada a mais relevante para os processos fisiológicos de maturação dos frutos (PEZZOPANE et al., 2008). A temperatura ideal para o desenvolvimento do *C. canephora* está entre 22 e 26 °C (DAMATTA; CARVALHO, 2006), podendo tolerar temperaturas de 37°C de dia e 30°C a noite, sendo que temperaturas superiores a 42°C de dia e 34°C à noite causam efeitos deletérios não-estomáticos irreversíveis na fotossíntese dessas plantas (MARTINS et al., 2016; RODRIGUES et al., 2016).

A avaliação do ciclo de maturação em função da soma de graus-dia se baseia na pressuposição de que a planta para completar uma fase fenológica necessita de um somatório térmico próprio, característico de sua fisiologia (PAULA CARVALHO et al., 2014; SALAZAR-PARRA et al., 2012).

Embora normalmente avaliado em classes, o ciclo de maturação do cafeeiro é uma característica de herança complexa, de expressão governada por vários genes influenciados pelo ambiente, o que resulta em uma característica quantitativa de distribuição contínua. No entanto, não foram encontrados na literatura pesquisas que avaliaram essa característica considerando sua natureza quantitativa. A predição dos parâmetros genéticos permite quantificar a fração da variação total que se deve ao efeito de genótipos e de ambientes, permitindo melhor predizer o comportamento das plantas. As técnicas ótimas de avaliação genética envolvem simultaneamente a predição de valores genotípicos e a estimação de componentes de variância (RESENDE et al., 2001). O procedimento para predição dos componentes de variância e dos valores genotípicos é o REML/BLUP (Máxima Verossimilhança Restrita/Melhor Predição Linear Não Viesada) ao nível de indivíduo (HENDERSON; QUAAS, 1976).

Nesse contexto, o objetivo desse trabalho foi quantificar os componentes genéticos do ciclo de maturação de 130 clones de *C. canephora* visando caracterizar os mecanismos de herança e a influência do ambiente sobre essa característica.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Estimativas do número de graus-dia e da soma térmica

O ciclo de desenvolvimento dos frutos foi mensurado considerando o número de dias e soma térmica no período entre a data de florescimento e a data de colheita, quando aproximadamente 80% dos frutos estão na fase de maturação M_3, de coloração vermelho claro e maduros fisiologicamente (MARCOLAN et al., 2009; MORAIS et al., 2008). No mês de dezembro de 2011, foi instalado no campo experimental da Embrapa no município de Ouro Preto do Oeste-RO experimento em delineamento de blocos casualizados, com seis repetições, quatro plantas por parcela em espaçamento de 3x2 m para avaliação de 130 clones. De acordo com as Normais Climatológicas (BRASIL, 1992) o clima do município é do tipo Aw (classificação Köppen), definido como tropical úmido com estação chuvosa (outubro a maio) no verão e seca bem definida no inverno. Deficiência hídrica acumulada de junho a setembro (DEF=175 mm) e excedente hídrico acumulado de novembro a abril (EXC=781 mm) para 100 mm de retenção hídrica. A amplitude média anual varia de 21,2ºC a 30,3ºC, sendo que as temperaturas mais elevadas ocorrem nos meses de julho e agosto. A precipitação média anual é de 1.939 mm, com umidade relativa média do ar de 81%.

Dados climáticos foram coletados durante o período de julho de 2013 a dezembro de 2015 por meio de estação automática (10°43'37.01"S e 62°13'44.94"W) da marca METOS pertencente à CEPLAC (Comissão Executiva de Planejamento da Lavoura Cacaueira). As variáveis meteorológicas analisadas foram a precipitação (mm), o déficit hídrico (mm), a temperatura máxima (ºC), a temperatura mínima (ºC) e a temperatura média (ºC) (Figura 1).

Embora o cafeeiro possa florescer até quatro vezes por ano, a sua florada principal ocorre nos meses de julho ou agosto, aproximadamente seis dias depois das primeiras chuvas após período de déficit hídrico. No ano agrícola 2013/2014 a florada principal do *C. canephora* ocorreu no dia 28 de julho e no ano agrícola seguinte 2014/2015 no dia 01 de agosto no município de Ouro Preto do Oeste - RO (10º37´03´´S e 62º51´50´´W).

Estimada a partir do contraste entre a temperatura-base e a temperatura média diária, a soma térmica fundamenta-se na quantificação do número de graus dias definida como a quantidade de calor efetivamente acumulada durante o dia, adequada para o crescimento do vegetal (PEZZOPANE et al., 2008):

$$GD_j = \sum_{i=1}^{j} (Tm_i - Tb)$$

em que:
GD_J = graus dia acumulado durante o período em ºC; Tm_i = temperatura média do ar mensurada no i-ésimo dia em ºC; Tb= temperatura basal inferior para a cultura do café igual a 15º C (BATISTA-SANTOS et al., 2011; DAMATTA; RAMALHO, 2006; WILLSON et al., 1999).

De forma que cada grau acima da temperatura basal (Tb) corresponde a um grau-dia (DAMARIO; PASCALE; BURIOL, 2008). Diferentes estudos fisiológicos indicam uma amplitude de 10,2º a 15,4º da temperatura base do cafeeiro *C. arabica* (CAMARGO; CAMARGO, 2001; ORTOLANI et al., 2001). Segundo Damatta e Ramalho (2006) e Willson et al. (1999) em temperaturas menores do que 15 ºC a taxa de fotossíntese diminui drasticamente nas plantas de *C. canephora*.

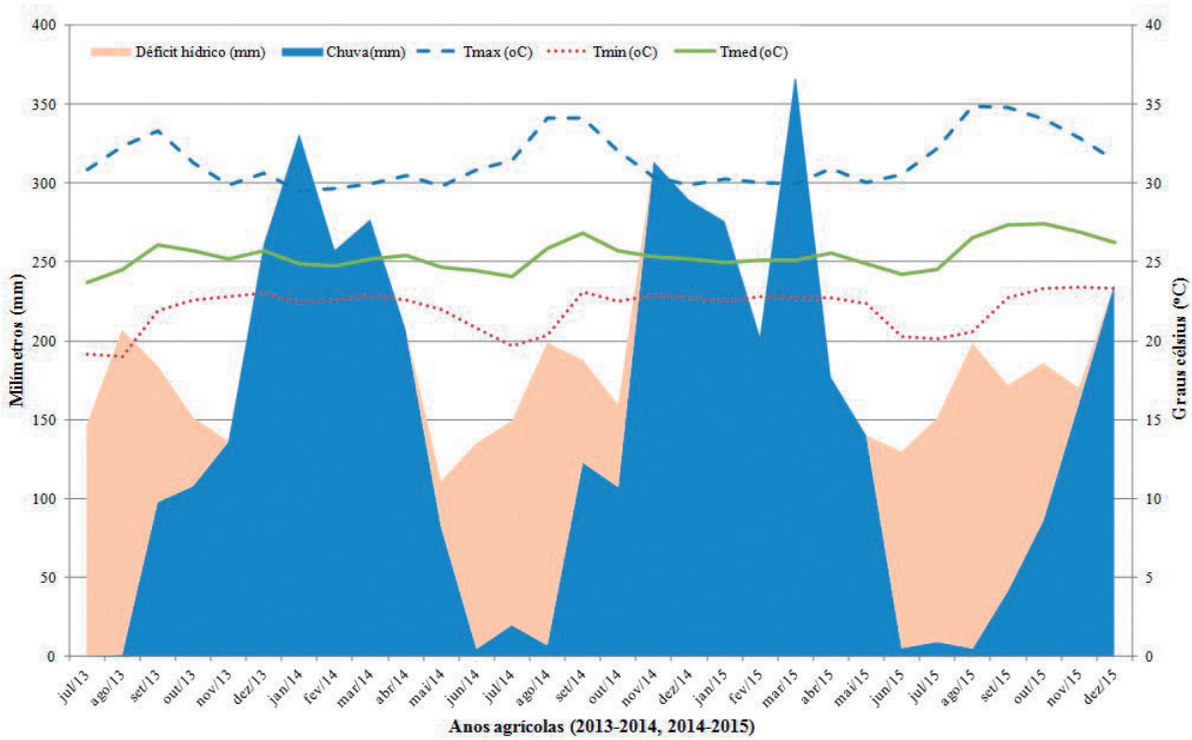


FIGURA 1 - Variáveis climáticas avaliadas no período de julho de 2013 a dezembro de 2015 no município de Ouro Presto do Oeste – RO, representadas por déficit hídrico (mm), precipitação (mm) e temperaturas máxima, mínimas e médias (ºC).

2.2 Estimativa dos parâmetros genéticos

O procedimento REML (Restricted Maximum Likehood), máxima verossimilhança restrita, foi utilizado para estimar os componentes de variância e o método BLUP (Best Linear Unbiased Prediction), melhor preditor linear não viesado, foi utilizado para obter estimativas dos valores genotípicos (RESENDE et al., 2007). Esses procedimentos estão associados a um modelo linear misto que contém, além da média geral, efeito aleatório de tratamento (genótipos) e efeito fixo de ambiente. As estimativas dos valores genotípicos foram obtidas considerando os seguintes modelos lineares mistos para análise individual (1) e conjunta (2) em duas épocas (RESENDE, 2002):

$$\mathrm{y} = \mathrm{Xb} + \mathrm{Zg} + \mathrm{e} \quad (1)$$

Em que y: é o vetor de dados; b :é o vetor dos efeitos de bloco, tomados como fixo; g: é o vetor dos efeitos genotípicos, tomados como aleatórios; e: é o vetor de erros aleatórios. As letras maiúsculas representam as matrizes de incidência para os referidos efeitos.

$$\mathrm{y} = \mathrm{Xm} + \mathrm{Za} + \mathrm{Wp} + \mathrm{Ts} + \mathrm{e} \quad (2)$$

Em que y: é o vetor de dados; m: é o vetor dos efeitos fixos das combinações medição-repetição, a: é o vetor de efeitos genéticos aditivos individuais, considerados aleatórios, p: é o vetor dos efeitos aleatórios de parcela, s: vetor de efeitos permanentes de ambiente, tomados como aleatórios e: é o vetor de erros aleatórios. As letras maiúsculas representam as matrizes de incidência para os referidos efeitos.

Entre os parâmetros genéticos mais importantes para a caracterização do controle genético e da eficiência do processo de seleção destacam-se a herdabilidade, a repetibilidade e a acurácia de seleção (CRUZ; CARNEIRO, 2006). A herdabilidade em sentido amplo mensura a proporção relativa entre os efeitos genotípicos e ambientais na expressão das características. É considerado o componente mais importante das estimativas de progresso genético obtidos com a propagação assexuada, que segundo Vencovsky e Barriga (1992), pode ser estimada por:

$$h^2 = \frac{\sigma_g^2}{\sigma_g^2 + \sigma_e^2}$$

Em que h^2: é a herdabilidade em sentido amplo, σ_g^2:é a variância genotípica, σ_e^2: é a variância ambiental.

O coeficiente de repetibilidade, que mensura a manutenção da superioridade genética ao longo do tempo, foi estimado para avaliar a precisão de se selecionar os clones com medidas repetidas obtidas conforme o estimador (CRUZ; CARNEIRO, 2006):

$$\rho = \frac{\sigma_g^2 + \sigma_{ep}^2}{\sigma_y^2}$$

Em que σ_g^2: é a variância genotípica,: σ_{ep}^2: variância permanente entre parcelas e: σ_y^2 variância fenotípica individual.

A acurácia seletiva é uma estimativa de correlação entre o valor genotípico verdadeiro e o estimado, ($\hat{r}_g$), sendo considerada uma importante medida de qualidade dos procedimentos de seleção. A acurácia seletiva foi estimada de acordo com Resende (2002):

$$\hat{r}_{gg} = \sqrt{\frac{mh_g^2}{1+(m-1)\rho}}$$

Em que m: é o número de medidas, h_g^2: é a herdabilidade genotípica, ρ: é a repetibilidade. A acurácia seletiva varia de 0 a 1, sendo que segundo classificação de Resende (2002), pode ser considerada como: muito alta ($\hat{r}_g \geq 0{,}9$), alta ($0{,}7 \geq \hat{r}_g > 0{,}9$), moderada ($0{,}5 \geq \hat{r}_g > 0{,}7$), e baixa ($\hat{r}_g < 0{,}5$).

2.3 Agrupamento dos genótipos de mesmo ciclo de maturação

Visando agrupar os clones de mesmo grupo de maturação, a dissimilaridade entre os genótipos foi estimada considerando a diferença na soma térmica para a maturação dos frutos de acordo com o seguinte estimador (CRUZ; CARNEIRO, 2006):

$$\mathrm{d}_{ij} = \sqrt{\sum_j (\mathrm{Y}_i \quad \mathrm{Y}_j)^2}$$

Em que d_{ij}: diferença na soma térmica entre o i-ésimo e o j-ésimo clone, Y_i: soma térmica do i-ésimo clone, Y_j: soma térmica do j-ésimo clone. A partir da matriz de dissimilaridade da soma térmica foi estimado um dendrograma utilizando o método UPGMA (Unweighted Pair-Group Method Using Arithmetic Mean) de agrupamento hierárquico.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O ciclo de maturação dos frutos de *C. canephora* é uma característica de natureza quantitativa, uma vez que os processos fisiológicos de desenvolvimento e maturação dos frutos possuem herança complexa influenciada pelo ambiente, que dependem da fisiologia e da energia acumulada pela planta (SERA et al., 2002). Ao se considerar a natureza quantitativa do processo de desenvolvimento dos frutos é possível, a partir dos valores fenotípicos, quantificar os componentes genéticos e ambientais associados à expressão dessa característica e prever sua estabilidade ao longo do tempo.

As análises de variância do número de dias e da soma térmica para o desenvolvimento dos frutos mostraram que a fonte de variação genótipos (clones) foi significativa nas épocas, de acordo com o teste F a 1% de probabilidade (Tabela 1). As magnitudes da variância genotípica e da variância ambiental indicam uma predominância do efeito de genótipos na expressão desta característica, resultado da expressão genética diferenciada entre plantas. Segundo Resende (2002), esta condição é fundamental para o progresso genético com a prática da seleção. O teste F também mostrou que a variância da fonte de variação genótipos foi aproximadamente dez vezes maior na primeira época de avaliação, período em que houve uma melhor distribuição de chuvas na região. Estimativas elevadas de variância genotípica também foram observadas por Ramalho et al. (2016), na avaliação da produção de café beneficiado ao longo de três safras.

As estimativas dos valores do coeficiente de variação experimental podem ser consideradas baixas indicando alta precisão experimental (FERRÃO et al., 2008) (Tabela 1). O coeficiente de variação é uma relação entre a média e o quadrado médio do resíduo que depende tanto das condições experimentais quanto da natureza da característica. Comparativamente, estimativas de coeficiente de variação entre 15% a 30% para a produção de café beneficiado indicam uma boa condução experimental (FERRÃO et al., 2008).

O desvio padrão da herdabilidade também foi interpretado como uma medida de qualidade das estimativas, sendo que na segunda época de avaliação observou-se a maior relação entre o desvio padrão e o valor da herdabilidade. Segundo Resende (2002), valores de desvio-padrão até 20% do valor da estimativa da herdabilidade indicam boa precisão dessas estimativas. Por sua vez a relação entre as estimativas do coeficiente de variação genético e o coeficiente variação ambiental quando próximos ou superiores à unidade, caracterizam condição favorável para a obtenção de ganhos com a seleção (RAMALHO, 2000) (Tabela 1).

Apesar da predominância do componente genético na expressão dessa característica, um mesmo genótipo pode apresentar diferenças no seu ciclo de maturação de um ano para o outro devido à ação do ambiente (PETEK; SERA; FONSECA, 2009). O coeficiente de repetibilidade $\rho \geq 0,7$ indicou tendência das plantas em manter o seu ciclo de maturação ao longo do tempo (Tabela 2).

A dispersão no plano das estimativas dos valores genotípicos do número de dias e da soma térmica necessária para desenvolvimento e maturação dos frutos, mostra a tendência das plantas de manter seu comportamento ao longo do tempo; e a maior precisão da soma térmica para predizer o comportamento dessa característica (Figura 2). As estimativas do coeficiente de determinação mostram a correlação positiva e de alta magnitude, observada entre as avaliaçõesrealizadas em um ano agrícola em comparação com o ano agrícola seguinte (Figura 2).

Todas as estimativas dos parâmetros genéticos interpretadas indicaram maior precisão da soma térmica em comparação ao número de dias para maturação dos frutos em *C. canephora*. A soma térmica para o desenvolvimento dos frutos esteve associada a uma herdabilidade média de 0,95 no ano agrícola de 2013-2014 e de 0,93 no ano agrícola de 2014-2015, o que segundo classificação de Resende (2002), indica alta precisão nas inferências dos valores genotípicos $r_{gg} \geq 0,9$. Entre os elementos climáticos, a temperatura do ar é um dos mais importantes, uma vez que os processos fisiológicos do cafeeiro são influenciados pela utilização da energia radiante mensurada na forma da soma térmica necessária para o desenvolvimento dos frutos (CARVALHO et al., 2011; PEZZOPANE et al., 2003).

Para a produção de café com qualidade de bebida é importante a realização da colheita na época correta, quando a maior parte dos frutos encontra-se fisiologicamente madura, reduzindo a proporção de frutos verdes misturados aos frutos maduros (TEIXEIRA et al., 2015). A adoção de tecnologias como a colheita escalonada, que consiste em utilizar clones superiores de ciclo de maturação diferenciado, subsidia a realização da colheita ao longo do tempo (BARDIN-CAMPAROTTO; CAMARGO; MORAES, 2012; PETEK; SERA; FONSECA, 2009).

TABELA 1 - Parâmetros genéticos para características número de dias (ND) e soma térmica ($\sum T$) para a maturação dos frutos, estimados a partir da avaliação de 130 clones de *Coffea canephora*, nos anos agrícolas de 2013-2014 e 2014-2015 no município de Ouro Preto do Oeste, Rondônia.

Parâmetros genéticos	ND 2013-2014	ND 2014-2015	$\sum T$ 2013-2014	$\sum T$ 2014-2015
Variância genotípica (σ_g^2)	274,8	208,45	27874,38	20895,83
Variância residual (σ_e^2)	82,12	114,69	8070,25	9363,54
Variância fenotípica (σ_f^2)	356,93	323,14	35944,63	30259,37
Estimativa do teste da ANOVA (*F*)	23,26**	13,13**	24,02**	15,77**
Herdabilidade no sentido amplo (h_g^2)[1]	0,77±0,06	0,65±0,08	0,78±0,09	0,69±0,09
Herdabilidade média de clones (h_m^2)	0,95	0,92	0,95	0,93
Acurácia da seleção clonal (AC_{clon})	0,97	0,96	0,98	0,96
Coeficiente de variação genotípica (CV_g)	5,71	5,08	5,61	4,86
Coeficiente de variação residual (CV_e)	3,12	3,77	3,02	3,25
Coeficiente de variação relativa (CV_r)[2]	1,83	1,34	1,86	1,49
Variância do erro(PEV)	13,03	14,51	1283,12	1452,14
DP do valor genotípico predito (SEP)	3,61	4,18	35,82	38,11
Média geral (μ)	289,93	284,02	2971,05	2972,34

**: significativo a 1% de significância, F: Teste F da análise de variância do efeito de genótipos,[1]Herdabilidade em sentido amplo associada a seu desvio padrão [2].

TABELA 2 - Parâmetros genéticos da análise conjunta do número de dias (ND) e da soma térmica ($\sum T$) para a maturação dosfrutos de 130 clones de *Coffea canephora* avaliados nos anos agrícolas 2013-2014 e 2014-2015. Campo Experimental de Ouro Preto do Oeste (RO).

Parâmetros genéticos	ND	$\sum T$
Variância genotípica (σ_g^2)	207,56	20954,89
Variância dos efeitos permanentes de ambiente (σ_{φ}^2)	24,29	2685,15
Variância residual (σ_e^2)	91,99	8088,78
Variância fenotípica individual (σ_f^2)	323,84	31728,83
Herdabilidade sentido amplo (h_g^2)[1]	0,64±0,05	0,66±0,05
Repetibilidade (ρ)[2]	0,72±0,06	0,74±0,06
Coeficiente de determinação dos efeitos permanentes (c_{perm}^2)	0,07	0,08
Média geral	287,71	2979,69

[1]Herdabilidade em sentido amplo associada a seu desvio padrão, [2]Repetibilidade associada a seu desvio padrão

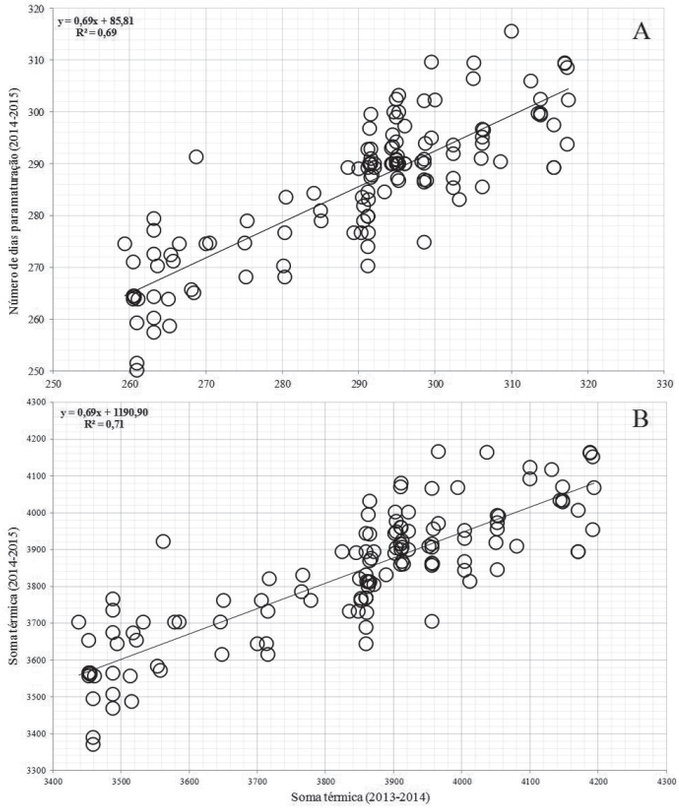


FIGURA 2 – Dispersão no plano dos valores genotípicos do número de dias (A) e correlação da soma térmica (B) para maturação dos frutos de 130 clones de *Coffea canephora* avaliados nos anos agrícolas de 2013-2014 e 2014-2015 no município de Ouro Preto do Oeste – Rondônia.

No ano de 2013, o Instituto Capixaba de Pesquisa Assistência Técnica e Extensão Rural (INCAPER) lançou três diferentes variedades comerciais de ciclo de maturação precoce, intermediário e tardio, respectivamente. No ano de 2012, a Embrapa Rondônia lançou a variedade BRS Ouro Preto, uma variedade de ciclo intermediário adaptada especificamente para as condições de solo e clima do Estado de Rondônia.

Como forma de quantificar a variabilidade genética e agrupar os clones de ciclo de maturação semelhante foi utilizada técnica de agrupamento hierárquico para a obtenção de um diagrama em árvore (Figura 3). Diferentes métodos podem ser utilizados para determinar intervalos de uma variável quantitativa. Machado e Figueiredo Filho (2006) sugerem a utilização do estimador desenvolvido a partir da distribuição binomial. Por sua vez Scott (1979) sugere a classificação de uma variável quantitativa em intervalos, definidos em função da amplitude total e do desvio padrão normalizado. A utilização de técnicas de agrupamento hierárquico, como realizado nesse trabalho, permitiu quantificar e visualizar o número de classes mais apropriado em função da variabilidade contida nos dados. A definição dos pontos de corte estabelecido entre grupos de maior divergência permitiu classificar os clones em três grupos de maturação diferenciada, baseado na soma térmica necessária para a maturação dos frutos.

A desuniformidade na distribuição de chuvas na segunda época de avaliação resultou em maior desuniformidade de maturação que pode ser observada nos maiores valores de divergência observados no dendrograma (Figura 3). No dendrograma foi possível observar, três grupos de maturação distintos que se mantiveram ao longo do tempo. Um grupo precoce com soma térmica para maturação de 2660 a 2821 no primeiro ano e 2621 a 2711 no segundo ano agrícola avaliado. Um grupo intermediário com soma térmica para maturação de 2875 a 3067 no primeiro ano e 2880 a 3090 no segundo ano agrícola avaliado.

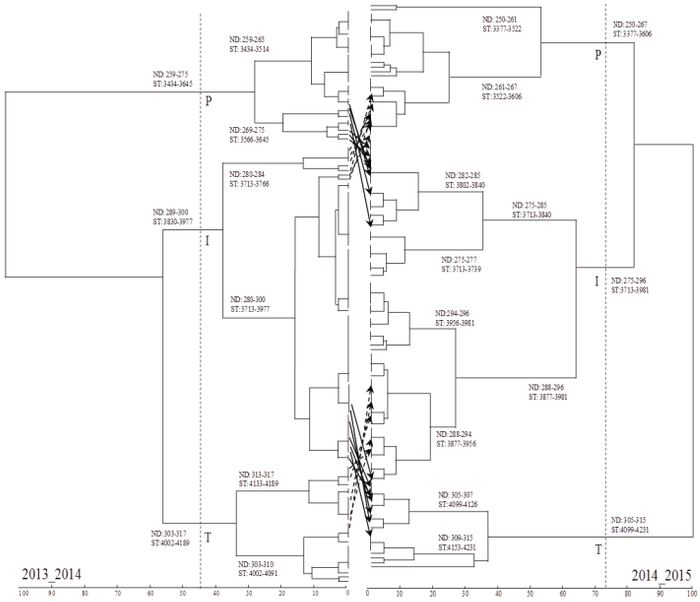


FIGURA 3 - Dendrograma obtido pelo método de UPGMA, classificando os 130 clones de *Coffea canephora* nos anos agrícolas 2013/2014 e 2014/2015 em função das estimativas da soma térmica para a maturação dosfrutos. As setas indicam as mudanças nos agrupamentos ocorridas de um ano para o outro.

E um grupo tardio com soma térmica para maturação de 3102 a 3240 no primeiro ano e 3140 a 3274 no segundo ano agrícola avaliado (Figura 3).

Na prática, os agricultores já realizam a colheita dos clones com aproximadamente 20 dias de diferença entre ciclo. Partelli et. al. (2014) em seus trabalhos observaram plantas de ciclos de maturação precoce, média ou intermediárias, tardias e extremamente tardias.

Apesar da predominância do componente genotípico na expressão dessa característica foram observadas diferenças na classificação de um ano para o outro (Figura 3). Dos 130 clones avaliados, 105 clones mantiveram-se no mesmo agrupamento de um ano para o outro (80%) e 25 clones foram classificados em diferentes grupos (20%). Os clones que apresentaram mudanças em sua classificação foram aqueles que amadureceram com valores de soma térmica próximos aos limites dos grupos, definido em função da própria variabilidade dos dados (Figura 3).

Tanto o florescimento do cafeeiro quanto a taxa de crescimento dos frutos são afetados por fatores climáticos que influenciam na uniformidade de maturação e período da colheita. No entanto, o entendimento da variabilidade genética permite selecionar plantas com valores de soma térmica características de cada grupo e que mantém sua maturação estável ao longo do tempo.

4 CONCLUSÃO

A caracterização dos componentes genéticos do desenvolvimento e maturação dos frutos de *C. canephora* demonstra predominância da variância genotípica na expressão dessa característica associada à uma alta eficiência de seleção. Observou-se maior precisão da soma térmica em comparação ao número de dias para avaliar o desenvolvimento e a maturação dos frutos de *C. canephora.* A utilização de técnicas de agrupamento hierárquico permitiu definir o número de classes mais apropriado em função da variabilidade contida nos dados. Vinte por cento dos clones apresentaram diferenças na classificação de um ano para o outro devido à ação do ambiente. O agrupamento dos clones de ciclo de maturação semelhante subsidia a composição de variedades comerciais que além de outros atributos favoráveis apresentem também ciclo de maturação mais uniforme e estável.

5 AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão de bolsa e ao Consórcio Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento do Café (CPC) pelo apoio financeiro e a todos os técnicos agrícolas e operários rurais do campo experimental da Embrapa em Ouro Preto do Oeste, pela dedicação ao trabalho ao longo dos anos.

6 REFERÊNCIAS

BARDIN-CAMPAROTTO, L.; CAMARGO, M.B.P.; MORAES, J.F.L. Época provável de maturação para diferentes cultivares de café arábica para o Estado de São Paulo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 42, p. 594-599, 2012.

BATISTA-SANTOS, P. et al. The impact of cold on photosynthesis in genotypes of Coffea spp.-photosystem sensitivity, photoprotective mechanisms and gene expression. **Journal of Plant Physiology**, Jena, v. 168, n. 8, p. 792-806, 2011.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. Secretaria Nacional de Irrigação. **Normais climatológicas:** 1961-1990. Brasília, DF: Departamento Nacional de Meteorologia, 1992. 84p.

CAMARGO, A. P. de; CAMARGO, M. B. P. de. Definição e esquematização das fases fenológicas do cafeeiro arábica nas condições tropicais do Brasil. **Bragantia**, Campinas, v. 60, n. 1, p. 65-68, mar. 2001.

CARVALHO, H. P. et al. Índices bioclimáticos para a cultura de café. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 15, n. 6, p. 601-606, 2011.

COELHO, M. R. **Coeficiente de cultura (kc) e desenvolvimento inicial de duas variedades de cafeeiro (*Coffea arabica* L.) associados a graus-dia**. 2004. 75 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2004.

CRUZ, C.D.; CARNEIRO, P.S.C. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 2.ed. Viçosa, MG: Ed. UFV, 2006. v.2, 586p.

CUNHA, A.R.; VOLPE, C.A. Curvas de crescimento do fruto de cafeeiro cv. Obatã IAC 1669-20 em diferentes alinhamentos de plantio. **Semina: Ciências Agrárias,** Londrina, v.32, n.1, p.49-62, 2011.

DAMARIO, E. A.; PASCALE, A. J.; BURIOL, G. A. Disponibilidades de calor para os cultivos no Estado do Rio Grande do Sul. **Revista do Centro de Ciências Rurais,** Santa Maria, v. 6, n. 2, p. 129-165, 2008.

DAMATTA, F. M.; RAMALHO, J. D. C. Impacts of drought and temperature stress on coffee physiology and production: a review. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, Londrina,v. 18, n. 1, p. 55-81, 2006.

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.

DUBBERSTEIN, D. et al. Concentration and accumulation of macronutrients in leaf of coffee berries in the Amazon, **Brazil. Australian Journal of Crop Science**, Brisbane, v. 10, p. 701-710, 2016.

FERRÃO, R. G. et al. Genetic parameters in Conilon coffee. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, n. 1, p. 61-69, jan. 2008.

HENDERSON, C. R.; QUAAS, R. L. Multiple trait evaluation using relatives' records. **Journal of Animal Science**, Washington, v. 43, n. 6, p. 1188-1197, 1976.

IAFFE, A. et al. Estimativa de temperatura-base e graus-dia com correção pelo fotoperíodo do florescimento à colheita de café em Campinas, SP. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 2., 2001. **Anais...** Brasília: EMBRAPA Café, 2001. p. 47-47.

LAVIOLA, B. G. et al. Acúmulo de nutrientes em frutos de cafeeiro em quatro altitudes de cultivo: cálcio, magnésio e enxofre. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, p. 1451-1462, 2007.

LIMA, E.P.; SILVA, E.L. da. Temperatura base, coeficientes de cultura e graus-dia para cafeeiro arábica em fase de implantação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 12, n. 3, p. 266-273, 2008.

MACHADO, S.do A.; FIGUEIREDO FILHO, A. **Dendrometria**. 2. ed. Curitiba: Ed. Unicentro, 2006. 316 p.

MARCOLAN, A. L. et al. **Cultivo dos cafeeiros conilon e Robusta para Rondônia**. Porto Velho: EMBRAPA Rondônia, 2009. 67 p. (EMBRAPA Rondônia: Sistema de Produção, 33).

MARTINS, M. Q. et al. Protective response mechanisms to heat stress in interaction with High [CO_2] Conditions in *Coffea* spp. **Frontiers in Plant Science**, Lausana, v. 7, p. 946-968, 2016.

MORAIS, H. et al. Escala fenológica detalhada da fase reprodutiva de *Coffea arabica*. **Bragantia**, Campinas,v. 67, n. 1, p. 257-260, 2008.

MOURA, S. C. S. R. de et al. Avaliações físicas, químicas e sensoriais de blends de café arábica com café canephora (robusta). **Brazilian Journal Food Technology**, Campinas, v. 10, n. 4, p. 271-277, 2007.

NUNES, F. L. et al. Modelos agrometeorológicos de estimativa da duração do estádio floração-maturação para três cultivares de café arábica. **Bragantia**, Campinas, v. 69, n. 4, p. 1011-1018, 2010.

OMETTO, J. C. **Bioclimatologia vegetal**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1981. 440 p.

ORTOLANI, A. A. et al. Regionalização da época de maturação e qualidade natural de bebida do café arábica no Estado de São Paulo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 12., 2001, Fortaleza. **Resumos Expandidos...** Fortaleza: SBA, 2001. v. 1, p. 53-54.

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, 2014.

_____. Seasonal vegetative growth of different age branches of conilon coffee tree. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 31, n. 3, p. 619-626,2010.

PAULA CARVALHO, H. et al. Classificação do ciclo de desenvolvimento de cultivares de cafeeiro através da soma térmica. **Coffee Science**, Lavras, v. 9, n. 2, p. 237-244, 2014.

PETEK, M. R.; SERA, T.; FONSECA, I. C. de B. Exigências climáticas para o desenvolvimento e maturação dos frutos de cultivares de *Coffea arabica*. **Bragantia**, Campinas, v. 68, n. 1, p. 169-181, 2009.

PEZZOPANE, J. R. M. et al. Escala para avaliação de estádios fenológicos do cafeeiro arábica. **Bragantia**, Campinas, v. 62, n. 3, p. 499-505, 2003.

_____. Exigência térmica do café arábica cv. Mundo Novo no subperíodo florescimento-colheita. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 6, p.1781-1786, nov./dez. 2008.

_____. Zoneamento de risco climático para a cultura do café Conilon no Estado do Espírito Santo. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 41, n. 3, p. 341-348, 2010.

RAMALHO, A. R. et al. Progresso genético da produtividade de café beneficiado com a seleção de clones de cafeeiro 'Conilon'. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 47, n. 3, p. 516-523, 2016.

RAMALHO, M.A.P. **Experimentaçãoem genética e melhoramento de plantas**. Lavras: Ed. UFLA, 2000.326 p.

RESENDE, M.D.V. **Genética biométrica e estatística no melhoramento de plantas perenes**. Brasília, DF: EMBRAPA Informação Tecnológica, 2002. 975p.

RESENDE, M.D.V. et al. Estimativas de parâmetros genéticos e predição de valores genotípicos no melhoramento do cafeeiro pelo procedimento REML/BLUP. **Bragantia**, Campinas, v.60, n.3, p.185-193, 2001.

REZENDE, F. C. et al. Características produtivas do cafeeiro (*Coffea arabica* L. cv., Topázio MG-1190), recepado e irrigado por gotejamento. **Coffee Science**, Lavras, v. 1, n. 2, p. 103-110, 2007.

RIBEIRO, B. B. et al. Avaliação química e sensorial de blends de *Coffea canephora* Pierre e *Coffea arabica* L. **Coffee Science**, Lavras, v. 9, n. 2, p. 178-186, 2014.

ROCHA, R. B. et al. Caracterização e uso da variabilidade genética de banco ativo de germoplasma de *Coffea canephora* Pierre ex Froehner. **Coffee Science**, Lavras, v. 8, n. 4, p. 478-485, 2014.

RODRIGUES, W. P. et al. Long-term elevated air [CO_2] strengthens photosynthetic functioning and mitigates the impact of supra-optimal temperatures in tropical *Coffea arabica* and *C. canephora* species. **Global Change Biology**, Malden, v. 22, n. 1, p. 415-431, 2016.

SALAZAR-PARRA, C. et al. Climate change (elevated CO2 , elevated temperature and moderate drought) triggers the antioxidant enzymes' response of grapevine cv. Tempranillo, avoiding oxidative damage. **Physiologia Plantarum**, Malden, v. 144, n. 2, p. 99-110, 2012.

SCOTT, D. W. On optimal and data-based histograms. **Biometrika**, Oxford, v. 66, n. 3, p. 605-610, May 1979.

SERA, T. et al. Melhoramento do cafeeiro: variedades melhoradas no Instituto Agronômico do Paraná (IAPAR). **O estado da arte de tecnologias na produção de café**. Viçosa, MG: UFV,2002. p. 217-251.

TEIXEIRA, A. L. et al. Selection of arabica coffee progenies tolerant to heat stress. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.45, n.7, p. 1228-1234, 2015.

VENCOVSKY, R.; BARRIGA, P. Componentes da variação fenotípica: análise em vários ambientes. In:_____. **Genética biométrica no fitomelhoramento**. Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Genética, 1992. p.233-333.

WILLSON, K. C. et al. **Coffee, cocoa and tea**. Oxon: CABI, 1999.

CAFEICULTURA FAMILIAR E AS BOAS PRÁTICAS AGRÍCOLAS EM BOM SUCESSO – MG

Jaqueline Nicole Santos Peixoto[1], Márcio Nunes[2], Danielle Pereira Baliza[3], Sérgio Parreiras Pereira[4], Beatriz Terezinha Rosa[5]

(Recebido: 01 de setembro de 2016; aceito: 16 de novembro de 2016)

RESUMO: Objetivou-se, neste estudo, analisar a cafeicultura familiar do município de Bom Sucesso - MG, em relação à adoção das Boas Práticas Agrícolas, por meio das análises de *Cluster* e discriminante. Foi realizado o reconhecimento da situação atual da cafeicultura familiar do município, através da aplicação de questionários estruturados do tipo Survey, nas propriedades rurais. Aplicou-se o questionário para um total de 26 cafeicultores familiares associados à Associação Comunitária do Machado e à Associação Nossa Senhora da Badia. Após a aplicação dos questionários, os resultados foram tabulados e foi realizada a análise estatística multivariada de *Cluster* e, posteriormente a análise discriminante. A análise de *Cluster* tem como objetivo agrupar os indivíduos (casos) com características semelhantes em função de um conjunto de variáveis selecionadas que separaram, neste caso, os produtores em dois grupos distintos. Já a análise discriminante apresentou as sete variáveis que mais discriminam um grupo do outro, apresentando assim as principais diferenças entre eles. Os produtores do Grupo 1 apresentam características de maior organização diante do Grupo 2, em relação à adoção das Boas Práticas Agrícolas. No entanto, tanto os cafeicultores/propriedades do Grupo 1 quanto do Grupo 2 apresentam pontos que podem ser melhorados, o que justifica o planejamento de ações e políticas de Assistência Técnica e Extensão Rural (ATER), para cada um dos grupos. Dessa forma, espera-se que este estudo auxilie na tomada de decisão tanto por parte do poder público local quanto dos cafeicultores familiares e associações, a fim de que esta atividade alcance maior sustentabilidade no município.

Termos para indexação: Sustentabilidade, assistência técnica, análise de *Cluster*, certificação.

FAMILY COFFEE AND GOOD AGRICULTURAL PRACTICES IN BOM SUCESSO - MG

ABSTRACT: *The objective in this study was to analyze the coffee familiar in the city of Bom Sucesso - MG, in relation to the adoption of Good Agricultural Practices, through the Cluster and discriminant analysis. It was held to recognize the current situation of the coffee familiar of the municipality with questionnaires structured type Survey in rural properties. It used the questionnaire to 26 family farmers associated with the Community Machado Association and the Association Our Lady of Badia. After the questionnaires, the results were tabulated and was performed multivariate statistical analysis of Cluster and later discriminant analysis. The Cluster analysis aims to group individuals (cases) with similar characteristics in terms of a set of selected variables that separated in this case the producers into two distinct groups. Already discriminant analysis showed the seven variables that most discriminate against another group, thus presenting the main differences between them. Group 1 producers have greater organizational characteristics than Group 2 for the adoption of Good Agricultural Practices. However, both the farmers Group 1 as Group 2 feature points that can be improved, which justifies the action planning and Technical Assistance and Rural Extension (ATER) for each group. Thus, it is expected that this study will assist in decision-making both by the local government as the family associations and farmers, so that this activity reach greater sustainability in the municipality.*

Index terms: *Sustainability, technical assistance, certification, Cluster analysis, certification.*

1 INTRODUÇÃO

O sistema agroindustrial do café vem ao longo dos anos passando por significativas alterações, como o surgimento de canais não tradicionais de marketing, produção, e consumo representados pelos cafés-gourmet (ou especiais), orgânicos, mercado justo ou fair trade, sombreados ou bird-friendly (amigo dos pássaros) e outros tipos de cafés certificados (SOUZA et al., 2013).

Verifica-se também por parte das grandes redes varejistas e dos consumidores uma crescente preocupação com a forma de produção em relação aos critérios socioambientais na cultura do café. Como consequência, existe uma demanda crescente por cafés sustentáveis certificados e o Brasil está entre os países produtores capazes de atender a esse segmento de mercado (PEREIRA, 2013).

[1,2,3]Instituto Federal do Sudeste de Minas Gerais/IFSUDESTEMG - Campus Avançado Bom Sucesso - R. da Independência, 30 Aparecida - 37.220-000 - Bom Sucesso - MG -jaquelinenicole@outlook.com, souza.nunes.marcio@gmail.com, danielle.baliza@ifsudestemg.edu.br
[4]Instituto Agronômico de Campinas - IAC - Av. Theodureto de Almeida Camargo, 1500 - Vila Nova - Cx. P. 28 - 13.012 – 970 Campinas - SP - perreiracafes@yahoo.com.br
[5] Universidade Federal de Lavras/UFLA - Departamento de Meio Ambiente/DMA - Cx. P. 3037- 37.200-000 - Lavras - MG - beatriz.rosatp@yahoo.com.br

De acordo com Pereira (2013) para que o Brasil consiga aumentar a produção de cafés sustentáveis certificados é necessário a implantação de políticas públicas e privadas no sentido de inserir os cafeicultores neste mercado, assim serão necessárias ações que visem à adequação das propriedades agrícolas às Boas Práticas Agrícolas (BPAs). Essa adequação passa por programas de Assistência Técnica e Extensão Rural (ATER), que devem ser realizados de acordo com o perfil ou desempenho do cafeicultor, em dada região.

As Boas Práticas Agrícolas são um conjunto de princípios, normas e recomendações técnicas aplicadas para a produção, processamento e transporte de alimentos, orientadas a cuidar da saúde humana, proteger o meio ambiente e melhorar as condições dos trabalhadores e suas famílias, ou em outras palavras, são práticas baseadas na demanda dos consumidores por produtos livres de pesticidas, exigência para a segurança alimentar por varejistas e demanda de consumo para a proteção ambiental (CRUZ; CENCI; MAIA, 2006). No caso da atividade cafeeira, essas práticas têm estreita ligação com os modelos de certificação, os quais independentemente do selo ou apelo comercial que apresentam, levam em consideração as dimensões social, ambiental e econômica, reconhecidos como o tripé da sustentabilidade (PEREIRA, 2013; PEREIRA et al., 2014).

No Brasil, aproximadamente 81% do total de propriedades rurais são pertencentes aos agricultores familiares. A cafeicultura familiar emprega em torno de 1,8 milhão de pessoas por ano e é responsável por 38% do café produzido no Brasil. De acordo com o IBGE, a área colhida por cafeicultores familiares corresponde a 44% da área colhida de café no Brasil. No município de Bom Sucesso a produção de café destaca-se, juntamente com a produção de leite, como sendo as principais atividades do município. Sendo importante destacar que esta produção é oriunda, principalmente, de pequenas propriedades, onde predomina a cafeicultura familiar (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE, 2006).

Apesar de representar uma significativa parcela na produção nacional, os cafeicultores familiares ainda necessitam de formas de produção adequadas à sua realidade. Ou seja, é necessário desenvolver pesquisas que contribuam para melhorar a qualidade de vida dos agricultores familiares e os incentivem a continuar no campo. Uma alternativa para oferecer aos cafeicultores familiares melhores condições de produção e comercialização é a adoção dos princípios das Boas Práticas Agrícolas. Pois, de acordo com Donovan e Poole (2014) cafés produzidos com base nos princípios das Boas Práticas Agrícolas têm se tornado uma maneira de diferenciar o produto no momento da venda e aumentar os rendimentos dos produtores familiares. Para tanto, é necessário conhecer o perfil e a realidade dos produtores, além das principais dificuldades em relação ao cumprimento das Boas Práticas Agrícolas.

Neste contexto, o presente estudo tem como objetivo analisar a cafeicultura familiar do município de Bom Sucesso - Minas Gerais, em relação à adoção das Boas Práticas Agrícolas, por meio das análises de *Cluster* e discriminante.

2 MATERIAL E MÉTODOS

No município de Bom Sucesso existem 357 estabelecimentos agropecuários os quais constituem a base da economia local. Segundo dados do escritório da Emater do município a maioria dos cafeicultores familiares do município encontram-se próximos das comunidades do Machado, Figueiras, Coqueiros e Gonçalves. As comunidades do Machado e Coqueiros contam com a Associação Comunitária do Machado e a Associação Nossa Senhora da Badia, respectivamente. A associação Comunitária do Machado é composta por 15 produtores, enquanto que a Associação Nossa Senhora da Badia conta com 30 associados.

Fizeram parte deste estudo apenas os produtores associados a estas duas associações e que produzem café. Estes cafeicultores foram escolhidos em função de já pertencerem a estas associações que têm como características de seus associados o uso preponderante de mão de obra familiar no manejo dos cafezais. Aplicou-se o questionário para o total de 26 cafeicultores. Alguns associados não puderam participar desta pesquisa, por não trabalharem com a cultura cafeeira.

Com o auxílio da Emater e dos presidentes das associações os entrevistados foram identificados e, posteriormente foi realizado o contato por meio de ligações telefônicas, ocasião em que foi explicado resumidamente o motivo e o objetivo da pesquisa, e em caso de aceite a entrevista foi agendada de acordo com a disponibilidade do cafeicultor. Antes do início da aplicação dos questionários foi explicado de forma ainda mais detalhada o

objetivo do questionário, como seria realizada a pesquisa e a importância deste trabalho tanto para os cafeicultores familiares quanto para o poder público local, e assumido o compromisso de esclarecer as dúvidas que poderiam surgir durante a entrevista.

A coleta dos dados aconteceu entre o meses de outubro a dezembro de 2015, com aplicação de um questionário estruturado tipo Survey, contendo 123 questões. O mesmo foi elaborado como base nos questionários de Nasser, Silveira e Zonta (2014) e Pereira (2013).

O estudo foi considerado de natureza quantitativa, pois o questionário foi estruturado da seguinte maneira: 1, "não possuo ou não realizo" a prática na propriedade, 2, "de vez em quando ou parcialmente" realizo a prática, 3, "sim possuo ou realizo" a prática na propriedade e 4, "não se aplica na propriedade". As variáveis foram divididas no questionário de acordo com os verificadores: 1) gerenciamento da propriedade, 2) tecnologia de produção, 3) máquinas e implementos, 4) uso da água, cobertura florestal e biodiversidade, 5) produtos fitossanitários, 6) tratamento fitossanitário, 7) colheita, pós-colheita e armazenagem, 8) informações e ferramentas de mercado, 9) segurança do trabalho e saúde do trabalhador, 10) resíduos e poluentes.

Após a aplicação do questionário, os dados foram tabulados e analisados pelo software SPSS (Statistical Package for the Social Sciences). Foi realizada a análise de *Cluster* ou agrupamentos. A análise de *Cluster* é uma técnica que objetiva agrupar os indivíduos (casos) que possuem características semelhantes em função do conjunto de variáveis selecionadas. Na separação *Cluster* foi empregado o Método "Stepwise" (por etapas), em que o sistema vai selecionando aquelas variáveis que são melhores, e eliminando outras em função das correlações parciais. Quando se trabalha com discriminantes, a primeira questão é a que mais contribui para a separação dos grupos e a última é a que menos contribui, embora todas tenham contribuído (HAIR JUNIOR et al., 1995; MALHOTRA, 2006).

Após a separação pela análise de *Clusters*, foi realizada uma análise discriminante que apresentou quais foram as variáveis identificadas pelo SPSS, e que causaram maior divergência ou distinguiram os dois grupos de cafeicultores familiares. Estas variáveis serão apresentadas e discutidas. Esta metodologia foi baseada em Pereira (2013), que em sua pesquisa propôs uma metodologia de separação de grupo de produtores de acordo com suas práticas agrícolas por meio de análises multivariadas ao invés de se trabalhar as variáveis separadamente.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir da análise de cluster, os 26 cafeicultores familiares e suas propriedades, foram separados em dois clusters (grupos), com base na similaridade de suas práticas agrícolas utilizadas na produção do café (Tabela 1).

Na Figura 1 é apresentado o dendograma, no qual cada número representa uma propriedade agrícola de um dos cafeicultores familiares ligados às Associações Comunitária do Machado e Nossa Senhora da Badia. O cluster 1 foi formado por 16 cafeicultores/propriedades (14, 18, 16, 4, 2, 3, 5, 19, 22, 12, 25, 1, 8, 26, 24, 15) e o cluster 2 por 10 cafeicultores/propriedades (6, 7, 13, 21, 10, 23, 17, 20, 11, 9) dando um total de 26 cafeicultores/propriedades. Essa separação foi fundamental para mostrar as eficiências em relação à adoção das Boas Práticas Agrícolas. De acordo com Pereira (2013) a divisão em dois grupos distintos de cafeicultores poderá servir como subsídios na execução de políticas públicas mais adaptadas à realidade dos grupos identificados, isto é, permitirá o planejamento de ações e políticas de Assistência Técnica e Extensão Rural (ATER) para cada um dos grupos. O que poderá contribuir para melhorar o desempenho dos cafeicultores familiares, tornando a atividade cafeeira mais rentável e, por consequência, mais sustentável.

Após a divisão dos dois clusters, foi realizada a análise discriminante para conhecer as variáveis que mais contribuíram para distinguir os dois grupos (Tabela 2). E, consequentemente, identificar qual o grupo de cafeicultores que adotam com maior frequência as Boas Práticas Agrícolas. No presente estudo a análise discriminante extraiu 7 variáveis por grau de importância, sendo que a primeira questão é a que mais contribui para a separação dos grupos e a última é a que menos contribui, embora todas as variáveis tenham contribuído para divisão dos clusters (HAIR JUNIOR et al., 1995; MALHOTRA, 2006).

Em ordem de importância a variável "As adubações são feitas com base nas análises do solo?" foi a que mais contribuiu para a divisão dos grupos de cafeicultores. Essa questão indica que 81,3% cafeicultores pertencentes ao Grupo 1 realizam as adubações com base nas análises do solo, ao contrário do Grupo 2, em que 80,0% dos cafeicultores não realizam esta prática. Este resultado demonstra um melhor desempenho do Grupo 1 em relação ao Grupo 2 (Tabela 3).

TABELA 1 - Divisão dos clusters (grupos) de acordo com a similaridade de suas práticas agrícolas na produção do café.

Cluster	Porcentagem	Frequência
1	61,5%	16
2	38,5%	10
Total	100,0%	26

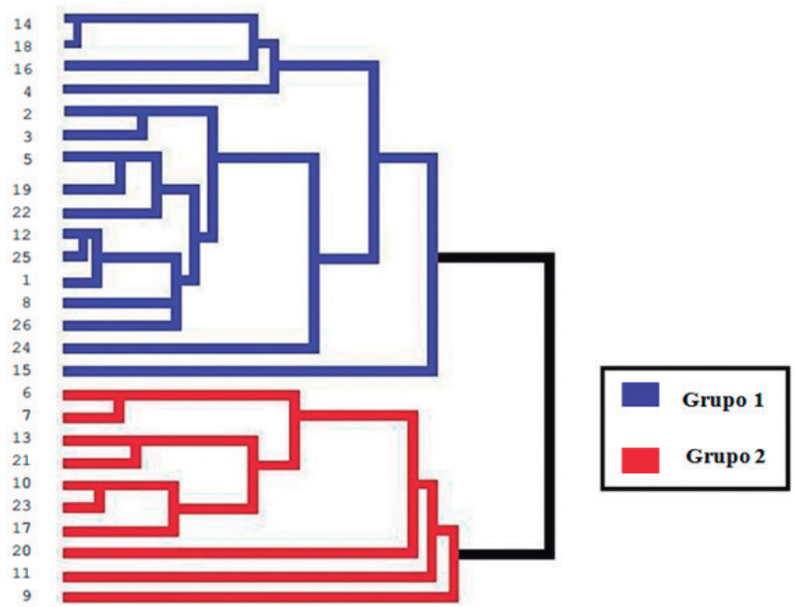


FIGURA 1 - Dendograma extraído pela análise *cluster* com a divisão dos cafeicultores familiares em dois grupos (clusters) de acordo com a adoção das boas práticas agrícolas em suas propriedades. Fonte: dados da pesquisa processados pelo software SPSS.

TABELA 2 - Ordenamento das sete variáveis extraídas pela análise discriminante por meio do método "stepwise".

Ordem de extração	Variáveis
1	As adubações são feitas com base nas análises do solo?
2	Em caso de chuva, durante a secagem dos grãos de café no terreiro, os mesmos são protegidos adequadamente?
3	Faz tríplice lavagem e inutilização das embalagens adequadamente?
4	Descarta a água utilizada na lavagem de máquinas e implementos em local adequado?
5	Derriça, recolhe e transporta os grãos de café colhidos no mesmo dia?
6	Já sofreu algum tipo de acidente de trabalho?
7	Possui algum tipo de controle de vetores (insetos, roedores, etc.) nas unidades de armazenamento?

TABELA 3 - Percentuais entre os grupos de cafeicultores familiares e os percentuais de desempenho em relação às sete variáveis extraídas pela análise discriminante.

	Grupo 1		Grupo 2		Total	
			Frequência			
1ª) As adubações são feitas com base em análises do solo?						
	Absoluta	Porcentual	Absoluta	Porcentual	Absoluta	Porcentual
Não	01	6,3%	8	80,0%	09	34,6%
Parcial	02	12,5%	1	10,0%	03	11,5%
Sim	13	81,3%	1	10,0%	14	53,8%
Total	16	100%	10	100%	26	100%
2ª) O café é protegido adequadamente em caso de chuva (pequenas leiras quando o café não estiver no ponto de amontoa ou amontoado)?						
	Absoluta	Porcentual	Absoluta	Porcentual	Absoluta	Porcentual
Não	0	0%	01	10,0%	01	3,8%
Parcial	0	0%	02	20,0%	02	7,7%
Sim	16	100%	07	70,0%	23	88,5%
Total	16	100%	10	100%	26	100%
3ª) Faz tríplice lavagem e inutilização (perfuração) das embalagens adequadamente (faz tríplice lavagem direta no pulverizador mecanizado ou costal)?						
	Absoluta	Porcentual	Absoluta	Porcentual	Absoluta	Porcentual
Não	01	6,3%	07	70,0%	08	30,8%
Parcial	02	12,5%	0	0%	02	7,7%
Sim	13	81,3%	03	30,0%	16	61,5
Total	16	100%	10	100%	26	100%
4ª) Descarta a água utilizada na lavagem de máquinas e implementos em local adequado?						
	Absoluta	Porcentual	Absoluta	Porcentual	Absoluta	Porcentual
Parcial	0	0%	03	30,0%	03	11,5%
Sim	16	100%	07	70,0%	23	88,5%
Total	16	100%	10	100%	26	100%
5ª) Derriça, recolhe e transporta o café colhido no mesmo dia?						
	Absoluta	Porcentual	Absoluta	Porcentual	Absoluta	Porcentual
Não	05	31,3%	08	80,0%	13	50,0%
Sim	11	68,8%	02	20,0%	13	50,0%
Total	16	100%	10	100%	26	100%
6ª) Já sofreu algum tipo de acidente de trabalho?						
	Absoluta	Porcentual	Absoluta	Porcentual	Absoluta	Porcentual
Não	13	81,3%	09	90,0%	22	84,6%
Parcial	0	0%	01	10,0%	01	3,8%
Sim	03	18,8%	0	0%	03	11,5%
Total	16	100%	10	100%	26	100%
7ª) Possui algum tipo de controle de vetores (insetos, roedores etc.) nas unidades de armazenamento?						
	Absoluta	Porcentual	Absoluta	Porcentual	Absoluta	Porcentual
Não se aplica	02	12,5%	02	20,0%	04	15,4%
Não	07	43,8%	06	60,0%	13	50,0%
Sim	07	43,8%	02	20,0%	09	34,6%
Total	16	100%	10	100%	26	100%

Sabe-se que a análise do solo é a principal ferramenta de avaliação da fertilidade, sendo seus resultados essenciais para identificação de condições desfavoráveis à cultura, com toxidez por alumínio e acidez (ZAMBOLIM, 2007). De acordo com Souza et al. (2013) tal prática conduz à utilização mais eficiente dos fertilizantes, possibilitando, inclusive, a redução de seu uso. Isso porque a análise do solo é capaz de demonstrar a eficiência da adubação no solo, detectar as deficiências nutricionais, evitando desta forma gastos desnecessários e possibilitando a correção destas deficiências, antes que as mesmas prejudiquem a lavoura, além de favorecer a qualidade e a maior produtividade dos grãos (ZAMBOLIM, 2007).

Souza et al. (2013) em estudo realizado com cafeicultores da Associação dos Agricultores Familiares de Santo Antônio do Amparo – MG (AFASA - MG), quanto à adequação aos atributos exigidos pelo fair trade (comércio justo), também verificou que parte dos associados embora realizassem as análises do solo, não realizam a adubação de acordo com os resultados obtidos. Resultado semelhante ao que foi verificado no presente estudo em que parte dos produtores, principalmente àqueles pertencentes ao Grupo 2, não adotam esta prática em suas propriedades, indicando a necessidade de planejar ações de Assistência Técnica e Extensão Rural (ATER) que visem a adoção desta prática pelos cafeicultores que ainda não a adotam em sua propriedade.

A segunda variável "Em caso de chuva, durante a secagem dos grãos de café no terreiro, os mesmos são protegidos adequadamente?" demonstra que 100% dos integrantes do Grupo 1 cumprem integralmente esse quesito. Já no Grupo 2, 70% dos cafeicultores afirmam proteger de forma correta os grãos de café no terreiro, 20% protegem parcialmente e 10% não atendem essa recomendação. Por meio desses resultados verifica-se que no Grupo 1 já existe uma preocupação com relação a proteção do café em caso de chuva, contudo ainda é necessário conscientizar parte dos cafeicultores do Grupo 2, para que os mesmos adotem essa prática em caso de chuva para que não ocorra fermentações (Tabela 3).

A exposição dos grãos de café aos fatores climáticos como chuva, umidade e orvalho, propicia uma maior possibilidade de infecção dos grãos por fungos e, consequentemente, a ocorrência de fermentações que podem alterar a composição química dos grãos e, por conseguinte, a qualidade e a segurança da bebida do café (ANGÉLICO et al., 2011; BOZZA et al., 2009). Dessa forma, os produtores devem proteger os grãos de café no terreiro de forma adequada, afim de que não ocorram fermentações indesejáveis, com consequente piora na qualidade.

A terceira variável descreve sobre a realização adequada da tríplice lavagem e inutilização das embalagens. Apenas 30% dos produtores do grupo 2 realizam esta prática, enquanto 81,3% do grupo 1 procedem de forma correta (Tabela 3). A lei federal n^0 9.974, de 6 de junho de 2000, instituiu obrigações à indústria, ao poder público, aos canais de distribuição e aos produtores rurais relativas à destinação final de embalagens de defensivos agrícolas. No que se refere ao agricultor, compete ao mesmo realizar a tríplice lavagem, inutilizá-las, armazená-las e entregá-las, além de comprovar a devolução, pois deve manter os comprovantes de entrega de embalagens e notas fiscais (LADEIRA; MAEHLER; NASCIMENTO, 2012). O Instituto Nacional de Processamento de Embalagens Vazias (inpEV), representa a indústria dos fabricantes de produtos fitossanitários e ficou responsável pelo transporte das embalagens vazias a partir das unidades de recebimento até seu destino final, além de funcionar como um centro de inteligência e garantir o bom funcionamento da logística reversa (GRUTZMACHER et al., 2008).

A quarta variável, em ordem de importância na separação dos grupos, demonstra se o cafeicultor familiar descarta a água utilizada na lavagem de máquinas e implementos em local adequado. No grupo 1, 100% dos produtores realizam essa operação de forma correta, enquanto no grupo 2, 70% dos cafeicultores atendem a essa variável de maneira adequada (Tabela 3). Essa questão faz referência à possibilidade de contaminação de cursos d'água e solo, que são considerados problemas globais, por causarem erosão, degradação e eutrofização do solo e da água, e consequentemente, ameaçarem a sustentabilidade dos sistemas agrícolas modernos (KOOKANA; BASKARAN; NAIDU, 1998; PEREIRA et al., 2014).

A quinta variável refere-se a alguns dos cuidados que devem ser tomados durante a colheita e pós-colheita dos grãos de café: "Derriça, recolhe e transporta os grãos de café colhidos no mesmo dia?", o Grupo 1 apresentou desempenho superior ao Grupo 2. Para 68,3% do Grupo 1, o atendimento à recomendação é realizada de forma correta e integral, enquanto para o Grupo 2 apenas 20% dos cafeicultores afirmam realizar o procedimento de forma satisfatória (Tabela 3).

A fim de obter café de qualidade superior, os cuidados com a colheita e o manejo pós-colheita tornaram-se fundamentais na comercialização e no aumento do lucro do cafeicultor (FAVARIN et al., 2004). Dessa forma, após a derriça o café deverá seguir imediatamente para o processamento evitando a ocorrência de fungos produtores de micotoxinas que reduzem a qualidade dos mesmos (BORÉM, 2008). Sob esse aspecto, é fundamental o manejo pós-colheita, em particular, o tempo de exposição aos microrganismos, os quais iniciam a infecção na planta e persistem após a colheita, até mesmo em parte do período de secagem (FAVARIN et al., 2004). Campos et al. (2009) afirmam que os grãos com permanência prolongada na planta ou no solo interferem decisivamente na qualidade do café colhido. Dessa forma, os produtores, principalmente aqueles pertencentes ao Grupo 2, devem procurar atender a essa recomendação técnica para que não ocorram fermentações indesejáveis nos grãos, e consequentemente, redução na qualidade do café produzido.

A sexta variável questionou se os cafeicultores já sofreram algum tipo de acidente de trabalho e os dois Grupos apresentaram desempenho semelhante, com relação a essa variável (Tabela 3). A segurança do trabalho pode ser explicada como o conjunto de medidas para a redução dos riscos de acidentes, protegendo a integridade física e a capacidade de trabalho do trabalhador (BORÉM et al., 2008). Conforme Pereira (2013), algumas providências relacionadas ao respeito ao trabalhador rural vêm sendo incorporadas ao dia a dia da cafeicultura, a fim de reduzir o risco de acidentes. Esta informação corrobora o resultado obtido no presente estudo em que a maior parte dos produtores não sofreu acidente de trabalho.

A última questão analisou se os produtores possuem algum tipo de controle de vetores (insetos, roedores, etc.) nas unidades de armazenamento. Dentre os cafeicultores do Grupo 1, 44,3% garantiram atender integralmente essa variável e 43,8% confessaram não fazê-la adequadamente. No Grupo 2, 20% realizam essa operação de forma plenamente adequada e 60% admitiu realizar de forma errada. No Grupo 1, 12,5% dos entrevistados responderam "Não se aplica" e no Grupo 2, 20% também apresentaram essa mesma resposta, possivelmente por não possuírem unidades de armazenamento em suas propriedades (Tabela 3). O Grupo 1 apresentou desempenho melhor que o Grupo 2, embora tenha apresentado percentual de cafeicultores que admitiram não realizar a recomendação técnica de forma adequada. Dessa forma, observa-se a necessidade de planejar ações de Assistência Técnica e Extensão Rural (ATER) que visem a adoção desta prática pelos cafeicultores dos dois Grupos que ainda não adotam esta prática em sua propriedade.

A manutenção da qualidade do café resultante do processamento e da secagem dependerá das condições de armazenagem (CORADI; BORÉM; OLIVEIRA, 2008). Sabe-se que as condições inadequadas são um dos principais fatores responsáveis pelas perdas de qualidade (COELHO et al., 1997). Dessa forma, para que seja mantida a elevada qualidade inicial, o local de armazenagem deverá possuir algum tipo de controle de vetores (insetos, roedores, etc.) e todos os inseticidas utilizados deverão ser devidamente registrados nos Ministérios da Agricultura e Saúde e nos órgãos estaduais competentes (BORÉM, 2008).

Em geral, o Grupo 1 apresentou um desempenho superior ao Grupo 2, ou seja, os cafeicultores pertencentes a esse Grupo adotam com mais frequência as Boas Práticas Agrícolas em suas propriedades. No entanto, tanto os cafeicultores/propriedades do Grupo 1 quanto do Grupo 2 apresentam pontos que podem ser melhorados em relação à adoção das Boas Práticas Agrícolas, o que justifica o planejamento de ações e políticas de Assistência Técnica Rural (ATER) para cada um dos grupos. Dessa forma, espera-se que a presente pesquisa beneficie os cafeicultores familiares que juntamente com as associações e o poder público local (Emater – Bom Sucesso) têm a partir desse estudo um diagnóstico real da cafeicultura familiar do município o que os ajudarão na tomada de decisões e, consequentemente, na busca pela melhoria contínua e de acordo com as boas práticas, assim como foi realizado nos trabalhos científicos de Pereira (2013) e Pereira et al. (2014), a fim de se alcançar maior sustentabilidade social, econômica e ambiental da atividade cafeeira no município.

4 CONCLUSÕES

Os cafeicultores familiares do município de Bom Sucesso – MG apresentam desempenho heterogêneo em relação à adoção das Boas Práticas Agrícolas em suas propriedades.

Os produtores pertencentes ao Grupo 1 apresentam maior organização frente o Grupo 2, ou seja, os cafeicultores do Grupo 1 adotam com mais frequência as Boas Práticas Agrícolas em suas propriedades. No entanto, tanto os cafeicultores

do Grupo 1 quanto do Grupo 2 apresentam pontos que podem ser melhorados, como por exemplo, os cuidados que devem ser tomados durante a colheita e pós-colheita dos grãos de café, o que justifica o planejamento de ações e políticas de Assistência Técnica e Extensão Rural (ATER) para esses cafeicultores.

5 AGRADECIMENTOS

Ao CNPq e ao IF Sudeste MG pelo auxílio financeiro na condução dos experimentos e pela concessão das bolsas de pesquisa.

6 REFERÊNCIAS

ANGÉLICO, C. L. et al. Diferentes estádios de maturação e tempos de ensacamento sobre a qualidade do café. **Coffee Science**, Lavras, v. 6, n. 1, p. 8-19, jan./abr. 2011.

BORÉM, F. M. **Pós-colheita do café**. Lavras: Ed. UFLA, 2008. 631 p.

BOREM, F. M. et al. Qualidade do café natural e despolpado após secagem em terreiro e com altas temperaturas. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 5, p. 1609-1615, set./out. 2008.

BOZZA, A. et al. Isolamento de fungos associados a grãos de café cv. Iapar 59 de origem de solo e árvore em diferentes tempos de colheita. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 29, n. 3, p. 529-534, jul./set. 2009.

CAMPOS, R. S. et al. Fungos micotoxigênicos e ocratoxina em cafés com permanência prolongada na planta e no solo, colhidos nas regiões do cerrado mineiro e baiano. **Coffee Science**, Lavras, v. 4, n. 2, p. 136-148, jul./dez. 2009.

COELHO, K. F. et al. Fatores que afetam a qualidade do café. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 18, n. 187, p. 5-20, 1997.

CORADI, P. C.; BORÉM, F. M.; OLIVEIRA, J. A. Efeito das condições de secagem e armazenamento sobre a qualidade do café natural e despolpado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 12, n. 2, p. 181-188, jan. 2008.

CRUZ, A. G. da; CENCI, S. A.; MAIA, M. C. A. Good agricultural practices in a Brazilian produce plant. **Food Control**, Guildford, v. 17, n. 10, p. 781-788, Oct. 2006.

DONOVAN, J.; POOLE, N. Changing asset endowments and smallholder participation in higher value markets: evidence from certified coffee producers in Nicaragua. **Food Policy**, Guildford, v. 44, n. 1, p. 1-13, Feb. 2014.

FAVARIN, J. L. et al. Qualidade da bebida de café de frutos cereja submetidos a diferentes manejos pós-colheita. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 2, p. 187-192, fev. 2004.

GRÜTZMACHER, D. D. et al. Monitoramento de agrotóxicos em dois mananciais hídricos no sul do Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 12, n. 6, p. 632-637, nov./dez. 2008.

HAIR JUNIOR, J. F. et al. **Multivariate data analysis**. 4th ed. New Jersey: Prentice Hall, 1995. 745 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo agropecuário 2006**. Rio de Janeiro, 2006. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/agropecuaria/censoagro/2006/>. Acesso em: 14 maio 2015.

KOOKANA, R. S.; BASKARAN, S.; NAIDU, R. Pesticide fate and behaviour in Australian soils in relation to contamination and management of soil and water: a review. **Australian Journal of Soil Research**, Melbourne, v. 36, n. 5, p. 715-764, 1998.

LADEIRA, W. J.; MAEHLER, A. E.; NASCIMENTO, L. F. M. Logística reversa de defensivos agrícolas: fatores que influenciam na consciência ambiental de agricultores gaúchos e mineiros. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, Piracicaba, v. 50, n. 1, p. 157-174, jan./mar. 2012.

MALHOTRA, N. **Pesquisa de marketing:** uma orientação aplicada. 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2006. 720 p.

NASSER, M. D.; SILVEIRA, J. M. C.; ZONTA, A. Panorama socioeconômico e produtivo da cafeicultura familiar na região de Franca/SP. **Revista Mirante**, Anápolis, v. 7, n. 1, p. 100-110, jun. 2014.

PEREIRA, S. P. **Caracterização de propriedades cafeeiras com relação às boas práticas agrícolas:** aplicação das análises de "Cluster" e discriminante. 2013. 138 p. Tese (Doutorado em Fitotecnia)-Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2013.

PEREIRA, S. P. et al. Separação em clusters de propriedades rurais, em relação às boas práticas agrícolas no cultivo do cafeeiro. **Coffee Science**, Lavras, v. 9, n. 2, p. 216-225, abr./jun. 2014.

SOUZA, S. M. C. et al. Avaliação do grau de conformidade visando à inserção dos cafeicultores na certificação e comércio justo (*fair trade*). **Coffee Science**, Lavras, v. 8, n. 4, p. 510-518 out./dez. 2013.

ZAMBOLIM, L. Características rastreáveis do manejo integrado de doenças do cafeeiro. In: _____. **Rastreabilidade para a cadeia produtiva do café**. Viçosa, MG: Ed. UFV, 2007. p. 85-128.

APLICACIÓN DEL PROCESO ANALÍTICO JERÁRQUICO AHP PARA DEFINIR LA MEJOR TAZA EN EVALUACIÓN DE CAFÉS ESPECIALES

Stefany Oyola Tapiero[1], Daniel Trujillo Barrios[2], Nelson Gutiérrez Guzman[3]

(Recebido: 06 de setembro de 2016; aceito: 08 de novembro de 2016)

RESUMEN: Se propone una metodología basada en la resolución de problemas complejos haciendo uso del Proceso Analítico Jerárquico (PAJ), para establecer los rankings en procesos de evaluación sensorial cuantitativa de varias muestras de cafés especiales. Se estableció una estructura de problema complejo en tres niveles en la que se consideraron simultáneamente diez atributos de calidad y seis muestras de cafés especiales, se conformó un panel catación con cuatro jueces entrenados en análisis sensorial de café, los juicios individuales emitidos por los catadores fueron agregados con la media geométrica y procesados con el software Expert Choice 2000. Se obtuvieron tres rankings para tres grupos de seis muestras de café; los resultados encontrados con la metodología soportada en el Proceso Analítico Jerárquico fueron comparados con los resultados obtenidos al valorar los mismos grupos de muestras con la metodología tradicional propuesta por la Asociación Americana de Cafés Especiales (SCAA), no se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre los dos métodos de evaluación utilizados, de acuerdo a la prueba de Chitest ($p>0,05$). El método propuesto facilita la toma de decisiones en los concursos de valoración de la mejor taza en cafés especiales.

Términos de indexación: Evaluación sensorial de café, atributos de calidad, comparaciones.

APLICAÇÃO DE PROCESSO AHP ANALYTIC HIERARCHY PARA DEFINIR O MELHOR CAFÉ DA AVALIAÇÃO DOS CAFÉS ESPECIAIS

RESUMO: *Propõe-se uma metodologia baseada no Processo Analítico Hierárquico (AHP) para definir a melhor xícara nos processos de avaliação quantitativa de cafés; uma escala hierárquica de três níveis, que incluem dez atributos de cafés especiais do protocolo da SCAA e seis amostras de café, foi selecionada. O estudo foi conduzido com quatro provadores com experiência em análise sensorial de café, os julgamentos individuais fornecidos pelos provadores foram adicionados com a média geométrica e processados com o software Expert Choice 2000. Foram obtidos três níveis hierárquicos com a nova metodologia estudada, cada um com seis amostras de café; os três níveis hierárquicos com a metodologia AHP foram comparados com os resultados obtidos na avaliação dos mesmos grupos de amostras com metodologia tradicional proposta pela Associação Americana de cafés especiais SCAA, os quais não apresentaram diferenças estatisticamente importantes de acordo pelo teste de Chi-quadrado ($p>0,05$). O método proposto facilitou a tomada de decisões nos concursos de valoração da melhor xicara dos cafés especiais.*

Termos para indexação: *Análise sensorial de café, atributos de qualidade, comparações.*

INTRODUCCIÓN

El café es hoy día la bebida de mayor consumo en el mundo después del agua, aunque presenta grandes diferencias entre los países consumidores (RENDÓN et al., 2007); la especialización de los mercados promovida por la permanente exigencia de los consumidores potencia la relación calidad precio; los cafés especiales se caracterizan por ser un producto diferenciado con atributos de calidad destacables que generalmente se destinan a mercados especializados en los que los precios alcanzados pueden ser de hasta seis veces el valor de un café tradicional. La diferenciación de producto ocurre cuando los consumidores perciben una notoria diferencia en cualquier característica física o no física (NIEDERHAUSER et al., 2008).

La valoración sensorial de los atributos de calidad en cafés presenta sustanciales diferencias con los métodos de evaluación sensorial que se utilizan en casi todos los alimentos, mientras que en la evaluación sensorial típica el catador valora el producto final listo para el consumo, en muestras de café la valoración de los atributos de calidad se realiza primero en seco en café a medio tueste y molido y posteriormente en una infusión de ese mismo café en agua caliente, tratando de explorar la potencialidad de la materia prima para la preparación de diferentes bebidas.

El método más utilizado para otorgar la categoría de cafés especiales corresponde a la determinación del perfil sensorial en una prueba de "cupping", establecida por la Specialty Coffee Association of America (SCAA, 2015), en esta prueba se valoran de manera simultánea diez

[1,2,3]Universidad Surcolombiana - Departamento de Ingeniería Agrícola - Centro Surcolombiano de Investigación en Cafés CESURCAFE - Av. Pastrana Cra. 1 Neiva - Colombia - stefannyoyola@gmail.com, dftrujillob@gmail.com, ngutierrezg@usco.edu.co

atributos de calidad entre los que se destacan aroma/fragancia, sabor, sabor residual, acidez, cuerpo, uniformidad, balance, taza limpia y dulzor; cada atributo recibe una valoración en una escala cuantitativa y la puntuación final corresponde a la sumatoria de los atributos evaluados, solo aquellos cafés que obtengan puntuaciones totales superiores a 80 puntos son considerados "cafés especiales", además este método permite que el catador incluya dentro de la valoración de las muestras algunas notas que proporcionan información adicional sobre las características específicas del café (DI DONFRANCESCO; GUTIERREZ; CHAMBERS IV, 2014).

La calidad sensorial en cafés debe ser evaluada por paneles que han sido entrenados adecuadamente para identificar plenamente, definir y comprender las características sensoriales que determinan dicha calidad; el uso de individuos entrenados (paneles sensoriales) es equivalente al uso de cualquier instrumento científico para la medición de las características que están asociadas con la calidad de un producto alimenticio (FERIA, 2014).

En la determinación de los perfiles sensoriales de muestras de café se requiere valorar de manera simultánea los diferentes atributos de calidad, similar al problema asociado al proceso por el que el hombre valora la calidad de un alimento, confiriéndole un carácter multidimensional con una estructura dinámica y variable Costell (2001); esta complejidad se aumenta al involucrar en el análisis distintos individuos dentro de un grupo, incluso en la valoración otorgada por un mismo individuo durante una misma sesión, lo que podría ser considerado como un problema complejo.

Las técnicas de decisión multicriterio (TDM) son de gran utilidad en la resolución de problemas complejos, donde la mejor decisión u opción depende de múltiples criterios (atributos) y de diferentes puntos de vista de los jueces ante múltiples alternativas de solución. El PAJ es una TDM propuesta por Saaty (2008) que permite abordar la resolución de problemas complejos, su diseño permite la utilización de elementos racionales e intuitivos por parte del decisor para seleccionar la mejor alternativa con respecto a varios criterios, además incluye la inconsistencia debido a la falta de precisión de la mente humana.

El PAJ se ha utilizado con éxito en la evaluación sensorial de alimentos como el caso de la valoración por consumidores de diferentes tipos de sake, buscando definir cuál bebida contaba con mayor aceptación (YOICHI; KEL; MAKOTO, 1996); también se utilizó en la selección de un aroma óptimo entre vainilla, fresa y cacao, para un pudding prebiótico basado en el análisis sensorial (GURMERIC et al., 2013) y en el desarrollo y aceptación de alimentos funcionales (HARRAR DE DIENES; GARCÍA MELÓN; ALCAIDE MARZAL, 2011).

El objetivo de este trabajo fue definir una metodología basada en el Proceso de Análisis Jerárquico para obtener el ranking en evaluación simultanea de diferentes muestras de café, utilizando como criterios los atributos del protocolo de catación para cafés especiales, buscando ofrecer una herramienta alternativa para aplicación en los concursos de la mejor taza.

2 MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizaron dieciocho (18) muestras de café arábiga de origen Huila divididas en tres grupos de seis muestras cada uno provenientes de diferentes granjas cafeteras del sur de Colombia, los grupos se conformaron con el objetivo de organizar paneles de seis muestras para cada sesión de catación, cada muestra tenía 3,0 kilogramos de café pergamino seco; las muestras fueron preparadas y sometidas al protocolo de torrefacción recomendado por la SCAA (2015). Se conformó un panel de catación compuesto por cuatro (4) jueces expertos de acuerdo a lo recomendado por Dong et al. (2010), Puerta (2009) y Ribeiro et al. (2014), los evaluadores tenían un alto conocimiento en el perfilacion cuantitativa de café y contaban con experiencia en concursos de "Taza de excelencia"; las pruebas fueron realizadas en la sala de catación del Centro de Investigación CESURCAFE de la Universidad Surcolombiana en Neiva Colombia.

Para la estructuración de la nueva metodología de evaluación basada en PAJ, primero fue necesario definir el problema complejo de acuerdo a la metodología propuesta por Gutiérrez (2008) y Ho (2006) sobre una estructura jerárquica de tres niveles en orden descendente, en el primer nivel se ubicó el objetivo, en el segundo los criterios que corresponden a los diez atributos de calidad para cafés especiales y en el tercero las posibles alternativas de solución que en este caso son las muestras evaluadas (Figura 1).

Para el diseño del instrumento destinado a cada juez evaluador fue necesario construir diez matrices recíprocas positivas para cada grupo de seis muestras de café (Tabla 1), además de una matriz para definir la importancia de los

criterios en la que se precisó el valor de uno en todos los casos, debido a que todos los atributos fueron considerados con la misma importancia, cada matriz de comparación contiene unos en la diagonal porque corresponde a la evaluación de cada muestra consigo misma (Tabla1) y los demás elementos corresponden a las comparaciones pareadas de las muestras, así p.e. el elemento a_{ij} corresponde a la comparación de la muestra de la fila i (m_i) con la muestra de la columna j (m_j) en función del atributo x; para definir las magnitudes de las comparaciones pareadas en cada matriz de comparación se utilizó la escala fundamental de nueve criterios (SAATY, 2006). Cada evaluador debía diligencia solamente la parte superior de la matriz, debido a que la parte inferior de la diagonal corresponde a los valores recíprocos de cada valoración expresada.

Los juicios individuales emitidos por cada uno de los cuatro jueces fueron centralizados mediante la media geométrica (AULL-HYDE; ERDOGAN; DUKE, 2006) y el valor promedio fue ingresado al Software EXPERT CHOICE 2000 (MOHD-YUNUS et al., 2013), mediante el cual se obtuvieron los vectores de prioridad y el cálculo de la Razón de Consistencia (RC) para cada matriz, un resultado se considera consistente cuando RC<0,10 (BRUNELLI; FEDRIZZI, 2015; VELÁSQUEZ; NÚÑEZ; RODRÍGUEZ, 2010).

Para la evaluación del perfil sensorial de cada muestra con la metodología tradicional, se utilizó el instrumento de evaluación oficial de la SCAA (ALVES SILVA, 2014; DI DONFRANCESCO; GUTIERREZ; CHAMBERS IV, 2014).

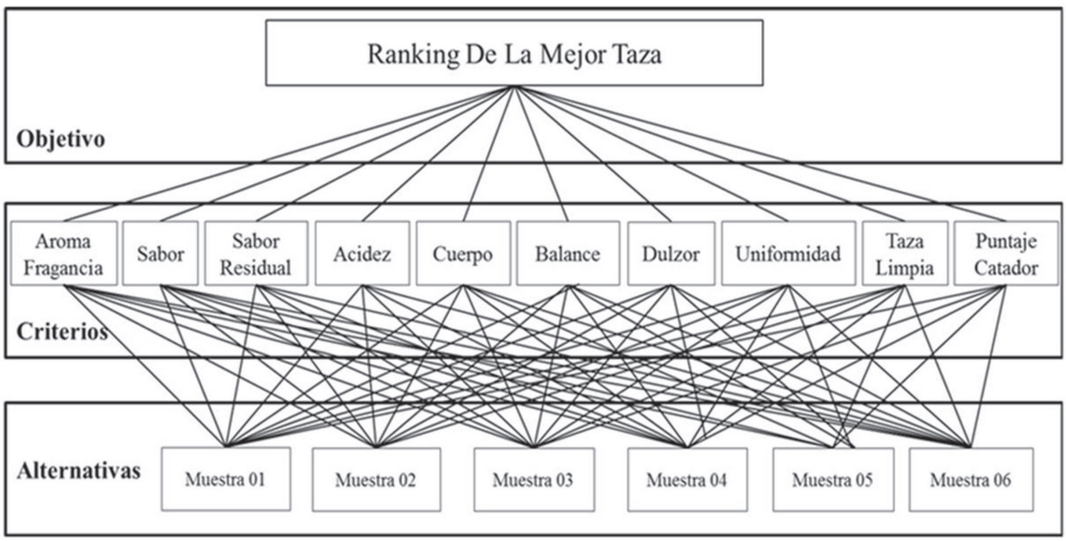


FIGURA 1 - Estructura del modelo jerárquico para evaluación sensorial de café.

TABLA 1 - Modelo de matriz para comparación pareada por atributo.

Atributo$_x$	**m_i**	**m_j**	**m_k**	**m_l**	**m_m**	**m_n**
m_i	1	a_{ij}	a_{ik}	a_{il}	a_{im}	a_{in}
m_j	$1/a_{ij}$	1	a_{jk}	a_{jl}	a_{jm}	a_{jn}
m_k	$1/a_{ik}$	$1/a_{jk}$	1	a_{kl}	a_{km}	a_{kn}
m_l	$1/a_{il}$	$1/a_{jl}$	$1/a_{kl}$	1	a_{lm}	a_{ln}
m_m	$1/a_{im}$	$1/a_{jm}$	$1/a_{km}$	$1/a_{lm}$	1	a_{mn}
m_n	$1/a_{in}$	$1/a_{jn}$	$1/a_{kn}$	$1/a_{ln}$	$1/a_{mn}$	1

El nivel de ajuste de los rankings obtenidos con los dos métodos de evaluación utilizados fue analizado mediante pruebas de Chi cuadrado al 95% y los resultados de la valoración simultánea de todos los atributos y todos los jueces, se estudió mediante análisis clúster; en todos los casos se utilizó software estadístico StatGraphics Plus 5.1 para Windows (Manugistics, Inc., Rockville MD, USA.).

3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla 2 se presentan los rankings obtenidos para los tres grupos de seis muestras evaluados, con los dos métodos de análisis sensorial aplicados (PAJ y SCAA); como puede verse, en el grupo 1 se encontraron similitudes en todos los seis escaños del ranking, resultando con mayor valoración la muestra 3 (m3) con el 27,4% en el método PAJ y un puntaje de 84,9 en el método SCAA, es importante resaltar que las muestras m4 y m6 en el grupo 1 fueron rechazadas para "cafés especiales" según la metodología SCAA y resultaron con los valores más bajos en la metodología PAJ. En el grupo 2 se presentaron aciertos en las dos primeras posiciones del ranking con las muestras m6 y m1 respectivamente y en los restantes cuatro escaños se presentaron posiciones cruzadas entre las muestras m4 y m5 en las posiciones tercera y cuarta del ranking y entre las muestras m2 y m3 en las últimas dos posiciones del ranking. En el tercer grupo, también se encontraron coincidencias en todas las posiciones de los rankings obtenidos con las dos metodologías evaluadas, resultando la m5 como la mejor valorada con un 29,7% en la metodología PAJ y con 85,6 puntos en la metodología SCAA.

La prueba Chi.Test para bondad de ajuste utilizada (VOINOV; NIKULIN; BALAKRISHNAM, 2013) indica que existe ajuste entre los resultados de los dos métodos de análisis utilizados (P>0,05) (RODRÍGUEZ; GERDING; FRANCE, 2006), analizando de manera simultánea los aciertos obtenidos para las posiciones que ocuparon las muestras en los tres rankings definidos. En la Tabla 2 también se puede observar que en los tres grupos de muestras evaluados con la metodología PAJ, la razón de consistencia (RC) obtenida por el grupo de jueces evaluadores fue inferior al 10%, lo que indica un buen ajuste entre los jueces y adecuada consistencia en sus juicios.

Aunque la aplicación se realizó para confrontar grupos de seis muestras, en los casos en que se requiera valorar un mayor número de muestras, se recomienda subdividir el total de muestras en grupos de tamaños iguales y realizar valoraciones clasificatorias en cada grupo, seleccionando las dos o tres mejores, hasta conformar un grupo con las seis muestras finalistas.

En la Figura 2 se presenta el escenario de evaluación resultante del análisis con EXPERT CHOICE para las seis muestras del grupo 1, considerando de manera simultánea los diez atributos valorados; como puede verse, la muestra m3 alcanzo las mayores valoraciones en ocho (8) de los diez (10) atributos evaluados, lo que le permitió posicionarse como la mejor del grupo 1, mientras que la muestra m6 obtuvo la calificación más baja en los diez atributos evaluados, lo que le produjo la menor puntuación total en la metodología AHP; también se observa que el atributo denominado cuerpo fue valorado de manera similar en todas las muestras de este grupo, en un rango de importancia entre 40% y 50%. Este tipo de gráficos es muy útil para que en futuros trabajos de investigación se evalúen ajustes en los diferentes atributos para potenciar la elaboración de los denominados "cafés blends", donde se puede proporcionar a la bebida un equilibrio ideal al combinar diferentes tipos de cafés, que mejoren sus características y valor comercial.

Los resultados del análisis estadístico multivariable, en el que se consideraron los diez atributos como variables y las seis muestras como observaciones, permitieron encontrar tres clústeres perfectamente definidos para el caso del grupo 3 (Figura 3), la clasificación obtenida en este análisis define en el primer clúster las muestras m4 y m5 con puntajes superiores a 85 puntos según la clasificación SCAA, es decir cafés calificados como "Excelentes"; en el segundo clúster las muestras m6, m1 y m2 que obtuvieron puntuaciones entre 80 y 85 puntos definidas como "Muy buenos" y en el tercer clúster la muestra m3 que obtuvo menos de 80 puntos (74,8) que resultan clasificada como "Café no especial".

TABLA 2 - Rankings obtenidos para los tres grupos evaluados.

Grupo 1		*Grupo 2*		*Grupo 3*	
PAJ (%)	***SCAA (Puntos)***	***PAJ (%)***	***SCAA (Puntos)***	***PAJ (%)***	***SCAA (Puntos)***
m3 (27,4)	m3 (84,9)	m6 (24,2)	m6 (84,9)	m5 (29,7)	m5 (85,6)
m1 (21,5)	m1 (82,9)	m1 (22,1)	m1 (83,9)	m4 (22,5)	m4 (85,5)
m2 (18,9)	m2 (82,8)	m5 (15,3)	m4 (83,1)	m6 (15,0)	m6 (83,3)
m5 (12,6)	m5 (81,2)	m4 (15,3)	m5 (82,1)	m1 (14,1)	m1 (82,6)
m4 (12,5)	m4 (0,0)*	m2 (14,2)	m3 (82,0)	m2 (11,1)	m2 (80,3)
m6 (7,1)	m6 (0,0)*	m3 (8,9)	m2 (80,9)	m3 (7,7)	m3 (74,8)
RC = 0,04		RC = 0,01		RC = 0,02	

* Muestras rechazadas para cafés especiales, según la metodología SCAA

Chi.Test: $X^2 = 2,66$, $X^2Crit = 5,99$; para NC=95%, P = 0,26

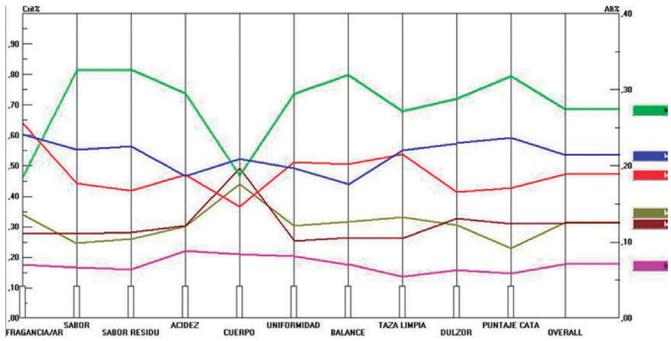


FIGURA 2 - Valoración simultánea de Atributos para las muestras del Grupo 1.

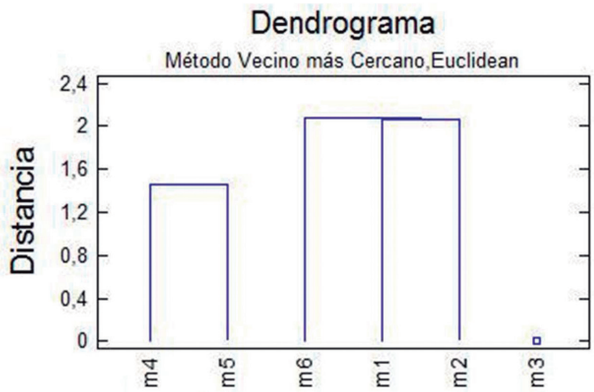


FIGURA 3 - Dendograma análisis clasificación grupo 3.

4 CONCLUSIONES

La valoración simultánea de muestras de cafés especiales por parte de jueces entrenados, puede ser resuelta con la utilización de una técnica de decisión multicriterio como es el caso del proceso de análisis jerárquico PAJ, lo que permite definir rankings de preferencias que puede ser utilizado como metodología de evaluación en los diferentes concursos de taza de excelencia.

La estructuración del problema de valoración simultánea de cafés especiales en un arreglo de tres niveles típico de una técnica de decisión multicriterio, permite asociar el objetivo principal con los atributos de calidad y las muestras evaluadas, lo que sin duda agrupa todos los parámetros y alternativas en un mismo problema complejo, confiriéndole robustez a la técnica aquí propuesta.

El análisis de los escenarios que se pueden obtener con el software EXPERT CHOICE al resolver el problema complejo, constituye un insumo para proponer nuevos trabajos de investigación en los que se definan ajustes en los diferentes atributos para fomentar la elaboración de los denominados "cafés blends", donde se logra proporcionar a la bebida un equilibrio ideal al combinar diferentes muestras de cafés.

Los rankings obtenidos con la metodología basada en el proceso PAJ presentó coincidencias en todas las posiciones con los rankings obtenidos con las metodologías SCAA, lo que implica una buena bondad de ajuste con un nivel de confianza del 95%; adicionalmente los resultados del análisis multivariable de clasificación en el que se consideran de manera conjunta todos los atributos y todas las valoraciones parciales de los catadores, ofrecieron resultados satisfactorios, lo que implica robustez en el análisis.

5 REFERENCIAS

ALVES SILVA, P. et al. Quality assessment of coffee grown in Campos Gerais, Minas Gerais State, Brazil. **Acta Scientiarum Technology**, Maringá, v. 36, n. 4, p. 739-744, Oct./Dec. 2014.

AULL-HYDE, R.; ERDOGAN, S.; DUKE, J. M. An experiment on the consistency of aggregated comparison matrices in AHP. **European Journal of Operational Research**, Poznan, v. 171, n. 1, p. 290-295, 2006.

BRUNELLI, M.; FEDRIZZI, M. Boundary properties of the inconsistency of pairwise comparisons in group decisions. **European Journal of Operational Research**, Poznan, v. 240, n. 3, p. 765-777, 2015.

COSTELL, E. La aceptabilidad de los alimentos: nutrición y placer. **Arbor**, Madrid, v. 168, n. 661, p. 65-85, 2001.

DI DONFRANCESCO, B.; GUTIERREZ, N.; CHAMBERS IV, E. Comparison of results from cupping and descriptive Sensory analysis of Colombian brewed coffee. **Journal of Sensory Studies**, Malden, v. 29, p. 301-311, 2014.

DONG, Y. et al. Consensus models for AHP group decision making under row geometric mean prioritization method. **Decision Support Systems**, Storrs, v. 49, p. 281-289, 2010.

FERIA, A. M. Examining the case of green coffee to illustrate the limitations of grading systems/expert tasters in sensory evaluation for quality control. **Food Quality and Preference**, Harlow, v. 13, n. 6, p 355-367, 2014.

GURMERIC, V. E. et al. Application of different multi-criteria decision techniques to determine optimum flavour of prebiotic pudding based on sensory analyses. **Food Bioprocess Technology**, New York, v. 6, p. 2844-2859, 2013.

GUTIERREZ, N. **Identificación y priorización de factores cítricos para implementar BPA en productores de café y frutas en el departamento del Huila en Colombia**. 2008. 313 p. Tesis (Doctorado en Tecnología de Alimentos) - Universidad Politécnica de Valencia, Valencia España, 2008.

HARRAR DE DIENES, A.; GARCÍA MELÓN, M.; ALCAIDE MARZAL, J. Application of Multi-Criteria Decision Methods (MCDM) for the development of functional food products in Venezuela. **Procedia Food Science**, London, v. 1, p. 1560-1567, 2011.

HO, W. D. Multiple criteria decision making techniques in higher education. **International Journal of Educational Management**, Hull, v. 20, n. 5, p. 319-337, 2006.

MOHD-YUNUS, R. et al. Expert choice for ranking heritage streets. **Procedia - Social and Behavioral Sciences**, New York, v. 101, p. 465-470, 2013.

NIEDERHAUSER, N. et al. Information and its management for differentiation of agricultural products: the example of specialty coffee. **Computers and Electronics in Agriculture**, Amsterdam, v. 61, n. 2, p. 241-253, 2008.

PUERTA, G. I. Los catadores de café. **Avances técnicos Cenicafe**, Chinchina, v. 381, p. 1-12, mar. 2009.

RENDON, M. Y. et al. Uso de escala de qualidade e escala de intensidade para avaliação de bebidas de café. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 5., 2007, Águas de Lindóia. **Resumos Expandidos…** Águas de Lindóia: EMBRAPA Café, 2007. p. 1-4.

RIBEIRO, B. et al. Avaliação química e sensorial de blends de *Coffea canephora* Pierre e Coffea arabica L. **Coffee Science**, Lavras, v. 9, n. 2, p. 178-186, abr./jun. 2014.

RODRÍGUEZ, M.; GERDING, M.; FRANCE, A. Selección de Aislamientos de Hongos Entomopatógenos para el Control de Huevos de la Polilla del Tomate, Tuta absoluta Meyrick (Lepidoptera: gelechiidae). **Agricultura Técnica**, Santiago de Chile, v. 66, n. 2, p. 151-158, 2006.

SAATY, T. Decision making with the analytic hierarchy process. **International Journal of Services Sciences**, Toronto, v. 1, n. 1, p. 83-98, 2008.

_____. Rank from comparisons and from ratings in the analytic hierarchy/network processes. **European Journal of Operational Research**, Amsterdam, v. 168, p. 557-570, 2006.

SPECIALTY COFFEE ASSOCIATION OF AMERICA. **SCAA protocols:** cupping specialty coffee. Version Dec. 2015. Santa Ana, 2015. 10 p.

VELASQUEZ, Y. N.; NÚÑEZ, M.; RODRÍGUEZ, C. Aplicación de la técnica AHP para evaluar el efecto de los valores organizacionales en la productividad. **Dirección y Organización**, Madrid, v. 41, p. 58-67, julio 2010.

VOINOV, V.; NIKULIN, M.; BALAKRISHNAM, N. **Chi-squared goodness of fit tests with applications**. Oxford: E. Academic; Elsevier, 2013. 256 p.

YOICHI, K.; KEL, O.; MAKOTO, N. Sensory evaluation of sake with AHP. **Seibutsu - Kogaku Kaishi**, Osaka, v. 74, p. 17-21, 1996.

PRODUÇÃO DE MUDAS DE CAFÉ ARÁBICA EM SUBSTRATO COMPOSTO POR RESÍDUO DA SECAGEM DOS GRÃOS

Lorena Aparecida Merlo Meneghelli[1], Paola Alfonsa Vieira Lo Monaco[2], Ismail Ramalho Haddade[3], Caroline Merlo Meneghelli[4], Marcelo Rodrigo Krause[5], Gustavo Haddad Souza Vieira[6]

(Recebido: 16 de setembro de 2016; aceito: 16 de janeiro de 2017)

RESUMO: Objetivou-se avaliar o uso de moinha (resíduo da secagem dos grãos) na composição de um substrato alternativo para a produção de mudas de café arábica, cultivar 'Catuaí Vermelho' IAC- 99. O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, com cinco tratamentos, sendo quatro proporções de moinha (10, 20, 30 e 40% do volume do substrato misturado com o solo) e um substrato testemunha (solo e esterco na proporção de 3:1) na produção de mudas de café arábica. As variáveis avaliadas foram: número de folhas, altura de plantas, diâmetro do coleto, matéria seca da parte aérea e raiz, matéria seca total e condutividade elétrica do substrato, todas realizadas aos 180 dias após o semeio. O aumento da concentração de moinha promove o aumento da condutividade elétrica nos substratos. Concentrações de até 30% de moinha na composição do substrato podem ser utilizadas como uma opção alternativa ao uso do substrato com esterco bovino e sem fornecimento de nutrientes via fertilizantes. No entanto, a concentração de 20% de moinha na composição do substrato promove os maiores valores de número de folhas, diâmetro de coleto e matéria seca de raiz.

Termos para indexação: *Coffea arabica*, moinha, substrato alternativo.

ARABICA COFFEE SEEDLINGS PRODUCTION IN SUBSTRATE COMPOSED BY RESIDUE FROM GRAINS DRYING PROCESS

ABSTRACT: *This study aimed to evaluate the use of "moinha" in the composition of an alternative substrate for the production of Arabica coffee plants, 'Catuaí Vermelho' IAC-99 cultivar. The experimental design was a completely randomized design with five treatments, that were four proportions of "moinha" (10, 20, 30 and 40% of the volume of the substrate mixed with the soil) and a control substrate (soil and manure in the proportion of 3: 1) on the arabica coffee seedlings. The variables evaluated were: number of leaves, plant height, shoot diameter, shoot and root dry matter, total dry matter and substrate electrical conductivity, all performed at 180 days after sowing. The increase in the concentration of "moinha" promotes the increase of electric conductivity in the substrates. Concentrations from 10% until 30% of "moinha" in the substrate composition can be used as an alternative to the use of substrate with bovine manure and without supply of nutrients via fertilizers. However, the concentration of 20% of "moinha" in the substrate composition promotes the highest values of number of leaves, shoot diameter and root dry matter.*

Index terms: *Coffea arabica, moinha, alternative substrate.*

1 INTRODUÇÃO

O processamento do café arábica, especialmente o cereja descascado, implica em um conjunto de várias etapas, sendo constituído pela colheita, transporte, lavagem (separação de impurezas), despolpamento, desmucilagem (fermentação), secagem e armazenamento.

Associado à elevada produtividade, o processamento via úmida dos frutos de café tem gerado grande quantidade de resíduos. De acordo com a produção atual de café, estima-se que são geradas aproximadamente 225 milhões de toneladas de resíduos líquidos (25 t de águas residuárias por toneladas de grãos de café) e 9,9 milhões de toneladas de resíduos sólidos, incluindo casca, polpa, mucilagem, pergaminho, película prateada, e borra de café (1,1 t de resíduos sólidos por tonelada de grãos de café) (DIAS et al., 2014) que, na maioria das vezes, são lançados sem tratamento adequado no ambiente, tornando-se um agente poluidor.

Nesse sentido, diversas pesquisas têm sido realizadas com o intuito de aproveitar esses resíduos, dada a necessidade de dispô-los adequadamente no meio ambiente. De acordo com Navia, Velasco e Hoyos (2011), a ideia do aproveitamento dos resíduos do processamento do café surge da necessidade de minimizar seus efeitos negativos no meio ambiente, dando-lhes um destino alternativo com geração de produtos

[1,2,3,5,6] Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo- *Campus* Santa Teresa - São João de Petrópolis 29.660-000 - Santa Teresa - ES - lorena.merlo@hotmail.com, paolalomonaco2004@yahoo.com.br, ihaddade@gmail.com, agro.krause@gmail.com, ghsvieira@gmail.com
[4]Universidade Federal do Espírito Santo- Centro de Ciências Agrárias e Engenharias - Alto Universitário - 29.500-000 Guararema - Alegre - ES - carol.merlo@hotmail.com

com valor agregado. Além da preocupação com a preservação ambiental, esses resíduos têm sido aproveitados em diversos setores, principalmente na agricultura (LO MONACO et al., 2009; MENEGHELLI et al., 2016; RIBEIRO et al., 2009), por apresentarem um elevado potencial fertilizante, diminuindo assim os custos com adubação convencional.

Na etapa na qual se utilizam secadores, necessária para evitar o ataque de microrganismos e de fermentações que possam comprometer a qualidade dos grãos de café, também é gerado um resíduo, conhecido na região Centro Serrana do Espírito Santo por "moinha". De acordo com Meneghelli et al. (2016), a moinha é composta por restos vegetais tais como folhas, galhos, restos de inflorescências e grãos mal formados do próprio cafeeiro, que, quando secados juntamente com grãos normais, sofrem queima e são liberados do secador. Os mesmos autores, ao caracterizarem quimicamente esse material, constataram uma baixa relação C/N, elevado conteúdo de matéria orgânica, e elevadas concentrações de potássio, fósforo e especialmente nitrogênio.

Quando atinge um volume considerável nos galpões de beneficiamento este resíduo tem sido descartado de maneira inadequada e, em algumas situações, utilizado na adubação de lavouras cafeeiras da região, em razão da elevada quantidade de nutrientes disponíveis.

Além da utilização como adubo orgânico, a moinha tem sido utilizada também no preparo de substratos, alternativos ao convencional, o qual é utilizado pelos produtores de mudas de café conilon e arábica, que é o esterco bovino na proporção 3:1. Meneghelli et al. (2016), ao avaliarem o uso de diferentes concentrações de moinha como substrato no desenvolvimento vegetativo de mudas de café conilon, verificaram que o uso do substrato convencional pode ser substituído pelo substrato contendo 10% de moinha, sem que haja diferença na altura de plantas, bem como nas matérias seca e fresca da parte aérea.

Os resultados obtidos por esses autores evidenciam o potencial de uso da moinha como substrato alternativo ao convencional, para a produção de mudas clonais de café conilon. No entanto, não há informações a respeito do uso desse resíduo, nem tampouco a concentração a ser utilizada, no preparo de um substrato alternativo para produção de mudas de café arábica. Tais informações tornam-se importantes, em razão da elevada produção de café arábica, tornando-a sustentável, pelo fato dos resíduos serem aproveitados e dispostos de forma harmônica no meio ambiente, além de proporcionar mudas de qualidade.

Assim, objetivou-se avaliar o uso de moinha na formulação de um substrato alternativo para a produção de mudas de café arábica.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi instalado e conduzido no viveiro de produção de mudas do Sítio Santa Maria, no município de Santa Teresa, Espírito Santo, nas coordenadas geográficas: latitude 19°48' Sul, longitude 40°40' Oeste e altitude de 130 m. O clima, segundo a classificação de Köppen, enquadra-se no tipo Cwa (subtropical de inverno seco), com temperatura média anual de 24,6°C e precipitação média anual variando entre 700 a 1200 mm. O viveiro onde as mudas foram desenvolvidas possui tela de poliolefina, com 50% de sombreamento.

Como ingrediente para o preparo do substrato alternativo para a produção de mudas de café arábica foi utilizado o resíduo proveniente da secagem dos grãos de café, denominado como "moinha", em substituição ao esterco bovino.

A caracterização química e físico-química do resíduo utilizado para compor o substrato alternativo para a produção de mudas de café arábica foi realizada no Laboratório de Solos e Resíduos Sólidos do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa. A análise físico-química consistiu na determinação da condutividade elétrica (CE), por meio de um condutivímetro de bancada, na proporção 1:2,5 (v/v). A análise química consistiu na determinação do pH, por meio de um peagâmetro de bancada, e na quantificação das concentrações de carbono orgânico facilmente oxidável (CO_{fo}), carbono orgânico total (CO_T), nitrogênio total (N_T), fósforo (P) e potássio (K), seguindo-se metodologia descrita por Matos (2015). Na Tabela 1 apresentam-se os atributos químicos e físico-químicos (CE) da moinha utilizada no experimento.

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, com cinco tratamentos, sendo quatro proporções de moinha (10, 20, 30 e 40% do volume total do substrato misturado com solo) e um substrato testemunha (solo e esterco na proporção de 3:1) de produção de mudas de café arábica. Foram utilizadas 10 repetições, totalizando 50 parcelas. Cada parcela foi constituída por 20 mudas, totalizando 1000 mudas.

Foi utilizado no experimento um solo classificado como Latossolo Vermelho Amarelo distrófico (SANTOS et al., 2013), cuja caracterização química pode ser visualizada na Tabela 2.

TABELA 1 - Atributos químicos e físico-químicos (CE) da moinha (MO) utilizada no preparo do substrato alternativo para a produção de mudas de café arábica.

pH	CE	CO_{fo}	CO_T	N_T	P	K
	dS m^{-1}	----------dag kg^{-1}----------				
5,60	6,49	45,3	58,9	3,7	0,14	0,71

[1]pH – potencial hidrogeniônico em água; CE – condutividade elétrica; CO – carbono orgânico facilmente oxidável; CO – carbono orgânico total; N – nitrogênio total; P – fósforo; K – potássio.

TABELA 2 - Caracterização química do solo utilizado no experimento.

pH em água	MO	P[1]	K	Ca	Mg	Al	H+Al	S.B.	T	t	m	V
	g dm^{-3}	--mg dm^{-3}---		----------mmol dm^{-3}----------							------%----	
5,2	3,0	12	67,0	8,1	13,1	0,0	16,2	22,9	39,1	22,9	0,0	58,6

[1]ExtratorMehlich

Os substratos foram acondicionados em sacolas de polietileno, com dimensões de 11 x 20 cm e volume de 770 cm^3.

A porcentagem de moinha utilizada em cada tratamento foi baseada no volume total de solo, utilizado tradicionalmente para encher as sacolas. O tratamento 1 (solo e esterco na proporção de 3:1) foi considerado como o tratamento testemunha. Não foram realizadas quaisquer adubações nos tratamentos aplicados.

A cultivar utilizada nesta pesquisa foi a 'Catuaí Vermelho' IAC- 99, em razão de sua grande aceitação na região serrana do Estado do Espírito Santo. Em cada sacola, foram colocadas duas sementes, cobertas pelo substrato, a fim de manter a umidade durante a germinação.

A irrigação foi realizada diariamente, de modo a manter a umidade à capacidade de campo, em todos os tratamentos. O desbaste foi feito quando as mudas se encontraram no estádio "orelha de onça" (iniciando a emissão do primeiro par de folhas verdadeiras).

As avaliações das variáveis de crescimento foram realizadas aos 180 dias após o semeio, quando a idade das mudas é considerada adequada para o plantio (MATIELLO et al., 2010), e consistiram na determinação do número de folhas, na altura da muda, no diâmetro do coleto e nas matérias secas da parte aérea, da raiz e total da planta. Para obtenção da altura da parte aérea foi utilizada uma régua milimetrada, medindo-se da base do colo até a gema apical que deu origem a última folha. Já o diâmetro de coleto foi obtido por meio de um paquímetro digital de precisão, medindo-se abaixo da inserção da folha "orelha de onça". A matéria seca da parte aérea foi obtida através do corte das mudas próximas ao substrato. Para a obtenção da massa seca radicular, as raízes foram cuidadosamente lavadas em água corrente sobre uma peneira. Posteriormente, os materiais foram acondicionados em sacos de papel, e alocados em uma estufa de circulação de ar forçado a 65 ºC por 72 horas. Em seguida foi realizada a pesagem dos materiais em balança eletrônica de precisão de 0,01 g.

A condutividade elétrica do substrato foi determinada por meio de um condutivímetro de bancada, na proporção 1:2,5 (v/v), seguindo-se metodologia proposta por Matos (2015).

Para a comparação dos diferentes substratos alternativos (diferentes níveis de moinha) com a testemunha, utilizou-se o teste de Dunnet (α=0,05). Para o estudo do efeito da moinha, procedeu-se a decomposição dos graus de liberdade dos tratamentos referentes aos níveis de moinha em modelos de regressão. Para a estimativa dos parâmetros dos modelos de regressão linear polinomial utilizou-se o método dos mínimos quadrados. Para todos os procedimentos foi adotado um nível de significância igual a 0,05.

Para as avaliações estatísticas foi utilizado o programa SAEG 9.1 (SISTEMA..., 2007).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Por meio da análise de variância, observaram-se significâncias ($P<0,05$) somente para as variáveis: condutividade elétrica (CE), número de folhas (NF), diâmetro de coleto (DC) e matéria seca de raiz (MSR). Para as variáveis altura de plantas (AP), matéria seca da parte área (MSPA) e matéria seca total (MST), não

foram observadas diferenças (P>0,05) entre os tratamentos pré-estabelecidos, ou seja, as médias de todos os tratamentos, para cada uma dessas variáveis foram iguais entre si.

Na Tabela 3 são apresentadas as médias para cada uma das variáveis, bem como o resultado do teste Dunnett comparando as médias dos tratamentos que receberam a moinha e o tratamento testemunha, aos 180 dias após o semeio.

Verifica-se que a condutividade elétrica da testemunha diferiu de cada um dos tratamentos contendo moinha (Tabela 3). Tal fato já era esperado em razão da elevada condutividade elétrica da moinha (Tabela 1), devido a sua elevada salinidade.

Para as variáveis número de folhas (NF) e matéria seca de raiz (MSR), o tratamento testemunha não diferiu de nenhum dos tratamentos contendo concentrações crescentes de moinha. Para a variável diâmetro de coleto (DC), concentrações de até 30% não diferem da testemunha. De um modo geral, tais resultados evidenciam que dentre todas as variáveis analisadas, a concentração de moinha em até 30% possa a ser uma opção alternativa ao uso do esterco, na composição do substrato para produção de mudas de café arábica. Nas Figuras 1(a), 1(b), 1(c) e 1(d) estão representados os ajustes das equações para as variáveis condutividade elétrica do substrato (CE), número de folhas (NF), diâmetro do coleto (DC) e matéria seca da raiz (MSR), respectivamente, em função dos níveis de moinha na composição dos substratos. Para as variáveis altura de mudas (AP), matéria seca da parte aérea (MSPA) e matéria seca total (MST), não houve diferença (P>0,05) entre as médias de todos os tratamentos.

De acordo com Figura 1, verifica-se que a variável CE manifestou comportamento linear, já as variáveis NF, DC e MSR apresentaram comportamentos quadráticos, em função das diferentes porcentagens de moinha, na composição dos substratos para as mudas de café arábica.

De acordo com a Figura 1(a), pode-se observar que doses crescentes de moinha no substrato proporcionaram valores também crescentes de condutividade elétrica. A porcentagem de 40% de moinha proporcionou o maior valor de CE (141 µS cm^{-1}) e o menor valor foi obtido no substrato testemunha (80µS cm^{-1}). Tal resultado já era esperado em razão da moinha ser um resíduo com elevada CE (Tabela 1). De acordo com Harter et al. (2014), a alta concentração de sais é um fator de estresse para as plantas, pois reduz o potencial osmótico e proporciona a ação dos íons sobre o protoplasma. A água é osmoticamente retida na solução salina, de forma que o aumento da concentração de sais a torna cada vez menos disponível para as plantas. Em alguns trabalhos, tais como Figueiredo, Faria e Silva (2006) e Karasawa et al. (2003), é possível verificar o efeito da salinidade no crescimento vegetativo em mudas de café. Karasawa et al. (2003), ao avaliarem o efeito de quatro níveis de salinidade da água (0,3; 0,9; 1,2 e 1,5 dS m^{-1}) no desenvolvimento de mudas de café, verificaram que, à medida que se elevou a condutividade da água de irrigação, todos os tratamentos apresentaram efeitos negativos, ou seja, causaram decréscimo nas variáveis. Em um estudo utilizando seis níveis de salinidade da água de irrigação (0,0; 0,6; 1,2; 1,8; 2,4 e 3,0 dS m^{-1}) até 163 dias após estabelecimento das mudas (DAE) de cultivares Catuaí, Figueiredo, Faria e Silva (2006) verificaram que a partir de 57 e 78 DAE, o diâmetro do caule, a área foliar e a altura das plantas, tiveram crescimento reduzido com o aumento da salinidade da água. Esses autores concluíram que a salinidade da água a partir de 1,2 dS m^{-1} pode paralisar o crescimento inicial do cafeeiro e levá-lo a morte.

O número de folhas é um atributo muito importante para o bom desenvolvimento de uma cultura, visto que o processo fotossintético decorre da interceptação luminosa e da sua conversão em energia química de luz, que, por sua vez, dependem do número e do tamanho das folhas, bem como do seu tempo de permanência na planta (FAVARIN, 2002). De acordo com a Figura 1(b), a porcentagem de 23,9% de moinha na composição dos substratos proporcionou maior número de folhas (15,09), dentre os tratamentos aplicados e a cima desta porcentagem, os valores no número de folhas decresceram.

Os resultados encontrados neste trabalho são superiores aos encontrados por outros autores estudando o desenvolvimento de mudas de cafeeiro. Dias et al. (2009), ao estudarem fontes e proporções de material orgânico para a produção de mudas de cafeeiro (*Coffea arabica* L.), obtiveram um valor máximo de 5,66 pares de folhas, em substrato de húmus de minhoca, aos 95 dias após o transplante para os tubetes. Melo, Mendes e Guimarães (2003), ao avaliarem diferentes substratos e tipos de fertilização na produção de mudas de cafeeiro Arábica (*C. arabica)*, encontraram pares de folhas verdadeiras variando de 6,25 a 6,60, resultados muito aquém dos obtidos neste trabalho.

TABELA 3 - Médias estimadas para a condutividade elétrica (CE), o número de folhas (NF), o diâmetro de coleto (DC), a matéria seca da raiz (MSR), a matéria seca da parte aérea (MSPA), matéria seca total (MST) e a altura de plantas (AP), nas diferentes proporções de moinha (MO).

Tratamento	CE ($\mu S\ cm^{-1}$)	NF (un.)	DC (mm)	MSR (mg)	MSPA (mg)	MST (mg)	AP (cm)
Testemunha	72 B	14,81 A	3,40 A	264,10 A	1940,20	2204,30	19,51
10% de MO	98 A	14,22 A	3,13 A	266,80 A	1915,10	218.90	18,85
20% de MO	107 A	15,22 A	3,55 A	295,70 A	1938,70	2234,40	19,60
30% de MO	125 A	14,73 A	3,23 A	253,50 A	1899,50	2153,00	19,35
40% de MO	143 A	14,09 A	2,87 B	219,90 A	1837,90	2057,80	19,37
Valor de P	0,0000	0,0107	0,0015	0,0233	0,4929	0,1579	0,5174
CV (%)	6,101	5,179	11,187	18,769	7,466	7.480	5,237

Médias seguidas de mesma letra na coluna não se diferem estatisticamente da testemunha pelo teste de Dunnet ta um nível de 5% de probabilidade.

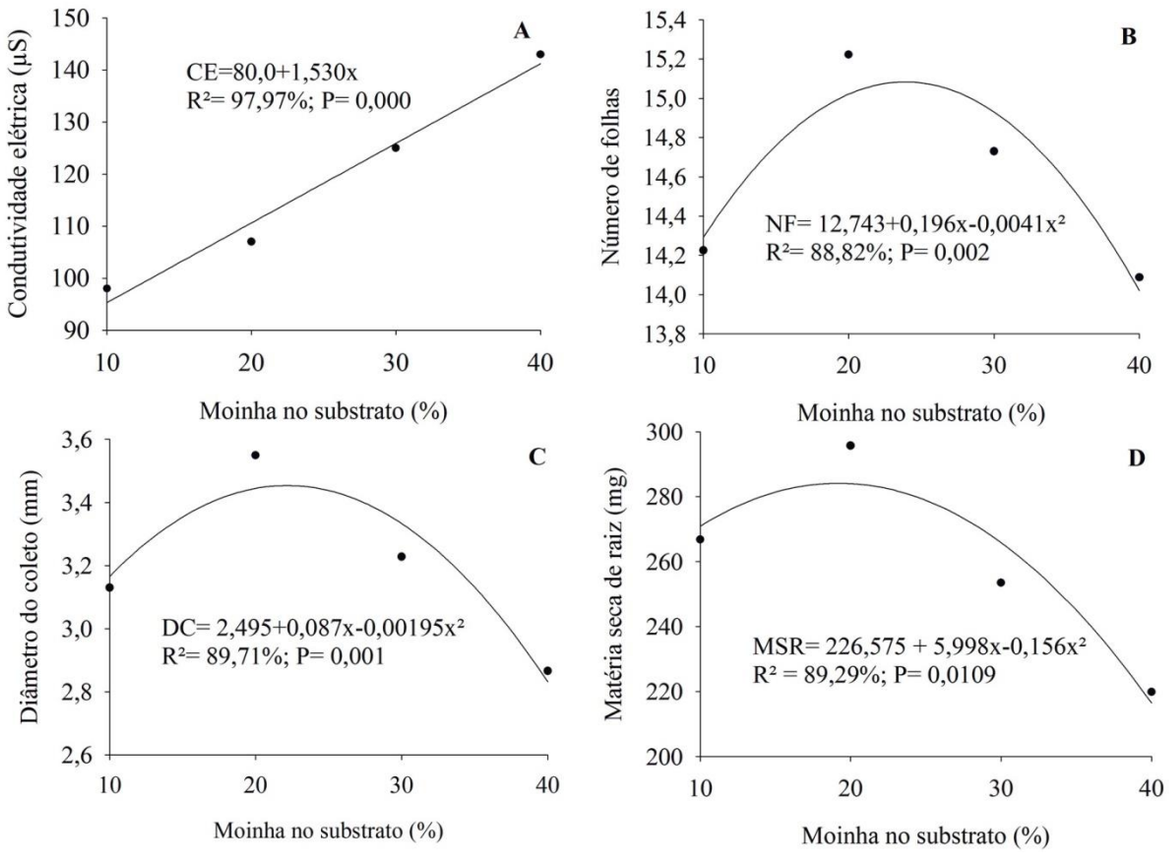


FIGURA 1 - Condutividade elétrica do substrato (a), número de folhas (b), diâmetro do coleto (c) e matéria seca de raiz (d), respectivamente, em função de porcentagens crescentes de moinha na composição dos substratos.

Há de se ponderar que os referidos autores utilizaram tubetes como recipientes para as mudas, e neste trabalho utilizou-se sacolas de polietileno. Vallone et al. (2010), ao avaliarem os efeitos de diferentes recipientes e substratos na produção de mudas de cafeeiro (*C. arabica*), concluíram que os recipientes e os substratos utilizados influenciam significativamente o desenvolvimento das mudas de cafeeiro, sendo que os recipientes de maior volume (saquinho de polietileno e tubete de 120 mL) preenchidos com os substratos alternativo e comercial proporcionam mudas com maior desenvolvimento.

O diâmetro do coleto apresenta-se como uma das características fundamentais na hora de decidir se a muda está no momento do plantio. De acordo com Santos et al. (2010), o maior diâmetro do coleto pode ser demonstrativo de plantas mais vigorosas. Nesse sentido, verifica-se que a proporção de 22,31% de moinha proporcionou o maior valor de diâmetro do coleto (3,47 mm), e acima desta proporção, os valores decresceram (Figura 1(c)). Mesmo assim, o menor resultado obtido, decorrente da maior dose de moinha, foi superior aos obtidos por Vallone et al. (2010), que ao avaliarem diferentes recipientes e substratos na produção de mudas de cafeeiro (*C. arabica*), obtiveram diâmetros variando entre 2,57 a 2,88 mm para diferentes recipientes e 2,66 a 2,82 mm para diferentes substratos, cujas análises foram executadas quando as mudas de todos os tratamentos atingiram pelo menos quatro pares de folhas verdadeiras. O maior valor obtido (3,47 mm) na proporção de 22,31% pode ser considerado satisfatório quando comparado com Santinato et al. (2014), cujos resultados foram semelhantes a este trabalho. Estes autores, ao avaliarem o efeito de doses de fósforo maiores que as usualmente recomendadas, na ausência e na presença de suplementação nitrogenada no preparo de substrato, não obtiveram valores de diâmetro de coleto superiores a 3,4 mm em mudas de cafeeiro Arábica cultivadas em sacolas, aos 180 dias após o semeio.

Os resíduos utilizados na composição do substrato devem manter uma interação com a planta (OLIVEIRA; XAVIER; DUARTE, 2013), e esta interação entre substrato-planta, quem faz são as raízes. Para que isso ocorra de forma eficaz, o substrato deve propiciar o desenvolvimento do sistema radicular ao longo de todo o volume da sacola, tornando o enraizamento uniforme. Assim, a plântula irá explorar um maior volume de substrato e poderá absorver maior quantidade de nutrientes. De acordo com Costa et al. (2013), as raízes com adequado desenvolvimento suportam melhor as mudanças de ambiente, pois o sistema radicular das plantas permite maior área de contato com o solo, justificado pela maior matéria seca de raiz. De acordo com a Figura 1(d), verifica-se que a proporção de 19,22% de moinha proporcionou o maior valor de matéria seca de raiz (284,23 mg), e acima desta proporção, de forma semelhante às variáveis NF e DC, os valores decresceram (Figura 1(d)). Os resultados obtidos neste trabalho apresentam-se satisfatórios quando comparados com Vallone et al. (2010), que ao avaliarem diferentes recipientes e substratos na produção de mudas de cafeeiro (*C. arabica*), obtiveram 237 mg de massa seca do sistema radicular, no tratamento utilizando saquinhos de polietileno contendo 70% de solo + 30% de esterco bovino peneirado. Neste caso, as análises foram executadas quando todos os tratamentos atingiram pelo menos quatro pares de folhas verdadeiras.

De um modo geral, os maiores valores obtidos das variáveis analisadas neste trabalho foram aqueles nos quais se utilizaram em torno 20% de moinha na composição do substrato. Com o aumento desta proporção, todas as variáveis apresentaram valores decrescentes. Acredita-se que os menores valores em todas as variáveis analisadas, obtidos nas maiores concentrações, possam estar relacionados com a maior salinidade no substrato, evidenciada pela maior CE (Figura 1(a)). A proporção máxima de 20% de moinha na composição do substrato promoveu o melhor desenvolvimento das mudas do cafeeiro arábica, provavelmente, por nessa faixa o efeito da salinidade não ter predominado sobre o efeito benéfico dos conteúdos de nitrogênio e de matéria orgânica existentes na moinha, fundamentais, dentre diversos atributos, na formação das estruturas vegetativas e na qualidade física do substrato. Tal fato também foi observado por Meneghelli et al. (2016), ao estudarem a utilização da moinha como substrato alternativo para produção de mudas de cafeeiro Conilon. No entanto, os autores verificaram que a concentração máxima de moinha que promoveu o melhor desenvolvimento das mudas do cafeeiro foi a de 10%, na composição do substrato.

Há de se ponderar que a diferença entre os valores de concentração ótima de moinha misturada ao substrato encontrada para mudas de café Arábica e Conilon, pode ser devida à forma

de propagação, que ocorreu de forma sexuada (por sementes) para o primeiro e assexuada (por estaquia) para o segundo. De acordo com Espíndula e Partelli (2011), mudas de sementes apresentam menor sensibilidade ao déficit hídrico, se comparadas às originárias de estacas. Em razão de se observar o aumento da salinidade do substrato com maiores incrementos de moinha e comparando-se com outros trabalhos (FARIA et al., 2009; KARASAWA et al., 2003; NAZÁRIO et al., 2010), em que também se observaram o efeito da salinidade do substrato no desenvolvimento de mudas do cafeeiro, pode-se inferir que possa ser a salinidade, atuando de forma individualizada para cada forma de propagação do cafeeiro, que determine a concentração máxima ideal de moinha. Como a salinidade do meio provoca redução do potencial osmótico do substrato, aumentando o déficit hídrico das plantas, pode-se dizer que este possa ser um dos motivos, dentre outros, pela maior tolerância das mudas de sementes (café Arábica) a maiores concentrações de moinha.

4 CONCLUSÃO

De acordo com os resultados obtidos, pode-se concluir que:

- O aumento da concentração de moinha promove o aumento da condutividade elétrica nos substratos;

- Concentrações de até 30% de moinha na composição do substrato podem ser utilizadas como uma opção alternativa ao uso do substrato com esterco bovino e sem fornecimento de nutrientes via fertilizantes. No entanto, a concentração de 20% de moinha na composição do substrato promove os maiores valores de número de folhas, diâmetro de coleto e matéria seca de raiz.

5 REFERÊNCIAS

COSTA, L.A.M.etal. Avaliação de substratos para a produção de mudas de tomate e pepino. **Revista Ceres**, Viçosa, v.60, n. 5, p. 675-682, 2013.

DIAS, D. R. et al. Management and utilization of wastes from coffee processing. In: SCHWAN, R. F.; FLEET, G. H. (Org.). **Cocoa and coffee fermentations**. Boca Raton: CRC Taylor & Francis, 2014. chap. 15, p. 376-382.

DIAS, R. et al.Fontes e proporção de material orgânico para a produção de mudas de cafeeiro em tubetes. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.33, n.3, p.758-764, maio/jun. 2009.

ESPÍNDULA, M.C.; PARTELLI, F.L. **Vantagens do uso de clones no cultivo de cafeeiros canéfora (Conilon e Robusta)**. Porto Velho: EMBRAPA Rondônia, 2011. 19 p.

FARIA, F. H. S. et al. Efeito de parcelamento da fertirrigação com N e K e salinidade do solo no crescimento inicial de cultivares de cafeeiro. **Irriga**, Botucatu, v.14, n.2, p. 145-157, 2009.

FAVARIN, J. L. etal.Equações para a estimativa do índice de área foliar do cafeeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 6, p.769-773, jun. 2002.

FIGUEIREDO, V.B.; FARIA, M.A.; SILVA, E.L. Crescimento inicial do cafeeiro irrigado com água salina e salinização do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.10, n.1, p.50-57, 2006.

HARTER, L. S. H. et al. Salinidade e desempenho fisiológico de sementes e plântulas de morango. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.32, n. 1, p. 80-85, 2014.

KARASAWA, S. et al. Desenvolvimento de mudas de cafeeiro (*Coffea arabica* L.) irrigados com água salina. **Engenharia Rural**, Piracicaba, v. 14, p. 1-12, 2003. Número único.

LO MONACO, P. A. V. et al. Características químicas do solo após fertirrigação do cafeeiro com águas residuárias da lavagem e descascamento de seus frutos. **Irriga**, Botucatu, v.14, n.3, p.348-364, 2009.

MATIELLO, J. B. et al.**Cultura do café no Brasil:** manual de recomendações. Varginha: Fundação Prócafé, 2010. 542 p.

MATOS, A. T. **Manual de análise de resíduos sólidos e águas residuárias**. Viçosa, MG: Ed. UFV, 2015. 149 p.

MELO, B.; MENDES, A.N.G.; GUIMARÃES, P.T.G. Tipos de fertilizações e diferentes substratos na produção de mudas de cafeeiro (*Coffea arabica* L.) em tubetes. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v.19, n.1, p.33-42, 2003.

MENEGHELLI, C. M. et al. Resíduo da secagem dos grãos de café como substrato alternativo em mudas de café conilon. **Coffee Science**, Lavras, v. 11, n. 3, p. 330-335, jul./set. 2016.

NAVIA, D. P.; VELASCO, R. J.; HOYOS, J. L. Production and evaluation of ethanol from coffee processing by-products. **Vitae**, Medellín, v. 18, n.3, p.287-294, 2011.

NAZÁRIO, A. A. et al. Crescimento do cafeeiro conilon irrigado com água salina. **Engenharia Ambiental**, Espírito Santo do Pinhal, v. 7, n. 5, p. 178-195, 2010.

OLIVEIRA, J. R.; XAVIER, F. B.; DUARTE, N. F. Húmus de minhoca associado a composto orgânico para a produção de mudas de tomate. **Revista Agrogeoambiental**, Pouso Alegre, v. 5, n. 2, p.79-86, 2013. Caderno 2.

RIBEIRO, M. S.et al. Efeito de águas residuárias de café no crescimento vegetativo de cafeeiros em seu primeiro ano. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.29, n.4, p.569-577, 2009.

SANTINATO, F. et al. Doses of phosphorus associated with nitrogen on development of coffee seedlings. **Coffee Science**, Lavras, v. 9, n. 3, p. 419-426, 2014.

SANTOS, H. G. et al. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3.ed. rev. e ampl. Brasília, DF: EMBRAPA, 2013.

SANTOS, M.R.et al. Produção de mudas de pimentão em substratos à base de vermicomposto. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 26, n. 4, p. 572-578, 2010.

SISTEMA para análises estatísticas. Versão 9.1. Viçosa, MG: Fundação Arthur Bernardes, 2007.

VALLONE,H. S. et al. Diferentes recipientes e substratos na produção de mudas de cafeeiro. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.34, n.1, p.55-60, jan./fev. 2010.

LIMITAÇÕES FOTOSSINTÉTICAS EM FOLHAS DE CAFEEIRO ARÁBICA PROMOVIDAS PELO DÉFICIT HÍDRÍCO

Anelisa de Figueiredo Peloso[1], Sandro Dan Tatagiba[2], Edvaldo Fialho dos Reis[3], José Eduardo Macedo Pezzopane[4], José Francisco Teixeira do Amaral[5]

(Recebido: 24 de setembro de 2016; aceito: 18 de novembro de 2016)

RESUMO: Objetivou-se com este estudo, investigar as limitações fotossintéticas em folhas de café arábica, 'Catuaí Vermelho' (IAC 144), submetido ao déficit hídrico, utilizando para isso, os parâmetros de trocas gasosas da fotossíntese [assimilação líquida de CO_2 (A), condutância estomática (g_s), taxa de transpiração (E) e concentração interna de CO_2 (C_i)], os parâmetros de fluorescência da clorofila *a* {fluorescência mínima (F_0), fluorescência máxima (F_m), eficiência quântica máxima do fotossistema II (F_v/F_m), rendimento da fotoquímica [Y(II)], rendimento da dissipação de energia regulada [Y(NPQ)] e o rendimento das perdas de dissipação não regulada [Y(NO)]}, bem como as concentrações de pigmentos cloroplastídicos e o extravasamento de eletrólitos (*EE*) em folhas de plantas cultivadas a 30, 60 e 100% de água disponível (AD) no substrato. De acordo com os resultados obtidos foi verificado que o déficit hídrico afetou negativamente a fotossíntese das plantas, seja através da menor eficiência de utilização de energia pelo aparato fotoquímico, quanto por decréscimos significativos obtidos em g_s, os quais, estiveram associados à diminuição nos valores de A. Redução em Y(II) e aumentos em Y(NPQ) e Y(NO) foram associados ao déficit hídrico, sugerindo que houve diminuição na taxa de transporte de elétrons, levando a um menor aproveitamento da energia luminosa para a fotoquímica. Curiosamente, os valores de F_0, F_m e F_v/F_m não estiveram associados com a perda de função fotoquímica, de clorofilas e ao dano celular provocado pela intensificação do déficit hídrico.

Termos para a indexação: *Coffea arabica*, fluorescência da clorofila *a*, trocas gasosas, pigmentos fotossintéticos, estresse hídrico.

PHOTOSYNTHETIC LIMITATIONS IN LEAVES OF ARABIC COFFEE PROMOTED BY THE WATER DEFICIT

ABSTRACT: *The objective of this study was to investigate the photosynthetic limitations in leaves of Coffea arabica, Catuaí Vermelho (IAC 144), subjected to water deficit, using this, the parameters of gas exchange photosynthesis [net CO_2 assimilation rate(A), stomatal conductance (g_s), transpiration rate (E) and internal CO_2 concentration (C_i)], the chlorophyll fluorescence a parameters {minimal fluorescence (F_0), maximum fluorescence (F_m), maximum quantum efficiency of photosystem II (F_v/F_m), yield of photochemical [Y(II)], yield of regulated energy dissipation [Y(NPQ)] and yield of non-regulated dissipation losses [Y(NO)]} as well as on the concentrations of chloroplastidic pigments and the electrolyte leakage (EE) in leaves plants grown at 30, 60 and 100% of water available (WA) on the substrate. According to the results it was found that the water deficit affected photosynthesis of plants, either through lower efficiency of energy use by the photochemical apparatus, and by significant decreases obtained in g_s, which were associated with the decrease in the amounts of A. Reduction in Y(II) and increases in Y(NPQ) and Y(NO) have been associated with water deficit, suggesting that there was a decrease in the electron transport rate, leading to less use of light energy for photochemical. Interestingly, the F_0 values F_m and F_v/F_m were not associated with the loss of photochemical function, chlorophylls and cell damage caused by the intensification of the water deficit.*

Index terms: *Coffea arabica, fluorescence of chlorophyll a, gas exchange, photosynthetic. pigments, water stress.*

1 INTRODUÇÃO

No Brasil, o café (*Coffea arabica* L.) é uma cultura de reconhecida importância econômica e social, devido sua representatividade no volume de produção, consumo interno, pela sua participação na pauta de exportação e na capacidade de geração de emprego e de renda (SAKIWAMA et al., 2015). Na safra 2015/2016, a produção brasileira foi estimada em 43,20 milhões de sacas beneficiadas, representando 30,13% da produção mundial (INTERNATIONAL COFFEE ORGANIZATION - ICO, 2016). Desse montante, o café arábica representa em média 76,8% da produção total do café produzido no país (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB, 2016).

Apesar de toda importância do café arábica, a produção tem sido afetada pelas condições climáticas, principalmente devido à ocorrência de períodos cada vez mais prolongados de seca, como consequência do fenômeno do aquecimento global (DAMATTA et al., 2010). Dentre todos os fatores abióticos, o déficit hídrico é o principal fator do ambiente que limita o crescimento e a produtividade das culturas agrícolas (CHAVES; FLEXAS; PINHEIRO, 2009). Na cultura do

[1,3,4,5]Universidade Federal do Espírito Santo/UFES - Campus Alegre - Alto Universitário, s/n - Guararema - 29.500-000 - Alegre - ES - anelisapeloso@hotmail.com, edreis@cca.ufes.br, pezzopane2007@yahoo.com.br, jftamaral@yahoo.com.br
[2]Instituto Federal do Pará - Campus Itaituba/ IFPA - Estrada Jacarezinho, s/n - Maria Magdalena - 68.180-000 - Itaituba - PA - sandrodantatagiba@yahoo.com.br

café, por exemplo, em períodos de muita seca, a produtividade pode ser reduzida em até 80%, caso não seja adotada a irrigação (DAMATTA; RAMALHO, 2006).

Assim, a capacidade de adaptação e aclimatação à baixa disponibilidade de água no solo, reveste-se de grande importância para o crescimento e a produtividade das culturas (GALLÉ; FELLER, 2007). Uma resposta marcante de plantas submetidas à deficiência hídrica é a redução das taxas transpiratórias. Esse processo envolve o fechamento estomático, com consequente redução da condutância estomática (g_s), que contribui para o aumento ou para a manutenção do potencial hídrico dentro de limites que permitam a manutenção do crescimento vegetal (CAVATTE et al., 2012). No entanto, a redução de g_s leva a um menor influxo de CO_2 para o interior dos cloroplastos (TATAGIBA; PEZZOPANE; REIS, 2015), causando reduções nas taxas fotossintéticas e, em última análise, contribuindo para um menor acúmulo de biomassa pela planta. De fato, reduções em g_s têm sido consideradas como os principais fatores limitantes do processo fotossintético nos estádios iniciais de deficiência hídrica (GALLÉ et al., 2011). Sob condições mais severas de déficit hídrico, reduções nas taxas fotossintéticas podem ocorrer devido à inibição de processos metabólicos específicos como, por exemplo, a fotofosforilação, a capacidade de regeneração da ribulose - 1,5 - bisfosfato (RuBP) e redução de atividade da ribulose 1,5 bifosfato carboxilase oxigenase (Rubisco) e de outras enzimas envolvidas no ciclo de Calvin (TAIZ; ZEIGER, 2013).

A exposição ao déficit hídrico geralmente leva a um desbalanço entre a absorção e a utilização da energia luminosa nos cloroplastos. Tal desbalanço pode causar um expressivo aumento na produção de espécies reativas de oxigênio, as quais estão associadas a diversos danos celulares, tais como a oxidação de lipídeos, proteínas e ácidos nucléicos, o quê, em última instância, pode causar a morte do tecido vegetal (TAIZ; ZEIGER, 2013).

Os métodos não-invasivos para avaliar a fotossíntese, tais como, a fluorescência da clorofila *a*, quando combinados com medições de trocas gasosas, podem fornecer uma análise detalhada de como a planta responde a mudanças no ambiente (ROLFE; SCHOLES, 2010). Na verdade, a técnica de fluorescência clorofila *a* tem sido utilizado com sucesso numa variedade de estudos para avaliar as interações entre as plantas e estresses abióticos (ROLFE; SCHOLES, 2010; ROUSSEAU et al., 2013). Esta técnica fornece parâmetros únicos associados com a fotossíntese nas folhas que mapeiam o aparato fotoquímico (KRAUSE; WEIS, 1991; ROLFE; SCHOLES, 2010; ROUSSEAU et al., 2013), permitido um avanço no conhecimento dos processos fotoquímicos que ocorrem na membrana dos tilacóides dos cloroplastos, além de possibilitar o estudo de características relacionadas à capacidade de absorção e transferência da energia luminosa na cadeia de transporte de elétrons (ROUSSEAU et al., 2013). Entre os vários parâmetros de fluorescência de clorofila *a* que podem ser avaliados, a eficiência máxima na qual a luz é absorvida pelo fotossistema (FS) II, é frequentemente representada pela eficiência quântica máxima da fotoquímica (F_v/F_m), o qual, tem sido amplamente utilizado para comparar tecidos foliares em condições de estresse (ROLFE; SCHOLES, 2010; ROUSSEAU et al., 2013). Esta proporção é próxima ou ligeiramente acima de 0,8 em tecido foliar maduro e livre de estresse, porém, é progressivamente reduzido à medida que danos nos centros de reação FS II são acentuados (KRAUSE; WEIS, 1991).

A energia absorvida pelos centros de reação do FS II na fotossíntese pode ser analisada ainda pela fração de energia usada na fotoquímica [Y(II)] e a perdida na não-fotoquímica, a qual pode ser separada em duas concorrentes: o rendimento induzido pelo processo de dissipação térmica regulada [Y(NPQ)] e o rendimento da dissipação não regulada [Y(NO)], a que se refere a perda de energia na forma constitutiva nas antenas do FS II e via fluorescência. Normalmente, o estresse provocado por algum fator ambiental na planta, como por exemplo, o déficit hídrico, pode levar a uma redução inicial em Y(II), um aumento em Y(NPQ) e um declínio em F_v/F_m, ligado a perda de funcionalidade do aparato fotossintético (KRAUSE; WEIS, 1991; ROLFE; SCHOLES, 2010). Todos estes parâmetros podem rapidamente diminuir à medida que é intensificado o déficit hídrico, levando a danos as estruturas dos cloroplastos e a limitações bioquímicas na fotossíntese.

Dessa forma, o objetivo com este estudo foi investigar as limitações fotossintéticas em folhas de cafeeiro arábica, 'Catuaí Vermelho' (IAC 144), submetidos a diferentes déficits hídricos e compará-los com as plantas mantidas com água no substrato próximo a capacidade de campo, utilizando para tal finalidade, as análises de trocas gasosas, os parâmetros fornecidos pela fluorescência da clorofila *a*, as concentrações de pigmentos fotossintéticos e o extravasamento de eletrólitos.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Local, material experimental e substrato

O experimento foi realizado em casa de vegetação climatizada, na área experimental do Núcleo de Estudos e Difusão de Tecnologia em Florestas, Recursos Hídricos e Agricultura Sustentável (NEDTEC), do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo (CCA-UFES), localizado no município de Jerônimo Monteiro, situado na latitude 20°47'25" S, longitude 41°23'48" W e altitude de 120 m.

As sementes para a produção das mudas foram obtidas da cultivar de café arábica (*C. arabica*), "Catuaí Vermelho", IAC 144, provenientes do Instituto Capixaba de Pesquisa e Extensão Rural - INCAPER, Venda Nova do Imigrante - ES. As mudas foram formadas em sacos de polietileno perfurados, de cor preta, com as dimensões usuais para mudas de café (0,15 x 0,25 m). Depois de encanteirados, foram semeadas duas sementes por saco plástico. As sementes foram cobertas por substrato, a fim de manter a umidade durante a germinação. Após a germinação das sementes, foi deixada apenas uma plântula por saco plástico. Durante os 20 primeiros dias de desenvolvimento, as mudas foram mantidas em canteiros dentro de viveiro, apresentando 50% de sombreamento. Posteriormente, foram selecionadas quanto à uniformidade e transplantadas para vasos com capacidade de 14 dm^3. Os vasos apresentavam furos circulares de 1 cm de diâmetro na parte inferior, permitindo aeração das raízes e escoamento do excesso de água. Durante todo o período experimental as mudas ficaram suspensas em bancadas com aproximadamente 1 m de altura, com dimensões de 2 m de comprimento e 1,20 m de largura.

Após o transplante para os vasos, as mudas cresceram em casa de vegetação, com teor de umidade do substrato próximo à capacidade de campo (CC) (BERNARDO; SOARES; MONTOVANI, 2006) por 130 dias, quando, então, foram iniciados os tratamentos diferenciados de disponibilidade hídrica de 30, 60 e 100% de água disponível (AD), permanecendo por 100 dias, totalizando 230 dias de experimentação.

O substrato utilizado para o enchimento dos vasos foi constituído de solo extraído à profundidade de 40 a 80 cm, de um Latossolo Vermelho-Amarelo (70%), areia lavada (20%) e esterco bovino curtido (10%), destorroado e passado em peneira de 2,0 mm para obtenção da terra fina seca ao ar. Foi realizada análise granulométrica do substrato (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA, 1997), obtendo-se a classificação textural argilo-arenoso (Tabela 1).

A necessidade da aplicação de corretivos e adubos químicos foi feita com base na análise química do substrato (Tabela 2). No plantio não foi necessário fazer adubação e correção da acidez do solo. Durante o período experimental foram realizadas quatro adubações de cobertura em intervalos de 45 dias, até o final do experimento, conforme preconizado por Prezotti et al. (2007).

As adubações foram realizadas de modo a fornecer 1,20 mg de nitrogênio e 1,25 mg de potássio para cada vaso, aplicados na forma de uréia e cloreto de potássio. Os adubos foram diluídos em frasco contendo 100 mL de água.

Também foi utilizado o fertilizante osmocote de formulação (15-10-10), parcelado em cobertura. As adubações foram realizadas de modo a fornecer 0,10 kg do adubo para cada vaso.

TABELA 1 - Análise granulométrica das proporções existentes de cada fração no solo.

Areia grossa (0,201mm)	Areia Fina (0,053mm)	Areia Total	Argila (<0,002mm)	Silte
(g/kg)	(g/kg)	(g/kg)	(g/kg)	(g/kg)
334	196	530	440	30

TABELA 2 - Análise química do substrato.

pH	P	K	Na	Ca	Mg	Al	H+Al	C	M.O
H_2O	---------(mg dm^{-3})--------			----------($cmol_c$ dm^{-3})----------				------(g kg^{-1})------	
7,3	35	100	2	2,8	1,2	0,0	0,0	3,1	5,3

2.2 Lâmina de irrigação e água disponível

Para determinação da lâmina de água, amostras do substrato deformadas e previamente peneiradas, foram saturadas por 12 horas (EMBRAPA, 1997) e levadas à câmara de pressão de Richards com placa porosa para estabilização, adotando-se um tempo de três dias e posterior determinação da umidade gravimétrica (U), correspondente às tensões de 0,010 MPa para capacidade de campo e 1,5 MPa para o ponto de murcha permanente. A umidade volumétrica (θ) para cada uma das tensões foi obtida pelo produto da umidade gravimétrica pela densidade do solo (θ = U . Ds). Os valores médios, resultantes de três repetições para densidade do solo, umidade gravimétrica na capacidade campo e no ponto de murcha permanente para o cálculo dos níveis de água, foram 1,04 g cm^{-3}; 23,9 e 14,5%, respectivamente.

A água disponível (AD) encontrada foi de 9,4%, calculada observando-se os valores de umidade volumétrica obtida para a capacidade de campo (CC) em 23,9% determinada na tensão de 0,010 MPa e para o ponto de murcha permanente (PMP) em 14,5 % na tensão de 1,5 MPa, utilizando-se a seguinte expressão: AD = CC – PMP (CENTURION; ANDREOLI, 2000). Os valores médios de umidade volumétrica e da tensão utilizados foram ajustados pelo modelo matemático proposto por Vangenuchten (1980), através do software Soil Retention Curves (SWRC), versão 2.0.

Para o estabelecimento da disponibilidade hídrica, foram utilizadas três lâminas de água, definidas a partir da água total disponível, com valores de 30, 60 e 100% (EMBRAPA, 1997). O controle da irrigação foi realizado pelo método gravimétrico (pesagem diária dos vasos), adicionando-se água até que a massa do vaso atingisse o valor prévio determinado em cada lâmina, considerando-se a massa do solo e de água (DARDENGO; REIS; PASSOS, 2010). Ajustes nos pesos dos vasos foram realizados em intervalos de 40 dias, até o final do experimento, considerando a massa fresca total obtida pelas plantas durante o crescimento.

2.3 Obtenção dos dados microclimáticos

Para obtenção dos dados microclimáticos, foi instalada uma estação meteorológica automática no interior de cada casa de vegetação climatizada. Nas estações estavam acoplados sensores de temperatura e umidade relativa do ar modelo CS500 (Vaisala, Estados Unidos da América). Os dados foram coletados e armazenados por um "datalogger", modelo CR10x (Campbell Scientific, Estados Unidos da América). O tempo de leitura foi de dez segundos, e os dados médios foram armazenados a cada 15 minutos. Durante o período experimental a temperatura média foi de 23°C e a umidade relativa média do ar registrada foi de 85%.

2.4 Determinação do teor relativo de água (*TRA*)

Aos 230 dias de experimentação, a quantificação do *TRA* foi realizada conforme metodologia descrita por Maia et al. (2007), com algumas modificações. Foram coletadas amostras de 7 cm^2 de tecidos foliares maduros retiradas a partir da parte externa do terço superior das plantas de cada repetição por tratamento e imediatamente pesadas para obtenção da massa fresca (P1). Posteriormente, foram colocadas para hidratar no escuro por 12 h obtendo o peso da massa túrgida (P2). Para obtenção do peso da massa seca (P3) as amostras foram colocadas em estufa de ventilação forçada de ar à 75 ºC por 48 h. O *TRA* foi calculado pela seguinte fórmula:

$$TRA = [(P1-P3)/(P2-P3)]x100$$

As amostras foram coletadas no horário compreendido entre 5:00 h a 5:30 h (antemanhã), momento em que as folhas apresentavam máxima turgidez e menores perdas por transpiração.

2.5 Determinação do extravazamento de eletrólitos (*EE*)

Aos 230 dias de experimentação, a quantificação da concentração de eletrólitos extravasados foi realizada conforme metodologia descrita Resende et al. (2012), com algumas modificações. Foram coletadas amostras de 7 cm^2 de tecido foliar maduro a partir da parte externa do terço superior das plantas de cada repetição por tratamento. As amostras obtidas foram lavadas por duas vezes em água deionizada imediatamente após o corte. Em seguida, foram incubados em 60 mL de água deionizada a 25ºC. Após quatro horas, foi realizada a primeira leitura da condutividade elétrica (CE1) em condutivímetro (Tecnoponm CA-150 - MS Tecnopon Instrumentação Científica). Logo em seguida, foram incubadas a 90ºC, por duas horas, sendo, então, determinada a condutividade elétrica novamente (CE2). O valor do extravasamento de eletrólitos foi obtido

pela porcentagem de eletrólitos extravasados em relação aos eletrólitos totais conforme a seguinte fórmula:

$$EE(\%) = \left(\frac{CE1}{CE2}\right) \times 100$$

2.6 Determinação da concentração dos pigmentos fotossintéticos

Aos 230 dias de experimentação foram coletadas amostras de tecidos foliares maduros retiradas a partir da parte externa do terço superior das plantas de cada repetição por tratamento para a determinação da concentração dos pigmentos fotossintéticos. As amostras foram mantidas em nitrogênio líquido durante a coleta e, em seguida, armazenadas a -80 °C até posterior análise. A clorofila *a*, clorofila *b* e carotenoides foram extraídos em acetona a 80% e suas concentrações foram estimadas conforme Lichtenthaler (1987). Todo o procedimento foi realizado em ambiente fechado sob luz verde.

2.7 Avaliação das trocas gasosas e da fluorescência da clorofila *a*

Faltando 15 dias para o término do experimento foi realizada a avaliação dos parâmetros de trocas gasosas usando um sistema portátil de gases a infravermelho de fluxo aberto (LI-6400XT, LI-COR, Lincoln, NE, EUA). A assimilação líquida de carbono (A), a condutância estomática ao vapor de água (g_s), a taxa transpiratória (E) e a concentração interna de CO_2 (C_i) foram avaliadas em folhas totalmente expandidas do terço superior das plantas de cada repetição por tratamento em dois dias consecutivos. As medidas foram realizadas das 09:00 às 10:30 horas, momento em que A encontrava em seu máximo valor, sob radiação fotossinteticamente ativa artificial de 1.000 µmol de fótons m^{-2} s^{-1} no nível folha e 400 µmol de CO_2 mol^{-1} de ar. Todas as medições foram realizadas a 25 °C e o déficit de pressão de vapor foi mantido a aproximadamente 1,0 kPa.

Na antemanhã, foi obtida a fluorescência mínima (F_0) via excitação dos tecidos foliares por luz vermelha modulada de baixa intensidade (0,03 µmol fótons m^{-2} s^{-1}), quando todos os centros de reação do FS II estavam "abertos". A fluorescência máxima (F_m) foi obtida pela aplicação de um pulso de 0,8 s de luz actínica saturante (2400 µmol fótons m^{-2} s^{-1}), quando todos os centros de reação do FS II foram "fechados". A partir destas medições iniciais, a eficiência máxima na qual a luz é absorvida pelo FS II foi estimada através da eficiência quântica máxima da fotoquímica pela determinação da razão: $F_v/F_m = [(F_m - F_0)/F_m]$. Os tecidos foliares foram subsequentemente expostos a irradiação actínica (530 µmol m^{-2} s^{-1}) por 120 s para obter o rendimento de fluorescência no estado estacionário (F_s). Após um pulso de luz branca saturante (2400 µmol m^{-2} s^{-1}; 0,8 s) foi aplicada para atingir a máxima fluorescência adaptada a luz (F_m'). A fluorescência inicial adaptada a luz (F_0') foi estimada de acordo com Oxborough (2004). Seguindo os cálculos formulados por Kramer et al. (2004), foram determinadas a energia absorvida pelo FS II para os três componentes de dissipação do rendimento quântico a seguir: o rendimento da fotoquímica [$Y(II) = (F_m' - F_s)/F_m'$)], o rendimento induzido pelo processo de dissipação regulada [$Y(NPQ) = (F_s/F_m') - (F_s/F_m)$] e o rendimento de dissipação não regulada de energia [$Y(NO) = F_s/F_m$] (KRAUSE; WEIS, 1991).

As avaliações dos parâmetros de fluorescência de clorofila *a* foram realizadas nas mesmas folhas e intervalos de dias em que foram avaliadas as trocas gasosas.

2.8 Delineamento experimental e análise estatística dos dados

O experimento foi montado num delineamento inteiramente casualizado, utilizando três tratamentos de disponibilidades hídricas (30, 60 e 100% da AD), com seis repetições. A parcela para as avaliações foi constituída de uma planta por vaso. Os dados experimentais foram submetidos à análise de variância, e quando significativas, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ($P \leq 0.05$) utilizando o software SISVAR®, versão 5.1.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O *TRA* foi significativamente reduzido à medida que diminuía a água disponível no substrato (Figura 1a). As plantas sob 30 e 60% de AD apresentaram reduções significativas no *TRA* de 68 e 24%, respectivamente, quando comparadas com as plantas mantidas a 100% de AD. O *TRA* é uma boa referência das condições hídricas da planta, particularmente durante períodos de seca e no presente trabalho observa-se que a imposição do déficit hídrico causou redução no *TRA* das plantas, indicando que a condição imposta afetou o conteúdo de água nas folhas. A redução do *TRA*

nos tecidos foliares à medida que se intensifica o déficit hídrico, sugere que a planta passou por uma desidratação do protoplasma, podendo ter prejudicado os processos vitais de crescimento celular. De fato, observou-se que a redução na disponibilidade hídrica promoveu prejuízos as membranas celulares. O aumento significativo do EE encontrado nas plantas sob 30% de AD quando comparadas com as plantas mantidas a 60 e 100% de AD é um indicativo de danos às membranas (Figura 1b). Resultados similares foram encontrados por Lima et al. (2002), onde o estresse promovido pelo déficit hídrico aumentou significativamente o EE em folhas de clones de C. canephora Pierre ex A. Froehner. Tal fato pode resultar no aumento da fluidez das membranas, o que pode levar a uma fuga de eletrólitos dos compartimentos celulares, tal como sugerido por Langaro (2014). Dessa forma, percebe-se claramente, que o déficit hídrico aplicado foi suficiente para causar danos celulares, indicando que a cultivar utilizada no presente estudo é sensível ao déficit hídrico de maior intensidade (30% de AD).

Decréscimos significativos na ordem de 16 e 10% para a concentração de clorofila *a* + *b* foram encontrados nas plantas sob 30 e 60% de AD, respectivamente, quando comparadas com as plantas mantidas na capacidade de campo (100% da AD) (Figura 2a), evidenciando que o déficit hídrico contribuiu de forma decisiva para diminuir a concentração das clorofilas.

Araújo (2008) ressalta que é necessária uma diminuição no teor de água na folha suficientemente grande para promover a degradação das clorofilas. DaMatta, Maestri e Barros (1997) estudando o efeito do estresse hídrico em plantas de *C. arabica*, cultivar 'Catuaí Vermelho' não encontraram diferenças significativas na concentração da clorofila *a* + *b*, apesar de ser uma cultivar sensível à seca. Provavelmente, o tempo de exposição ao déficit hídrico severo (potencial hídrico foliar de -2,7 MPa) de 9 dias, imposto por DaMatta, Maestri e Barros (1997) não foi suficiente para promover alterações no conteúdo das clorofilas. Da mesma maneira como aconteceu para a concentração de clorofila *a* + *b*, a razão clorofila *a*/*b* foi significativamente reduzida à medida que diminuía o conteúdo de água disponível no substrato (Figura 2b). Resultados semelhantes, foram encontrados por DaMatta, Maestri e Barros (1997) em *C. canephora* submetido ao déficit hídrico, onde o conteúdo de clorofila *b* foi significativamente aumentado em 37% quando comparado com as plantas mantidas hidratadas, levando assim, à redução na razão de clorofila *a*/*b*. Valores ótimos para a razão clorofila *a*/*b* estão próximos de 3 (TAIZ; ZEIGER, 2013). Fica evidente, dessa forma, que tanto a concentração de clorofila *a* + *b* quanto sua razão, foram negativamente afetadas pelo déficit hídrico.

Diferentemente das clorofilas, os carotenóides não apresentaram diferenças significativas à medida que intensificou o déficit hídrico (Figura 2c). Cavatte et al. (2012) estudando o efeito do déficit hídrico sobre o crescimento e a fisiologia de *C. arabica*, também não encontraram diferenças significativas na concentração de carotenóides.

A fotossíntese é um dos principais drenos de elétrons nos cloroplastos e reduções nesse processo em condições de déficit hídrico podem gerar um quadro potencialmente danoso ao metabolismo celular (TAIZ; ZEIGER, 2013). Nessas situações, as plantas tendem a absorver uma quantidade de energia maior do que são capazes de utilizar, gerando, assim, um desbalanço energético que é um dos principais responsáveis pelo aumento de produção de espécies reativas de oxigênio podendo levar a danos celulares (TATAGIBA et al., 2016). Contudo, o déficit hídrico não foi suficiente para causar alterações nos valores de F_0, F_m e principalmente em F_v/F_m (Figuras 3 a, b e c), este último parâmetro, um indicativo de que as plantas de *C arabica* expostas à seca podem não ter sofrido fotoinibição, mantendo a integridade da proteína D1 do FS II (TAIZ; ZEIGER, 2013). Estudos anteriores relatam uma alta estabilidade da eficiência fotoquímica do FS II ao déficit hídrico em *C. canephora* (DAMATTA; MAESTRI; BARROS, 1997) e *C. arabica* (CAVATTE et al., 2012).

Ao contrário dos resultados encontrados para a eficiência fotoquímica do FS II (F_v/F_m), os rendimentos fotoquímicos [Y(II)] e não fotoquímicos [Y(NPQ) e Y(NO)] apresentaram alterações com a intensificação do déficit hídrico. Decréscimo significativo de 63% em Y(II) foi encontrado nas plantas mantidas sob déficit hídrico severo (30% de AD) quando comparadas com as plantas mantidas na capacidade de campo (100% de AD) (Figura 3d), evidenciando que uma menor quantidade de energia de excitação foi dissipada para a síntese de ATP (adenosina trifosfato) e NADPH (Nicotinamida adenina dinucleotídeo fosfato) nos cloroplastos (TAIZ; ZEIGER, 2013).

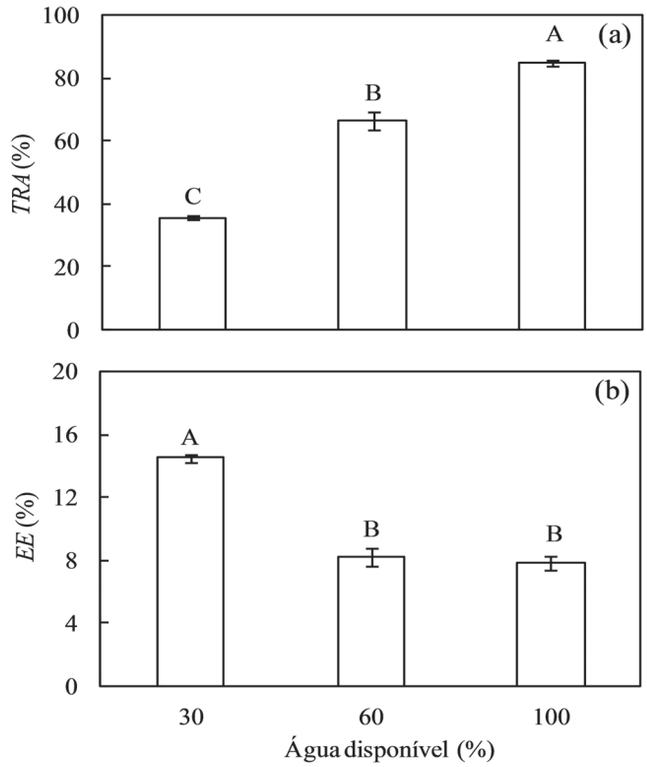


FIGURA 1 - Teor relativo de água (*TRA*) (a) e extravazamento de eletrótitos (*EE*) (b) em folhas de *Coffea arabica,* sob diferentes disponibilidades hídricas no substrato. Médias seguidas de mesma letra nas colunas, não diferenciam entre si a 5% de probabilidade pelo teste Tukey. Barras em cada ponto dos gráficos representam o erro padrão da média.

Esta constatação, juntamente com as menores concentrações de clorofilas nas plantas sob déficit hídrico, indica uma menor absorção e uso da luz, o que pode ter diminuído a taxa de transporte de elétrons através dos fotossistemas (KRAUSE; WEIS, 1991). Por sua vez, aumentos significativos de 9 e 10% em Y(NPQ) foram encontrados nas plantas sob 30% de AD em relação às plantas mantidas em 60 e 100% de AD (Figura 3e), respectivamente, sugerindo que uma maior quantidade energia de excitação foi dissipada na forma de calor, indicando, portanto, que o déficit hídrico severo, favoreceu a dissipação de energia não fotoquímica em contrapartida da dissipação de energia fotoquímica, promovendo assim efeitos negativos na fotossíntese. Em adição, o aumento significativo de 15% em Y(NO) verificado no tratamento de 30% de AD em comparação com as plantas mantidas na capacidade de campo (100% de AD) (Figura 3f), evidencia que o déficit hídrico contribuiu de forma efetiva para aumentar a dissipação de energia na forma não regulada, representando a energia perdida de forma constitutiva nas antenas do FS II e pela fluorescência, favorecendo ainda mais a dissipação da energia para os eventos não fotoquímicos. Entretanto, em condições de déficit hídrico, fica claro, que a energia de excitação foi direcionada para ambos os eventos, fotoquímico e não fotoquímico, de uma forma eficiente. Coletivamente, estas respostas são consistentes com uma menor utilização da energia de excitação fotoquímica para conduzir menores taxas *A* nas folhas das plantas sob déficit hídrico.

Pode-se constatar que além da menor utilização de energia fotoquímica nas folhas das plantas sob déficit hídrico, decréscimos significativos em g_s também estiveram associados aos menores valores de *A* (Figuras 4a e 4b). O fechamento estomático é o principal mecanismo de controle das trocas gasosas nas plantas superiores terrestres em condições de déficit hídrico (DAMATTA; RAMALHO, 2006; TATAGIBA et al., 2009). O funcionamento dos estômatos constitui um comprometimento fisiológico, pois, quando abertos, permitem a assimilação de CO_2 e a perda de H_2O. Fechando-se, reduz a entrada de CO_2 para os sítios de carboxilação da rubisco

no interior dos cloroplastos e conservam H_2O, reduzindo o risco de desidratação (TATAGIBA; PEZZOPANE; REIS, 2015).

Observa-se ainda que à medida que foi intensificado o déficit hídrico os valores de *E* foram significativamente reduzidos (Figura 4c). Segundo Ronchi et al. (2015), à medida que a disponibilidade de água no solo diminui, os valores de *E* decrescem, como resultado do fechamento dos estômatos. Esse é um dos importantes mecanismos de defesa que as plantas apresentam contra as perdas exageradas de água e eventual morte por dessecação (TAIZ; ZEIGER, 2013).

Em última análise, é importante notar, que as plantas sob déficit hídrico mostraram decréscimos em *A* e g_s, sem alterações de F_v/F_m, os quais estiveram associados a aumentos significativos em C_i (Figura 4d), sugerindo indicar que a fotossíntese foi principalmente limitada por fatores bioquímicos. Embora faltassem dados para mensurar a concentração CO_2 nos cloroplastos [o que seria de extrema importância para provar limitações bioquímicas (GALMÉS et al., 2011)], pode-se esperar que a limitação bioquímica esteja ligado à rubisco.

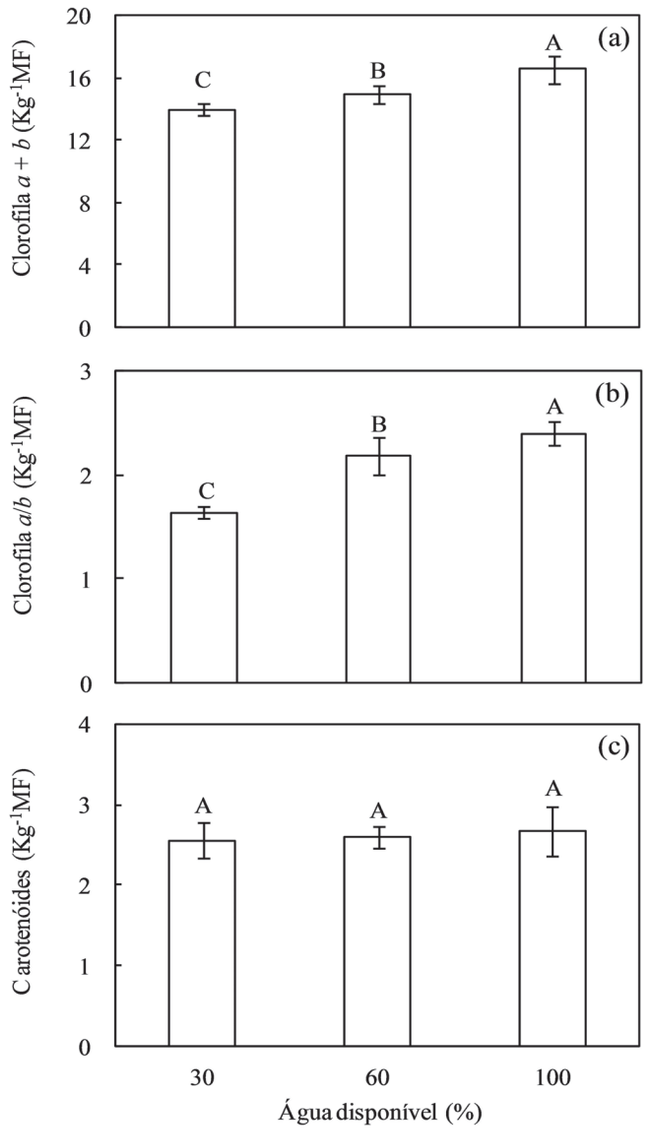


FIGURA 2 - Clorofila *a* + *b* (a), razão clorofila *a*/*b* (b) e carotenóides (c) em folhas de *Coffea arabica,* sob diferentes disponibilidades hídricas no substrato. Médias seguidas de mesma letra nas colunas, não diferenciam entre si a 5% de probabilidade pelo teste Tukey. Barras em cada ponto dos gráficos representam o erro padrão da média.

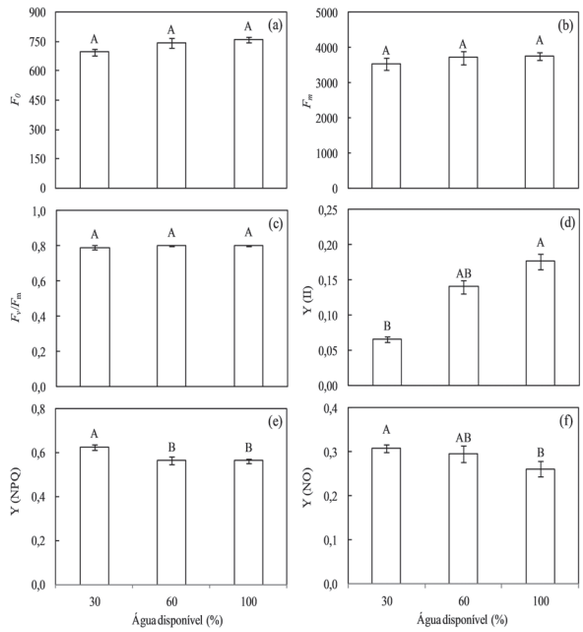


FIGURA 3 - Fluorescência mínima (F_0) (a), fluorescência máxima (F_m) (b), rendimento quântico máximo do FS II (F_v/F_m) (c), rendimento quântico efetivo do FSII Y(II) (d), rendimento quântico da dissipação regulada Y(NPQ) (e) e rendimento quântico da dissipação não regulada Y(NO) (f) em folhas de *Coffea arabica,,* sob diferentes disponibilidades hídricas no substrato. Médias seguidas de mesma letra nas colunas, não diferenciam entre si a 5% de probabilidade pelo teste Tukey. Barras em cada ponto dos gráficos representam o erro padrão da média.

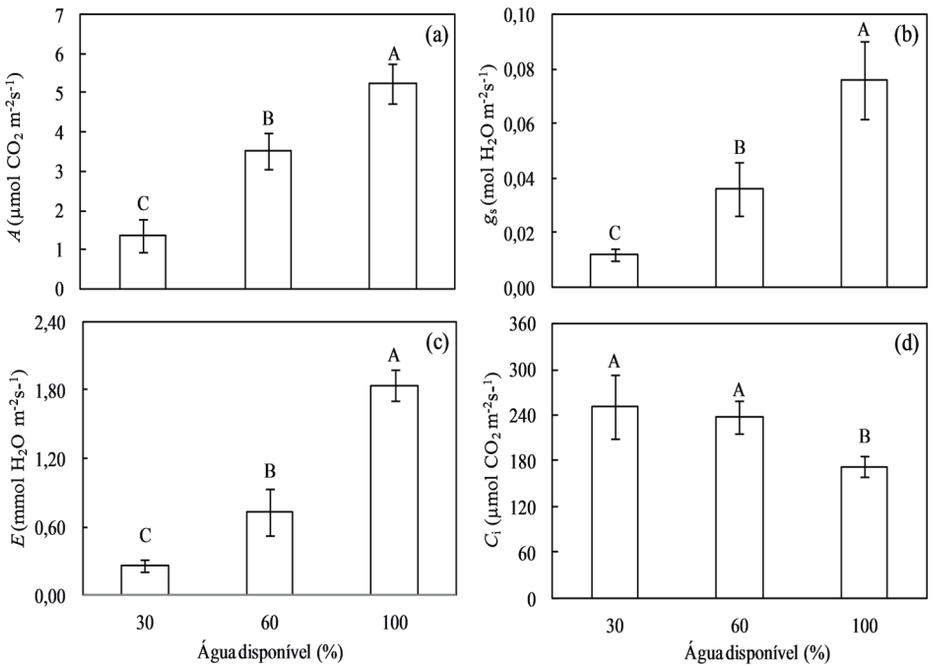


FIGURA 4 - Assimilação líquida de CO_2 (A) (a), condutância estomática (g_s) (b), taxa transpiratória (E) (c) e concentração interna de CO_2 (C_i) (d) em folhas de *Coffea arabica,* sob diferentes disponibilidades hídricas no substrato. Médias seguidas de mesma letra nas colunas, não diferenciam entre si a 5% de probabilidade pelo teste Tukey. Barras em cada ponto dos gráficos representam o erro padrão da média.

4 CONCLUSÕES

As plantas de café arábica, 'Catuaí Vermelho' (IAC 144), cultivadas sob déficit hídrico apresentaram redução em *A*, o qual esteve associado a decréscimos em g_s, a menor utilização de energia fotoquímica [Y(II)] e a aumentos na dissipação de energia na forma de calor [Y(NPQ)] e de fluorescência [Y(NO)], indicando uma diminuição da taxa de transporte de elétrons e do aproveitamento da energia luminosa para a síntese de ATP e NADPH no aparato fotossintético.

5 REFERÊNCIAS

ARAÚJO, W. L. Limitations to photosynthesis in coffee leaves from different canopy positions. **Plant Physiology and Biochemistry**, Paris, v. 46, n. 10, p. 884-890, Oct. 2008.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 8. ed. Viçosa, MG: Ed. UFV, 2006. 625 p.

CAVATTE, P. C. et al. Could shading reduce the negative impacts of drought on coffee?: a morphophysiological analysis. **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, v. 144, n. 2, p. 111-122, Feb. 2012.

CENTURION, J. F.; ANDREOLI, I. Regime hídrico de alguns solos de Jaboticabal. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, n. 4, p. 701-709, out./dez. 2000.

CHAVES, M. M.; FLEXAS, J.; PINHEIRO, C. Photosynthesis under drought and salt stress: regulation mechanisms from whole plant to cell. **Annals of Botany**, Oxford, v. 103, n. 4, p. 551-560, Feb. 2009.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira:** café. Brasília, DF, 2016. 68 p.

DAMATTA, F. M. et al. Impacts of climate changes on crop physiology and food quality. **Food Research International**, Kidlington, v. 43, n. 7, p. 1814-1823, Aug. 2010.

DAMATTA, F. M.; MAESTRI, M.; BARROS, R. S. Photosynthetic performance of two coffee species under drougt. **Photosynthetic**, Prague, v. 34, n. 2, p. 257-264, Jan. 1997.

DAMATTA, F. M.; RAMALHO, J. D. C. Impact of drought and temperature stress on coffee physiology and production: a review. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, Londrina, v. 18, n. 1, p. 55-81, Jan./Mar. 2006.

DARDENGO, M. C. J. D.; REIS, E. F.; PASSOS, R. R. Influência da capacidade de campo na taxa de crescimento do cafeeiro conilon. **Ceres**, Viçosa, v. 57, n. 1, p. 33-38, jan./mar. 2010.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA**. Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro, 1997. 212 p.

GALLÉ, A. et al. The Mediterranean evergreen Quercus ilex and the semi deciduous *Cistus albidus* differ in their leaf gas exchange regulation and acclimation to repeated drought and re-watering cycles. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 62, n. 14, p. 1-10, Oct. 2011.

GALLÉ, A.; FELLER, U. Changes of photosynthetic traits in beech saplings (*Fagus sylvatica*) under severe drought stress and during recovery. **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, v. 131, n. 3, p. 412-421, Nov. 2007.

GALMÉS, J. et al. Physiological and morphological adaptations in relation to water use efficiency in Mediterranean accessions of *Solanum lycopersicum*. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 62, n. 2, p. 653-665, Feb. 2011.

INTERNATIONAL COFFEE ORGANIZATION. **Trade statistic tables**. Disponível em: <http://www.ico.org/trade_statistics.asp>. Acesso em: 5 ago. 2016.

KRAMER, D. M. et al. New fluorescence parameters for the determination of QA redox state and excitation enegy fluxes. **Photosynthesis Research**, Dordrecht, v. 79, p. 209-218, 2004.

KRAUSE, G. H.; WEIS, E. Chlorophyll fluorescence and photosynthesis: the basics. **Annual Reviews Plant Physiology.** Plant Molecular Biology, Zurich, v. 42, n. 1, p. 313-349, June 1991.

LANGARO, A. C. 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.

LICHTENTHALER, H. K. Chlorophylls and carotenoids, the pigments of photosynthetic biomembranes. In: DOUCE, R.; PACKER, L. (Ed.). **Methods enzymology**. New York: Academic, 1987. p. 350-832.

LIMA, A. L. S. Photochemical responses and oxidative stress in two clones of *Coffea canephora* under water deficit conditions. **Environmental and Experimental Botany**, Gothenburg, v. 47, n. 3, p. 239-247, May 2002.

MAIA, P. S. P. et al. Conteúdo relativo de água, teor de prolina e carboidratos solúveis totais em folhas de duas cultivares de milho submetidas a estresse hídrico. **Revista Brasileira de Biociências**, Porto Alegre, v. 5, n. 2, p. 918-920, jul, 2007.

OXBOROUGH, K. Using chlorophyll a fluorescence imaging to monitor photosynthetic performance. In: GOVINDJEE, P. G. (Ed.). **Chlorophyll fluorescence:** a signature of photosynthesis. Dordrecht: Springer, 2004. p. 409-428.

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.

RESENDE, R. S. et al. Leaf gas exchange and oxidative stress in *Sorghum* plants supplied with silicon and infected by *Colletotrichum sublineolum*. **Phytopathology**, Saint Paul, v. 102, n. 9, p. 892-898, Sept. 2012.

ROLFE, S. A.; SCHOLES, J. D. Chlorophyll fluorescence imaging of plant-pathogen interactions. **Protoplasma**, Bethesda, v. 247, n. 3/4, p. 163-175, Dec. 2010.

RONCHI, C. P. et al. Respostas ecofisiológicas de cafeeiros submetidos ao déficit hídrico para concentração da florada no Cerrado de Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 50, n. 1, p. 24-32, jan. 2015.

ROUSSEAU, C. et al. High throughput quantitative phenotyping of plant resistance using chlorophyll fluorescence image analysis. **Plant Methods**, Melbourne, v. 9, p. 1-13, June 2013.

SAKIYAMA, N. et al. **Café arábica do plantio a colheita**. Viçosa, MG: Ed. UFV, 2015. 316 p.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2013. 954 p.

TATAGIBA, S. D. et al. Changes in gas exchange and antioxidant metabolism on rice leaves infected by *Monographella albescens*. **Tropical Plant Pathology**, Viçosa, v. 41, n. 1, p. 33-41, fev. 2016.

TATAGIBA, S. D. et al. Desempenho de clones de eucalipto em resposta da disponibilidade de água no substrato. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 17, n. 3, p. 179-189, maio/jun. 2009.

TATAGIBA, S. D.; PEZZOPANE, J. E. M.; REIS, E. F. Fotossíntese em *Eucalyptus* sob diferentes condições edafoclimáticas. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 23, n. 4, p. 336-345, jul./ago. 2015.

VANGENUCHTEN, M. T. A closed-form for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v. 41, n. 5, p. 892-898, Sept. 1980.

DRYING KINETICS OF PROCESSED NATURAL COFFEE WITH HIGH MOISTURE CONTENT

Valdiney Cambuy Siqueira[1], Flávio Meira Borém[2], Guilherme Eurípedes Alves[3], Eder Pedroza Isquierdo[4], Afonso Celso Ferreira Pinto[5], Diego Egídio Ribeiro[6], Fabiana Carmanini Ribeiro[7]

(Recebido: 03 de outubro de 2016; aceito: 12 de dezembro de 2016)

ABSTRACT: The present study proposes a new processing and drying method and evaluates the behavior of grains subjected to this process through the water reduction rate and the adjustment of different mathematical models. Mature beans were divided into three batches. The first batch was continuously dried at 40±1 °C. The second batch consisted of natural coffee dried to moisture contents of 0.56±0.02, 0.41±0.02, 0,28±0.02 and 0.20±0.02 decimal (dry basis, d.b.), followed by processing and continuous drying at 35±1 ºC and 40±1 ºC. For all parcels, the drying process was ended when the coffee beans reached the moisture content level of 0.12±0.05 (d.b.). The third batch corresponded to the continuous drying of hulled and demucilated coffee at 40±1 °C. The experimental data were adjusted to ten mathematical models used to represent the drying of agricultural products. The grain water reduction rate was also evaluated. We concluded that the water reduction rate was highest for the drying temperature of 40±1 °C, especially at higher moisture contents. The total drying time for processed coffee with high moisture content was significantly reduced compared with the total drying time of natural coffee. The Midilli model satisfactorily describes the drying kinetics of processed coffee.

Index terms: Adjustment of models, drying rate, temperature, *Coffea arabica*

CINÉTICA DE SECAGEM DE CAFÉ NATURAL BENEFICIADO COM ALTO TEOR DE ÁGUA

RESUMO: *Objetivou-se, com o presente trabalho, propor um novo método de processamento e secagem, assim como avaliar o comportamento dos grãos submetidos a este processo, por meio da taxa de redução de água e do ajuste de diferentes modelos matemáticos aos dados experimentais da secagem. Os frutos colhidos no estágio maduro foram divididos em três lotes. O primeiro foi seco continuamente à temperatura de 40±1 °C. O segundo consiste na secagem do café natural até os teores de água de 0,56±0,02, 0,41±0,02, 0,28±0,02 e 0,20±0,02 decimal (base seca, b.s.), seguido de beneficiamento e secagem contínua nas temperaturas de 35±1 ºC e 40±1 ºC. O terceiro lote correspondeu à secagem contínua do café descascado e desmucilado na temperatura de 40±1 °C. Em todos os lotes, a secagem foi encerrada quando os grãos atingiram o teor de água de 0,12±0,05 (b.s.). Aos dados experimentais da secagem foram ajustados dez modelos matemáticos utilizados para representação da secagem dos produtos agrícolas. Além da representação da cinética de secagem foi avaliada a taxa de redução de água dos grãos. Conclui-se que a taxa de redução de água é maior para a temperatura de secagem de 40±1 °C, especialmente para maiores teores de água. O tempo total de secagem do café beneficiado com alto teor de água é expressivamente reduzido, quando comparado ao tempo de secagem completa do café natural. O modelo de Midilli descreve satisfatoriamente a cinética de secagem do café beneficiado.*

Termos para indexação: *Ajuste de modelos, taxa de secagem, temperatura, Coffea arabica*

1 INTRODUCTION

The methods involved in the post-harvest stage (processing, drying and storage) are crucial because the maintenance of coffee quality depends on the procedures adopted in these operations.

Freshly harvested coffee has a moisture content of approximately 60% (wet basis, w.b.) and unevenness in maturity, which differs from other grains grown on a large scale. Thus, drying should be started soon after harvest to quickly reduce the high moisture content of the beans and to avoid unwanted fermentation (BORÉM; REINATO; ANDRADE, 2008; RESENDE et al., 2010a; RESENDE; SIQUEIRA; ARCANJO, 2009). However, drying can cause thermal stress and mechanical damage to the product if not performed correctly (BORÉM et al., 2006; MARQUES et al., 2008).

Coffee is one of the few main agricultural crops that is dried in a different form from how it is sold (bean) due to the equipment available

[1]Universidade Federal da Grande Dourados/UFGD - Faculdade de Ciências Agrárias - Cx.P. 533 -79.804-970 - Dourados - MS vcambuy@yahoo.com
[2,3,5,6]Universidade Federal de Lavras/UFLA - Departamento de Engenharia/DEG - Cx. P. 3037 - 37.200-000 - Lavras - MG flavioborem@deg.ufla.br, guiualves@gmail.com, afonsocelso91@hotmail.com, diegoagro10@hotmail.com
[4]Universidade do Estado de Mato Grosso/UNEMAT - Av. São João, S/N - 78.200-000 - Cáceres – MT - eder.isquierdo@yahoo.com.br
[5]Universidade de Brasília/UNB - *Campus* Universitário Darcy Ribeiro, S/N - 70.910-900 - Brasília - DF - fabianacarmanini@yahoo.com.br

on the market that removes the endocarp, which is attached to the bean. Thus, coffee processing is performed only after drying. This process requires a greater energy expenditure because it is necessary to remove the water present in the pericarp (exocarp, mesocarp and endocarp), which becomes a physical barrier for the outlet of water.

Nilnont et al. (2012) studied the effective diffusivity of water in coffee with and without parchment with an initial moisture content of 54.9% w.b. at drying temperatures of 40 °C, 50 °C and 60 °C and observed that the effective water diffusivity increased by approximately 1,000-fold with parchment removal (i.e., the speed with which the water left the bean was much higher). Therefore, coffee drying is accelerated by removal of the endocarp. However, it is very important that the endosperm does not undergo any damage during the removal of the outer layers of the fruit. It is also necessary to establish the drying temperature because the technical recommendations are restricted to only fruits and coffee in parchment.

The possibility of drying coffee beans can be considered a technological innovation and therefore requires further development. The adjustment of mathematical models for the drying of agricultural products allows predictions of their behavior during the water removal process and thus reduces the time and costs of the actual drying work to allow the development of equipment for this step (CORRÊA et al., 2007; MARTINAZZO et al., 2007; RESENDE et al., 2010b; SIQUEIRA; RESENDE; CHAVES, 2013).

Given the importance of drying for the maintenance of coffee quality and the absence of scientific papers describing the coffee bean drying process, the present study was performed to evaluate the drying kinetics of coffee beans after the processing of fruits with different moisture contents and to determine the water reduction rates of the grains at both drying temperatures (35±1 and 40±1 °C).

2 MATERIALS AND METHODS

Ripe coffee beans (*Coffea arabica* L. cv. Bourbon) manually harvested in the municipality of Carmo de Minas, MG, Brazil, were used in this study. After harvest, the beans underwent hydraulic separation for the removal of lower specific mass beans, followed by manual selection to remove any unripe and overripe beans that were not detected during harvest and/or were not removed during the hydraulic separation process.

Soon after the manual selection, the coffee was separated into three batches. The first batch was processed by wet processing; the exocarp and the mesocarp were mechanically removed with a huller and demucilator, resulting in a 1.20 decimal (dry basis, d.b.), moisture content. The second batch was processed by dry processing, yielding natural coffee with a 2.40 (d.b.) moisture content. Then, these coffees were subjected to mechanical drying at 40 °C until they achieved a moisture content of approximately 0.12±0.05 decimal d.b. The third batch was dry processed; the beans underwent mechanical drying at 40 °C for 36, 48, 60 and 72 hours, corresponding to moisture contents of 0.56±0.02, 0.41±0.02, 0.28±0.02 and 0.20±0.02 (d.b.) in the grain, respectively. Subsequently, the natural coffee was processed in a CARMOMAQ (DC1) sample processing machine in a single pass, and the beans were subjected to continuous drying at 35±1 ºC and 40±1 ºC until a moisture content of 0.12±0.05 (d.b.) was reached (Figure 1).

Drying was carried out by forced convection in electric fixed bed dryers, composed of six square perforated trays, each with 0.35m sides and a depth of 0.4 m, located over a plenum in order to ensure a uniform airflow.

The moisture content of the natural coffee was determined using an oven at 105±3 °C for 24 hours in three replicates (BRASIL, 2009). The moisture content of the processed coffee was determined by the oven method at 105±1°C for 16 hours according to International Standard ISO 6673 (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION - ISO, 2003).

The drying was performed by forced convection in fixed bed driers composed of square perforated trays over a plenum for airflow uniformity.

The airflow in the dryer was monitored throughout the drying process using a blade anemometer set and maintained at 24 m^3 min^{-1} m^{-2}. The heating is done by means of electrical resistances, controlled by an electronic temperature controller, and the monitoring was accomplished using mercury thermometers inserted into the coffee mass. The ambient air temperature and relative humidity were monitored using a thermo-hygro sensor and showed mean values of approximately 17.6 °C and 85.3%, respectively, on the days when the drying was conducted.

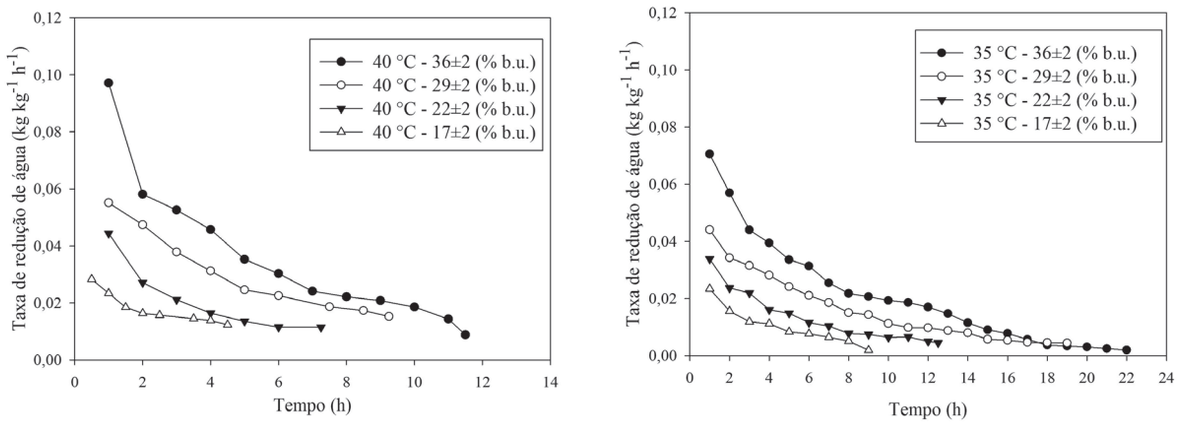


FIGURE 1 – Moisture reduction rate of processed coffee with high moisture content subjected to drying under two air conditions.

The drying process was evaluated by determining the water reduction rate (CORRÊA; MACHADO; ANDRADE, 2001) as follows:

$$TRA = Ma_0 - Ma_i / Ms\ (t_i - t_0)$$

where TRA: water reduction rate (kg water kg dry matter^{-1} hour^{-1}); Ma_0: previous total water mass (kg); Ma_i: current total water mass (kg); Ms: dry matter (kg); t_0: previous total drying time (h); and t_i: current total drying time (h).

To determine the moisture content ratios of the processed coffee during drying, the following expression was used:

$$RX = (X - X_e)/(X_i - X_e)$$

where RX: product moisture content ratio, dimensionless; X: product moisture content (d.b.); X_i: initial product moisture content (d.b.); and X_e: equilibrium moisture content of the product (d.b.).

The equilibrium moisture content of the processed coffee in each drying condition was obtained through the modified Harkins-Jura equation (3) proposed by Afonso Junior (2001):

$$Xe = \left[\exp(a + b\ T)/c - \ln(UR)\right]^{1/2}$$

where T: drying air temperature, °C; UR: relative humidity of the drying air (decimal); and a, b, and c: model coefficients (a = -4.0779, b = 0.0336, and c = -0.1434).

The equilibrium moisture content values estimated by the modified Harkins-Jura equation for the processed coffee grains with high moisture contents are shown in Table 1.

The mathematical models often used for the representation of the drying of agricultural products were adjusted to the experimental data obtained from the coffee drying process as shown in Table 2.

The mathematical models were adjusted by non-linear regression analysis through the Gauss-Newton method. The models were selected based on the magnitude of the determination coefficient (R^2), mean relative error (P) and estimated standard deviation (SE) in addition to the verification of the residual distribution. The mean relative error and standard deviation of the estimate for each model were calculated according to the following expressions:

$$P = \frac{100}{N} \sum \frac{|RX_{obs} - RX_{est}|}{RX_{obs}}$$

$$SE = \sqrt{\sum (RX_{obs} - RX_{est})^2 / GLR}$$

where RX_{obs}: experimental moisture content ratio; RX_{est}: moisture content ratio estimated by the model; N: number of experimental observations; and GLR: degrees of freedom of the model (number of experimental observations minus the number of model coefficients).

TABLE 1 - Equilibrium moisture content (d.b.) estimated by the modified Harkins-Jura equation for coffee grains

Temperature (°C)	Moisture content (d.b.)			
	0.56±0.02	0.41±0.02	0.28±0.02	0.20±0.02
35±1	0.0727	0.0751	0.0769	0.07126
40±1	0.05543	0.0546	0.055	0.06052

TABLE 2 – Mathematical models used to predict the drying of agricultural products

Model name	Model Equation	
Two-term	$RX = a \exp(-k_0 t) + b \exp(-k_1 t)$	(4)
Two-term exponential	$RX = a \exp(-k t) + (1-a) \exp(-k\ a\ t)$	(5)
Modified Henderson & Pabis	$RX = a \exp(-k t) + b \exp(-k_0 t) + c \exp(-k_1 t)$	(6)
Henderson & Pabis	$RX = a \exp(-k t)$	(7)
Midilli	$RX = a \exp(-k t^n) + b t$	(8)
Newton	$RX = \exp(-k t)$	(9)
Page	$RX = \exp(-k t^n)$	(10)
Thompson	$RX = \exp\{[-a-(-a^2 + 4 b t)^{0,5}](2 b)^{-1}\}$	(11)
Verma	$RX = -a \exp(-k t) + (1-a) \exp(-k_1 t)$	(12)
Valcam	$RX = a + b t + c t^{1,5} + d t^2$	(13)

t: drying time, h; k, k_o, k_1: drying constants h^{-1}; and a, b, c, d, n: model coefficients.

3 RESULTS AND DISCUSSION

The highest water reduction rates occurred early in the process. Over the course of drying, reduction was observed regardless of the drying temperature and processing time (Figure 1) due to the higher energy needs required for evaporating more strongly bonded water. Several authors found the same behavior when they studied the drying of agricultural products, such as natural coffee (ALVES et al., 2013), beans (RESENDE et al., 2008), cherry coffee (RESENDE et al., 2010a) and jatropha (SIQUEIRA; RESENDE; CHAVES, 2012a).

We observed that the water reduction rate was always higher at 40 °C due to the greater difference between the partial water vapor pressure of the drying air and the product, which caused the water to be removed more easily and quickly.

As shown in Figure 1, the highest water reduction rate was observed at the drying temperature of 40±1 °C, which promoted a shorter drying time compared to 35±1 °C. After processing the coffee, we added the time required for drying to the time required for processing; based on this analysis, coffee processing required 47.5, 57.25, 67.25 and 76.5 hours at 40±1 °C and 58, 67, 72.5 and 81 hours at 35±1 °C for processed coffees with 0.56±0.02, 0.41±0.02, 0.28±0.02 and 0.20±0.02 (d.b.), respectively. These results indicate an acceleration of the drying process because the total drying time of natural coffee in this experiment was 108 hours, whereas the drying time of demucilated coffee was 32 hours. The large difference in the drying times between the natural and demucilated coffees was justified by the higher initial moisture content of the natural coffee and the presence of the exocarp and mesocarp.

Importantly, although the drying time of demucilated coffee is less than that of processed coffee with high moisture content and coffee dried in its natural form, the production of this type of coffee requires the acquisition of specific equipment for this purpose. These devices use water in their operation (the most important natural resource for human survival) and produce waste (solid and liquid) that greatly affects the environment.

Table 3 shows the statistical parameters applied to compare the ten models used to describe the kinetics of drying processed coffee beans at different moisture contents.

Some principles should be followed when choosing a model. According to Kashaninejad et al. (2007) and Madamba, Driscoll and Buckle (1996), determination coefficients (R^2) above 95% indicate a satisfactory representation of the drying process.

TABLE 3 - Statistical parameters obtained for drying models used to describe the drying kinetics of processed coffee.

Models	Statistical parameters	35±1 °C				40±1 °C			
		0.56±0.02 (b.s.)	0.41±0.02 (b.s.)	0.28±0.02 (b.s.)	0.20±0.02 (b.s.)	0.56±0.02 (b.s.)	0.41±0.02 (b.s.)	0.28±0.02 (b.s.)	0.20±0.02 (b.s.)
Two-term	SE	0.0072	0.0163	0.0028	0.0075	0.0043	0.0073	0.0024	0.0094
	P	1.35	4.49	0.40	1.00	0.98	1.33	0.32	0.95
	R^2	99.95	99.66	99.99	99.91	99.98	99.95	99.99	99.84
Two-term exponential	SE	0.0079	0.0030	0.0026	0.0063	0.0115	0.0073	0.0060	0.0081
	P	2.23	0.59	0.51	0.93	2.67	1.60	0.95	0.95
	R^2	99.93	99.99	99.99	99.92	99.83	99.94	99.92	99.84
Modified Henderson & Pabis	SE	0.0075	0.0058	0.0052	0.0081	0.0076	0.0068	0.0025	0.0069
	P	3.00	1.38	0.99	1.22	2.06	1.31	0.39	0.82
	R^2	99.94	99.95	99.96	99.87	99.93	99.94	99.99	99.88
Henderson & Pabis	SE	0.0175	0.0186	0.0255	0.0315	0.0181	0.0071	0.0295	0.0093
	P	6.49	5.95	5.87	4.62	3.95	1.60	4.74	1.08
	R^2	99.64	99.48	98.90	97.75	99.55	99.94	97.91	99.76
Midilli	SE	0.0065	0.0037	0.0031	0.0057	0.0039	0.0071	0.0026	0.0059
	P	1.69	0.63	0.58	0.76	0.89	1.14	0.37	0.61
	R^2	99.96	99.98	99.99	99.95	99.98	99.95	99.99	99.94
Newton	SE	0.0131	0.0154	0.0207	0.0263	0.0115	0.0068	0.0208	0.0080
	P	5.07	4.49	4.27	3.52	1.69	1.48	2.89	0.95
	R^2	99.81	99.66	99.33	98.61	99.83	99.94	99.04	99.84
Page	SE	0.0052	0.0034	0.0031	0.0220	0.0045	0.0081	0.0023	0.0088
	P	1.40	0.54	0.40	2.16	0.82	1.33	0.30	0.64
	R^2	99.97	99.99	99.99	99.51	99.98	99.95	99.99	99.92
Thompson	SE	0.0081	0.0031	0.0028	0.0100	0.0187	0.0073	0.0043	0.0081
	P	2.33	0.65	0.49	1.28	3.95	1.60	0.61	0.96
	R^2	99.93	99.99	99.99	99.80	99.55	99.94	99.96	99.84
Verma	SE	0.0605	0.0031	0.0027	0.0071	0.1780	0.0076	0.0319	0.0062
	P	18.57	0.62	0.39	1.00	53.07	1.60	4.74	0.64
	R^2	96.01	99.99	99.99	99.91	62.03	99.94	97.91	99.92
Valcam	SE	0.0126	0.0129	0.0113	0.0080	0.0134	0.0082	0.0115	0.0079
	P	3.82	3.28	2.15	0.81	2.64	1.33	1.52	0.81
	R^2	99.83	99.79	99.83	99.90	99.80	99.93	99.75	99.89

Draper e Smith (1998) stated that the ability of a model to accurately describe a certain physical process was inversely proportional to the standard deviation of the estimate (SE). Therefore, the lower the SE value, the better the model fit to the experimental moisture content ratio data (SIQUEIRA; RESENDE; CHAVES, 2013). Values below 10% are recommended for the mean relative error (P) for model indication (MOHAPATRA; RAO, 2005); the P value indicates the deviation of the observed values compared to the curve estimated by the model (KASHANINEJAD et al., 2007).

When processed, coffee beans show a typical drying behavior. Thus, all of the models used, with the exception of the Verma model, met all of the statistical requirements for model validation. The Verma model showed P values of 18.57% and 53.07% for the processed coffee with 0.56±0.02 at both temperatures (35±1 and 40±1 °C), which suggested that the non-adjustment of this model was more related to the grain moisture content than the drying temperatures used. In addition to meeting the statistical requirements, the other models showed determination coefficient values above 97.7% and mean relative errors and standard deviations of the estimate below 6.5% and 0.032, respectively, which indicated satisfactory adjustment.

When several models satisfactorily represent the drying phenomenon, the parameter values and the complexity of each model should be taken into account for its recommendation. The models that best met the statistical requirements were Midilli, modified Henderson & Pabis, two-term, and Thompson & Page. Among these, the simplest models are Page, which is considered a classic model, and Midilli; both models are used to describe the drying kinetics of several agricultural products. Therefore, the use of an auxiliary component is needed to choose a model. Residual distribution analysis has been consistently used in a complementary manner to statistical parameters for choosing a model. Even if subjective, this analysis provides a good indication of the model adjustment to the experimental values.

According to Goneli et al. (2011), a model is considered random if the residual values are found near the horizontal range around zero and do not form defined figures, indicating no result bias. If a biased distribution is presented, the model is considered inadequate to represent the phenomenon in question.

Only the Midilli model showed a random distribution for all drying conditions (Table 4). The modified Henderson & Pabis, two-term and Thompson & Page models show biased distributions in one or more of the conditions studied.

Figure 2 shows the residual distribution graphs as an example of a random distribution (for the Midilli model) and a biased distribution (for the Verma model) during the drying of processed coffee beans with high moisture content at 35±1 and 40±1 °C. In both conditions, the residual values provided by the Midilli model are near the horizontal line that marks the zero axis with no biased behavior, which is in contrast to the Verma model. For the 35±1 °C and 0.56±0.02 (d.b.) condition, the formed "figure" resembles a parabola, whereas for the 40±1 °C and 36 hours condition, the formed "figure" is similar to an exponential curve.

Among the models used to describe the drying kinetics of processed coffee with different moisture contents, the Midilli model showed the best adjustments after a combined analysis of the values of the determination coefficient, mean relative error, standard deviation of the estimate and residual distribution bias. Therefore, this model was chosen to represent the coffee bean drying process for different temperature and initial moisture content conditions.

Goneli et al. (2009) studied the drying kinetics (40, 50 and 60 °C) of hulled coffee and concluded that the Midilli model was the most suitable for the representation of the process. Alves (2013) studied the drying of natural coffee at 40 and 45 °C and different airflows and also found that the Midilli model could be used to describe the phenomenon. Processed coffee has a drying behavior similar to parchment and natural coffee for the studied temperature range.

In addition to coffee in its different processing forms, the Midilli model is also recommended to predict the drying phenomenon of other agricultural products, such as red beans (CORRÊA et al., 2007), adzuki beans (RESENDE; FERREIRA; ALMEIDA, 2010) and jatropha grains (SIQUEIRA; RESENDE; CHAVES, 2012b).

TABLE 4 - Residual distribution (A = random; T = biased) for ten analyzed models during the drying of processed coffee with various moisture contents under two temperature conditions.

Models	35±1 °C					40±1 °C			
	0.56±0.02 (b.s.)	0.41±0.02 (b.s.)	0.28±0.02 (b.s.)	0.20±0.02 (b.s.)	0.56±0.02 (b.s.)	0.41±0.02 (b.s.)	0.28±0.02 (b.s.)	0.20±0.02 (b.s.)
Two-term	A	T	A	T	A	A	A	T
Two-term exponential	T	A	A	A	T	A	T	T
Modified Henderson & Pabis	A	A	A	T	A	A	A	A
Henderson & Pabis	T	T	T	T	T	A	T	T
Midilli	A	A	A	A	A	A	A	A
Newton	T	T	T	T	T	A	T	T
Page	A	A	A	A	A	A	A	T
Thompson	T	A	A	A	T	A	T	T
Valcam	T	T	T	A	T	A	T	T
Verma	T	A	A	T	T	A	T	T

Table 5 shows the coefficients of the Midilli model adjusted to the experimental data obtained from the coffee bean drying kinetics. The magnitude of the drying constant "k", which represents the effect of external drying conditions (GONELI et al., 2009), tends to increase with the increasing drying temperature, although this value is numerically lower for the 0.20±0.02 (d.b.) and 40±1 °C condition compared to the 0.20±0.02 (d.b.) and 35±1 °C condition. According to Babalis and Belessiotis (2004) and Madamba, Driscoll and Buckle (1996), the drying constant "k" can be used as an approach to characterize the temperature effect and is related to the effective diffusivity in the drying process for the decreasing period. This finding indicates that the drying rate increases with the increase in the temperature. As the drying process take place and the moisture content reduces, the constant value "k" increases for the air temperature set at 35±1 °C. Considering the smaller size of coffee bean due to the volumetric contraction, the water molecules would have to go through a shorter distance, leading to a diffusion increasing. Conversely, this phenomenon was not detected for the air temperature set at 40±1 °C.

The coefficient "n" is lower for 40±1 °C compared to 35±1 °C, with the exception of the 0.41±0.02 (d.b.) condition. According to Goneli et al. (2009), this coefficient reflects the product's internal resistance to drying. Thus, the higher the drying temperature is, the lower the magnitude of the coefficient.

Figure 3 shows the behavior of the moisture content ratio of wet processed coffee beans estimated by the Midilli model for drying temperatures of 40±1 and 35±1 °C. The Midilli model shows satisfactory adjustment to the experimental values and thus accurately represents the behavior and describes the drying phenomenon of coffee beans for both temperatures used.

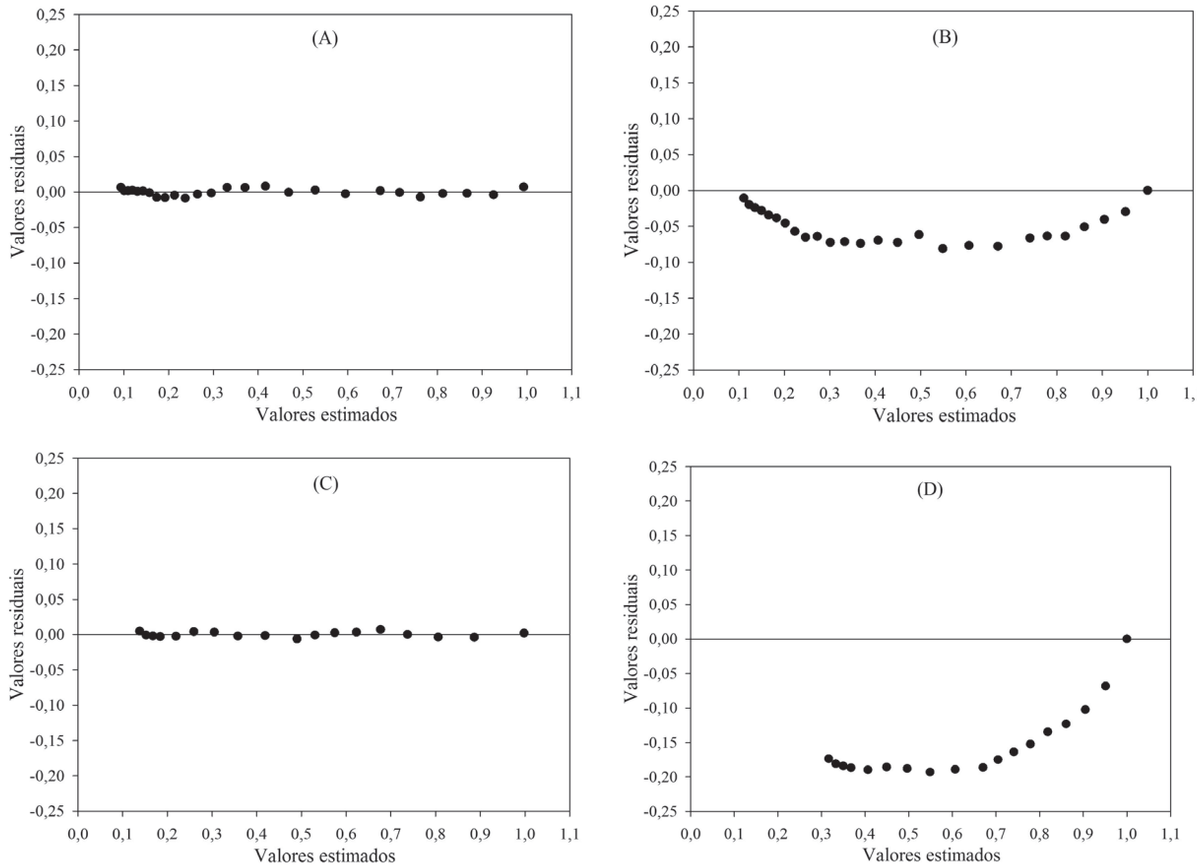


FIGURE 2 - Residual distribution graphs for the processed coffee beans with different initial moisture contents subjected to drying at 35±1 and 40±1 °C. "A" and "C", random for the Midilli model; "B" and "D", biased for the Verma model.

TABLE 5 - Midilli model parameters adjusted for the different drying conditions of coffee beans.

Drying temperature (°C)	Moisture content d.b.) at processing time	Model coefficients			
		a	k	n	b
35±1	0.56±0.02	0.9929**	0.1376**	0.9581**	0.0010**
	0.41±0.02	1.0021**	0.1417**	0.9360**	0.0015**
	0.28±0.02	1.0006**	0.1759**	0.8993**	0.0030**
	0.20±0.02	0.9988**	0.1825**	0.8984**	0.0102*
40±1	0.56±0.02	0.9979**	0.2080**	0.8481**	-0.0046**
	0.41±0.02	1.0051**	0.1675**	0.9869**	-0.0017NS
	0.28±0.02	1.0009**	0.2248**	0.7998**	-0.0007 NS
	0.20±0.02	1.0003**	0.1549**	0.8028**	-0.0323 NS

** Significant at 1%, by F-test; * Significant at 5%, by F-test; ns Non-significant.

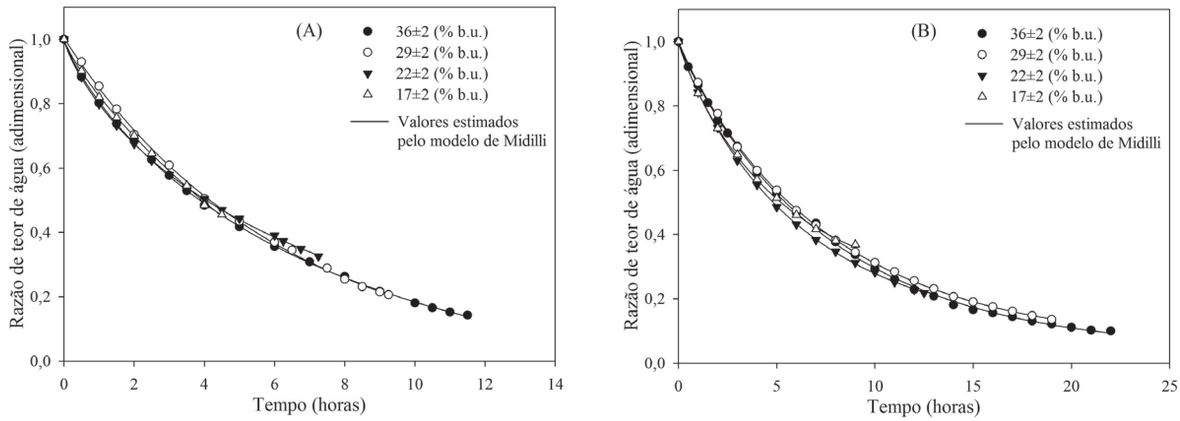


FIGURE 3 - Experimental moisture content ratio values and the values estimated by the Midilli model for processed coffee beans with different moisture contents subjected to drying at 40±1 °C (A) and 35±1 °C (B).

4 CONCLUSIONS

The water reduction rate is higher for the drying temperature of 40±1 °C compared to 35±1 °C. This difference is reduced when the initial moisture content of the processed coffee decreases.

The total drying time of processed coffee with high moisture content is significantly reduced compared to the total drying time of natural coffee at 40±1 °C.

For the studied moisture contents, the Midilli model satisfactorily describes the drying kinetics of processed coffee beans subjected to drying at the temperatures of 35±1 and 40±1 °C.

5 ACKNOWLEDGEMENTS

CAPES, FAPEMIG, CNPq, and INCT-Café.

6 REFERENCES

AFONSO JUNIOR, P. C. **Aspectos físicos, fisiológicos e de qualidade do café em função da secagem e do armazenamento**. 2001. 399 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola)-Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2001.

ALVES, G. E. **Cinética de secagem e qualidade do café para diferentes temperaturas e fluxos de ar**. 2013. 131 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola)-Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2013.

ALVES, G. E. et al. Cinética de secagem de café natural para diferentes temperaturas e baixa umidade relativa. **Coffee Science**, Lavras, v. 8, n. 2, p. 238-247, 2013.

BABALIS, S. J.; BELESSIOTIS, V. G. Influence of the drying conditions on the drying constants and moisture diffusivity during the thin-layer drying of figs. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 65, n. 3, p. 449-458, 2004.

BORÉM, F. M. et al. Qualidade do café submetido a diferentes temperaturas, fluxos de ar e períodos de pré-secagem. **Coffee Science**, Lavras, v. 1, n. 1, p. 55-63, 2006.

BORÉM, F. M.; REINATO, C. H. R.; ANDRADE, E. T. Secagem do café. In: BORÉM, F. M. (Ed.). **Pós-colheita do café**. Lavras: Ed. UFLA, 2008. p. 205-240.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. Secretaria Nacional de Defesa Agropecuária. **Regras para análise de sementes**. Brasília, DF, 2009. 395 p.

CORRÊA, P. C. et al. Modelagem matemática para a descrição do processo de secagem do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) em camadas delgadas. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 27, n. 2, p. 501-510, 2007.

CORRÊA, P. C.; MACHADO, P. F.; ANDRADE, E. T. Cinética de secagem e qualidade de grãos de milho-pipoca. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 25, n. 1, p. 134-142, jan./fev. 2001.

DRAPER, N. R.; SMITH, H. **Applied regression analysis**. New York: J. Wiley, 1998. 712 p.

GONELI, A. L. D. et al. Cinética de secagem dos grãos de café descascados em camada delgada. **Revista Brasileira de Armazenamento**, Viçosa, n. 11, p. 64-73, 2009. Especial café.

_____. Contração volumétrica e forma dos frutos de mamona durante a secagem. **Acta Scientiarum Agronomy**, Londrina, v. 33, n. 1, p. 1-8, 2011.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **Green coffee:** determination of loss in mass at 105ºC: ISO 6673. Geneva, 2003. 17 p.

KASHANINEJAD, M. et al. Thin-layer drying characteristics and modeling of pistachio nuts. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 78, n. 1, p. 98-108, 2007.

MADAMBA, P. S.; DRISCOLL, R. H.; BUCKLE, K. A. The thin layer drying characteristic of garlic slices. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 29, n. 1, p. 75-97, 1996.

MARQUES, E. R. et al. Eficácia do teste de acidez graxa na avaliação da qualidade do café arábica (*Coffea arabica* L.) submetido a diferente períodos e temperaturas de secagem. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 5, p. 1557-1562, set./out. 2008.

MARTINAZZO, A. P. et al. Análise e descrição matemática da cinética de secagem de folhas de capim-limão. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 11, n. 3, p. 301-306, 2007.

MOHAPATRA, D.; RAO, P. S. A thin layer drying model of parboiled wheat. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 66, n. 4, p. 513-518, 2005.

NILNONT, W. et al. Finite element simulation for coffee (*Coffea arabica*) drying. **Food and Bioproducts Processing**, Rugby, v. 90, n. 2, p. 341-350, 2012.

RESENDE, O. et al. Cinética da secagem de clones de café (*Coffea canephora* Pierre) em terreiro de chão batido. **Acta Amazônica**, Manaus, v. 40, n. 2, p. 247-255, 2010a.

_____. Modelagem matemática da secagem do café (*Coffea canephora* Pierre) em terreiros de concreto e híbrido. **Revista Brasileira de Armazenamento**, Viçosa, v. 35, n. 2, p. 153-160, 2010b.

_____. Modelagem matemática do processo de secagem de duas variedades de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v. 10, n. 1, p. 17-26, 2008.

RESENDE, O.; SIQUEIRA, V. C.; ARCANJO, R. V. Influência do pavimento de terreiros na secagem e na qualidade do café conilon. **Global Science and Technology**, Rio Verde, v. 3, n. 5, p. 26-37, 2009.

SIQUEIRA, V. C.; RESENDE, O.; CHAVES, T. H. Determination of the volumetric shrinkage in jatropha seeds during drying. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Londrina, v. 34, n. 3, p. 231-238, 2012a.

_____. Drying kinetics of Jatropha seeds. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 59, n. 2, p. 171-177, 2012b.

_____. Mathematical modelling of the drying of jatropha fruit: an empirical comparison. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 44, n. 2, p. 278-285, 2013.

INFLUÊNCIA DE FATORES ECONÔMICOS NA OFERTA CAFEEIRA DO ESTADO DE SÃO PAULO

Adriano Ferreira de Moraes[1], Adriana Ferreira de Moraes-Oliveira[2], Lucas Eduardo de Oliveira Aparecido[3], José Reinaldo da Silva Cabral de Moraes[4], Silvia Martins de Moraes[5]

(Recebido: 19 de outubro de 2016; aceito: 19 de dezembro de 2016)

RESUMO: O café é uma das *commodities* agrícolas fundamentais para a economia brasileira e poucos estudos têm avaliado a influência das variáveis econômicas na oferta cafeeira. Assim, objetivou-se com este trabalho mensurar a influência que as variáveis econômicas promovem na variação da oferta do *café arábica* na região Nordeste do Estado de São Paulo. Foram utilizadas séries históricas de produção cafeeira e de variáveis econômicas do período de 2000-2015. As variáveis econômicas foram: crédito rural total, o crédito rural da agricultura, a área colhida de café, o valor adicionado na agropecuária, a participação da agropecuária no valor adicionado total, valor da produção do cafeeiro e valor adicionado fiscal dos municípios. Na modelagem utilizou-se de um modelo de regressão linear múltipla (RLM), sendo a oferta cafeeira a variável dependente e as variáveis econômicas as variáveis independentes. O modelo desenvolvido para estimar a oferta do cafeeiro em função das variáveis econômicas demonstrou elevada significância ($p < 0,05$). A evolução da oferta cafeeira é significativamente sensível às variações dos fatores econômicos. As variáveis econômicas com maior influência na variação da oferta cafeeira são a área colhida de café e o valor de produção do café.

Termos para indexação: Modelagem, crédito rural, econometria, *Coffea arabica*

INFLUENCE OF ECONOMIC FACTORS IN OFFER COFFEE OF SÃO PAULO STATE

ABSTRACT: *Coffee is one of the key agricultural commodities for the Brazilian economy and few studies have evaluated the influence of economic variables in the coffee supply. The objective was to evaluate the influence that economic variables promote the variation of the arabica coffee, offering on the São Paulo State Northeast. Coffee supply data and econometric variables were used in the 2000-2015 period. The variables were the total rural credit used, rural credit of agriculture, harvested coffee area, the value added in agriculture, the agriculture's share in total value added, the coffee production value and value added tax. In modeling the coffee supply was the dependent variable and the economic variables were the independent variables, using multiple linear regression (MLR). The model developed to estimate coffee supply according to the economic variables showed a high significance ($p <0.05$). The evolution of coffee supply is significantly sensitive to changes in economic factors. The economic variables with the greatest influence on the coffee supply variation are the coffee harvested area and the coffee production value.*

Index terms: *Modeling, rural credit, econometric, Coffea arabica.*

1 INTRODUÇÃO

A cultura do café é de grande importância para o setor agrícola brasileiro, uma vez que é o principal produto agrícola da exportação do país, agregando considerável volume de recursos a balança comercial nacional (APARECIDO; ROLIM; SOUZA, 2015). A cadeia da produção cafeeira tem grande relevância socioeconômica para o Brasil (BATISTA et al., 2010). Aparecido et al. (2016) ressaltam a importância do café, como sendo uma das bebidas mais populares do mundo, além de estar entre as *commodities* de maior importância global devido ao volume financeiro movimentado em sua comercialização. Segundo Amarasinghe et al. (2015) o Brasil além de ser o maior exportador do produto ainda detém a maior produção de café tipo *commodities* do mundo.

O café consiste na bebida mais consumida em todo o mundo (ZELBER-SAGI et al., 2015). Em sua constituição há diversas substâncias com propriedades funcionais essenciais, dentre elas destaca-se a cafeína, os aminoácidos e diversos compostos fenólicos, além de nutrientes importantes, como o potássio, ferro, fósforo e até alguns carboidratos (KITZBERGER et al., 2013).

A produção cafeeira tem demonstrado grandes variações na quantidade ofertada no decorrer dos últimos anos. Essa variação ocorre devido a diversos fatores, por exemplo, os econômicos, fitotécnicos e até climáticos (BARBOSA et al., 2012), sendo que a questão

[1,2,5]Universidade Estadual Paulista - Departamento de Economia Rural - Via de Acesso Prof. Paulo Donato Castellane, s/n 14.884-900 - Jaboticabal - SP - adriano_afmoraes@hotmail.com, adriana_fmoraes@hotmail.com, silvinha.mmoraes@hotmail.com
[3,4]Universidade Estadual Paulista - Departamento de Ciências Exatas - Via de Acesso Prof. Paulo Donato Castellane, s/n -14.884-900 Jaboticabal - SP - lucas-aparecido@outlook.com, reinaldo.moraes@hotmail.com

econômica é um dos principais fatores. Santos, Gomes e Gomes (2015) relatam que a cafeicultura brasileira é caracterizada por uma série de flutuações no volume de produção, consequência de excessos de produção, questões econômicas, intervenções governamentais e até acordos internacionais.

A variação da oferta de qualquer produto agrícola além de gerar desconfiança aos investidores, ainda promove incerteza na direção do mercado comercial. Por isso, Barros, Spolador e Bacchi (2009) relatam que mensurar os fatores que determinam a variação da oferta dos produtos agrícolas é fundamental para entender a resposta do setor produtor às variáveis econômicas, como a participação no produto interno bruto (PIB), os créditos públicos e os preços dos produtos.

Mesmo sabendo da importância de conhecer das relações das variáveis econômicas com as ofertas dos produtos agrícolas, ainda há carência de informação da influência que os fatores econômicos promovem na variação da oferta cafeeira. Vale ressaltar, que esse conhecimento é essencial, uma vez que consiste em uma excelente ferramenta estratégica que produtores e economistas podem utilizar no mercado. Para Pindyck e Rubinfeld (1994) entender a variação da oferta de um produto agrícola é de suma importância, pois consiste em uma das maneiras de decidir sobre a utilização do potencial tecnológico disponível no processo produtivo agrícola.

Entender a variação da oferta de produtos agrícolas é de grande importância para a definição de políticas públicas (CARNEIRO, 1997). O conhecimento da relação da quantidade ofertada, com as variações do preço do produto e os créditos públicos, é relevante tanto para o governo quanto para o setor privado, uma vez que gera informações importantes para o desenvolvimento de políticas de preços, de subsídios e para planejamento estratégico (CARVALHO et al., 2001).

Uma forma eficiente de avaliar o impacto de variáveis de interesse na oferta de produtos agrícolas é por meio de técnicas de modelagem com variáveis econômicas. Com a utilização de modelos econométricos é possível realizar pesquisas aplicadas sobre teoria econômica, e assim avaliar os fatores determinantes da oferta de diversos produtos agrícolas (PINDYCK; RUBINFELD, 1994). Com a utilização dos modelos consegue-se realizar estratégias de mercado, além de melhorar as tomadas de decisões na cadeia produtiva (CHIPANSHI et al., 2015; PINTO et al., 2015). Segundo Gouranga e Ashwani (2014) as técnicas de modelagem são essenciais, uma vez que conseguem integralizar conhecimentos de diversas áreas de forma interdisciplinar.

Existem alguns trabalhos na literatura que utilizam de análises de modelagem para avaliar a relação entre as variáveis econômicas e os produtos agrícolas. Exemplo deles é o trabalho de Baricelo e Bacha (2013) que buscaram analisar os principais impactos das políticas econômicas e agrícolas sobre a oferta e a demanda de máquinas agrícolas no Brasil, nos anos de 1995 a 2010. Ao final, observaram que os resultados não evidenciam relação linear entre os programas governamentais e o aumento da demanda por máquinas agrícolas no Brasil, sendo que demanda dos produtos reagiu mais as variações de área (com elasticidade cruzada de 2,72) do que a variações de preços das máquinas. E, também o trabalho de Bacchi e Caldarelli (2015) que utilizaram de análise de modelagem para identificar os impactos socioeconômicos do crescimento do setor sucroenergético no Estado de São Paulo nos aspectos de emprego/renda, educação e saúde. Ao final, os autores concluíram que existe interação positiva e significativa da expansão canavieira no Estado com o emprego e a renda da população.

Tem-se como hipótese neste trabalho que a oferta cafeeira sofre maiores influências de politicas públicas, como o crédito rural. Assim, objetivou-se por meio este trabalho avaliar a influência que as variáveis econômicas promovem na variação da oferta do café arábica.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho é uma pesquisa aplicada, de caráter descritivo e abordagem quantitativa, utilizando-se como método de pesquisa o levantamento de dados. Foram utilizados dados de localidades representativas do Nordeste do Estado Paulista, na produção cafeeira: Batatais, Caconde, Cássia dos Coqueiros, Cristais Paulista, Espirito Santo do Pinhal e Mococa (Figura 1 e Tabela 1).

Os dados utilizados neste trabalho contemplam o período de 2000-2014, e foram obtidos no Instituto de Economia Agrícola (IEA, 2016) e na Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados.

Foram utilizadas séries históricas de dados econômicos e fitotécnicos do cafeeiro arábica. As variáveis econômicas foram consideradas como as variáveis independentes na construção

dos modelos, sendo elas o crédito rural total do município (reais, CR); o crédito rural da agricultura do município (reais, CRA); a área colhida do cultivo cafeeiro no município (ha, AC); o valor adicionado à agropecuária do município (VAA), que corresponde ao produto interno bruto da agropecuária (milhões de reais); a participação da agropecuária no valor adicionado total (%, PAT), valor da produção do cafeeiro (VP), que consiste no preço unitário multiplicado pela quantidade produzida (mil reais correntes) e valor adicionado fiscal da agricultura e pecuária (mil reais, VAF), que representa a arrecadação fiscal da agricultura e pecuária do município. A oferta cafeeira (PROD) média das localidades foi considerada a variável dependente do modelo.

A produção do cafeeiro (oferta) foi avaliada em função das variáveis CR, CRA, AC, VAA, PAT, VP e VAF, por meio de um modelo de regressão linear múltipla (RLM) do tipo log-log, isto é, envolvendo o logaritmo das variáveis, tanto para as variáveis dependentes, como para as variáveis independentes (Equação 1).

$$\log PROD = a_1 + a_2 \log CR + a_2 \log CRA + a_3 \log VAA + a_4 \log PAT + a_5 \log VP + a_6 \log AC + e_t$$

Em que, e_t é o erro aleatório de média zero e variância constante, relativo ao período t, e a_1, a_2, ..., a_6 são constantes a serem determinadas (estimadas).

A vantagem de empregar os logaritmos aos dados originais por meio do modelo log-log é que os coeficientes obtidos já expressam diretamente os valores da elasticidade da produção em função às variáveis econômicas. No contexto das análises de séries temporais, realizar o ajuste de um modelo de regressão com dados observados no tempo (séries temporais) significa realizar a chamada cointegração de séries (GUJARATI; PORTER, 2011).

A metodologia utilizada para calibrar os modelos foi a estimação por meio dos mínimos quadrados ordinários (MQO), por meio do sistema de optimização "generalized reduced gradiente" (GRG_2). O MQO busca através da minimização da soma dos quadrados dos resíduos obter a menor variância dos dados apresentada na sua forma logaritimizada para gerar os coeficientes de elasticidades.

Foram realizadas análises de sensibilidade dos coeficientes angulares das variáveis econométricas a fim de encontrar quais destas variáveis tiveram maior influência na oferta cafeeira dos municípios. Visando evitar problemas de multicolinearidade das variáveis econométricas retiraram-se as variáveis que demonstraram uma correlação de Pearson r >= |0,7|. A multicolinearidade é um problema nos modelos quando se tem o interesse de analisar os pesos dos coeficientes, uma vez que a multicolinearidade proporciona desvios nos coeficientes (GUJARATI; PORTER, 2011). A normalidade do termo erro foi verificada pelo teste de Kolmogorov-Smirnov, enquanto que a premissa da homocedasticidade das variáveis foi verificada pelo teste de White (1980).

A seleção do melhor modelo calibrado foi realizada utilizando-se índices estatísticos de precisão e acurácia. A precisão foi avaliada pelo coeficiente de determinação ajustado (R^2 ajustado), já a acurácia foi avaliada pelo percentual do erro absoluto médio (MAPE) (Equações 2 e 3). Foram selecionadas apenas as regressões estatisticamente significativas pelo teste F (valor-p < 0,05).

$$R^2 \text{ ajustado} = \left[1 - \frac{(1-R^2)\times(n-1)}{}\right]$$

$$MAPE(\%) = \frac{\sum_{i=1}^{n}\left(\left|\frac{Yest_i - Yobs_i}{Yobs_i}\right| \times 100\right)}{n}$$

Na equação 3 tem-se: $Yest_i$ = oferta cafeeira estimada no ano i; $Yobs_i$ = oferta cafeeira observada; n = número de dados e k = número de variáveis independentes do modelo.

As análises dos dados foram realizadas utilizando o software Gretl (Regression, Econometrics e Time-series Library).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A oferta cafeeira do Nordeste do Estado de São Paulo demonstrou uma grande dispersão no período de 2000 a 2015, chegando a evidenciar um coeficiente de variação (CV) acima de 20%. De maneira geral, ocorreu uma tendência significativa de aumento no decorrer de todo o período, chegando a um crescimento de 13% na oferta cafeeira de 2000 a 2015 (Figura 2). Esse aumento na oferta cafeeira também foi evidenciado por Santos, Gomes e Gomes (2015), que buscaram avaliar a elasticidade-renda do consumo cafeeiro na região do Sul de Minas Gerais.

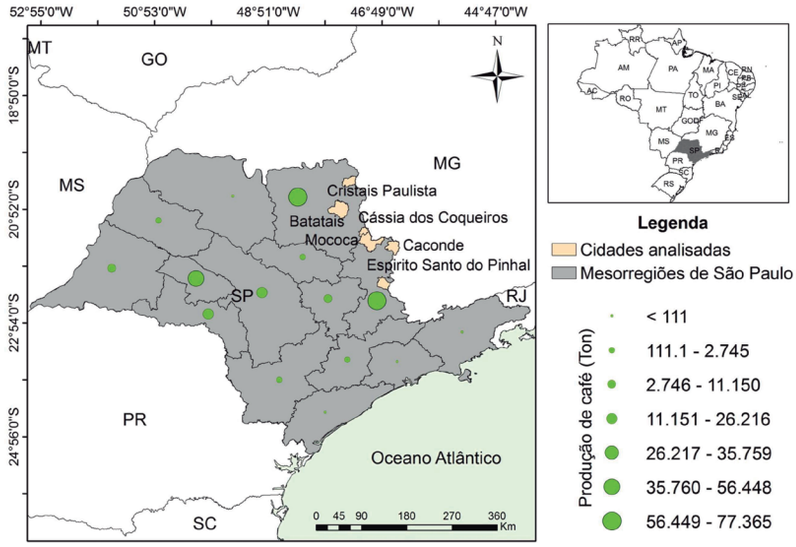


FIGURA 1 - Descrição dos locais de estudo e produção de café das mesorregiões de São Paulo.

TABELA 1 - Descrição geográfica (latitude, longitude e altitude) das regiões cafeeiras do Nordeste do Estado Paulista.

Regiões	Latitude	Longitude	Altitude (m)
Batatais	20º 53’ 28” S	47º 35’ 06” W	862
Caconde	21º 31’ 46” S	46º 38’ 38” W	780
Cássia dos Coqueiros	21º 16’ 58” S	47º 10’ 11” W	890
Cristais Paulista	20º 23’ 50” S	47º 25’ 13” W	996
Espirito Santo do Pinhal	22º 06’ 57” S	46º 40’ 58” W	870
Mococa	21º 28’ 04” S	47º 00’ 04” W	645

No nordeste do Estado de São Paulo a oferta média foi em torno de 422.913 sacas de 60 kg para toda a região, um valor considerado elevado, demonstrando ainda evolução anual da série (sensibilidade) média de aumento de 8451,8 sacas 60 kg a cada ano. Nesta análise não foi necessário avaliar o ajuste do modelo (R^2), pois o intuído foi de demonstrar a dispersão total dos dados.

A correlação entre as variáveis econômicas e oferta cafeeira do Nordeste do Estado de São Paulo evidenciou que todas as variáveis econométricas apresentaram relação direta proporcional, contudo, com níveis de correlação diversos. De maneira geral, as variáveis econométricas que demonstraram as maiores correlações com a oferta cafeeira foram: a área colhida de café e o valor da produção do cultivo no município, com elevados coeficientes de 0,786 e 0,863, respectivamente. Vale ainda ressaltar, que a variável econométrica com menor correlação foi a participação da agropecuária (%) no valor arrecadado total do município (Tabela 2).

Conhecendo as variáveis que detém os mais elevados níveis de correlação (r) com a oferta cafeeira foi possível avaliar mais precisamente toda essa relação. De maneira geral, o valor da produção cafeeira municipal (VP) e a área colhida de café no município (AC) apresentam relação diretamente proporcional, sendo que a oferta cafeeira foi mais sensível à área colhida do cafeeiro. A sensibilidade média da oferta cafeeira em função do valor de produção e da área colhida foram de $0{,}292 = \frac{\text{toneladas}}{\text{reais}}$ e $1{,}17 = \frac{toneladas}{reais}$, respectivamente (Figura 3).

Vale ressaltar, que uma sensibilidade de $1{,}17 = \frac{toneladas}{reais}$ em um município com oferta anual média de 15.000 toneladas, ocorre um aumento de 2.550 toneladas com a colheita de 100 novos hectares de café. Em relação ao valor de produção, destaca-se que com uma sensibilidade de $0{,}292 = \frac{\text{toneladas}}{\text{reais}}$ ocorre um aumento de 290 toneladas com a elevação de 1.000.000 reais correntes.

O modelo ajustado em função dos dados econômicos foi estatisticamente significativo a 1% (teste F), o que indica que o conjunto de variáveis explicativas tem forte influência estatística sobre a variável explicada, no caso a oferta cafeeira do Nordeste do Estado do São Paulo (Tabela 3).

O modelo calibrado utilizando de variáveis econômicas para estimar a oferta cafeeira no Nordeste do Estado de São Paulo foi acurado, uma vez que demonstrou um MAPE a média de 1,686% (MAPE). Vale ressaltar, que um MAPE (erro) de apenas 1,68% neste modelo é considerado muito baixo, pois em um município com oferta média de 25.000 sacas de 60 kg ocorre uma variação média de apenas ± 420 sacas de 60 kg. O coeficiente de determinação ajustado (R^2_{adj}) foi de 0,95, o que indica um ótimo ajuste do modelo, ou seja, 95% das variações nas quantidades ofertadas de café são explicadas pelas variáveis independentes (Tabela 4).

As variáveis econômicas que demonstraram maior peso na estimação da oferta cafeeira no Nordeste do Estado de São Paulo foram a área colhida e o valor de produção do cafeeiro. Por sua vez, as variáveis que evidenciaram as menores relações foram a participação da agropecuária no valor adicionado total e o valor adicionado fiscal da agricultura e pecuária (Equação 2).

$$PROD = 0{,}482 - 0{,}204xCR + 0{,}145xCRA - 0{,}134xVAA + 0{,}140xPVA + 0{,}438xAC + 0{,}66xVP + 0{,}086xVAF$$

Em que: CR = crédito rural, CRA = crédito rural da agricultura (reais), VAA = valor adicionado na agropecuária (milhões de reais), PVA = participação da agropecuária no valor adicionado total (%), AC = área colhida (ha), VP = valor da produção do cafeeiro (mil reais correntes) e VAF = valor adicionado fiscal da agricultura e pecuária (reais).

A análise da elasticidade do valor de produção com a oferta cafeeira demonstra que o valor ofertado tem elevada elasticidade com valor de produção, pois sua elasticidade foi de 0,66 e com elevada significância ($3{,}37 \times 10^{-16}$). Esta elasticidade indica que uma variação de 10% no valor de produção do cafeeiro tende a ocasionar uma variação positiva de 6,60% na oferta do produto (Tabela 5).

A elasticidade da oferta cafeeira em relação à área colhida também foi altamente significativa ($1{,}35 \times 10^{-08}$), e indicou que uma variação de 10% na quantidade colhida de café, ocasionando uma variação positiva de 4,38% na oferta cafeeira. Por sua vez, o crédito rural total e também o crédito rural da agricultura não demonstraram significância, evidenciando valor-p de 0,521 e 0,592, respectivamente.

Com relação à elasticidade do valor adicionado na agropecuária em função da oferta cafeeira observou-se que uma variação de 1% no valor adicionado na agropecuária tende a ocasionar uma variação negativa de apenas 0,134% na oferta de cafeeira, sendo considerada uma baixa elasticidade (Tabela 4). Amaro (2010) verificou as variáveis que influenciaram a oferta da banana no Estado de Roraima no período de 1995 a 2007 e observou que o valor adicionado pelo produto e a oferta da banana apresentaram-se de maneira inelástica, indicando que os produtores da região são pouco sensíveis às variações que ocorrem no valor adicionado.

Sabendo quais variáveis são mais influentes buscou-se determinar a força que cada variável exerce na oferta cafeeira. Notavelmente, observou-se que todas as variáveis foram importantes, entretanto com diferentes níveis de intensidade (Figura 4). As variáveis que exerceram os maiores níveis de influência foram a área colhida (AC) e o valor da produção do cafeeiro (VP), representando 25% e 37% da variação da oferta cafeeira, respectivamente. Esse resultado tem equivalência com a análise de correlação (r) que evidenciou alta correlação de forma direta das variáveis, área colhida e valor da produção com a oferta cafeeira (Tabela 2). Por sua vez, as variáveis que demonstraram os menores níveis de influência foram a participação da agropecuária no valor adicionado total (PVA) e o valor adicionado fiscal da agricultura e pecuária (VAF), uma vez que demonstraram uma força de apenas 6 e 5%, respectivamente (Figura 4).

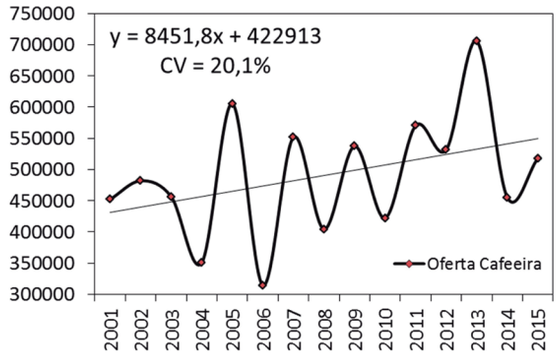


FIGURA 2 - Dispersão da oferta cafeeira (sacas 60 kg) da região Nordeste do Estado de São Paulo, no período de 2000 a 2015. CV = coeficiente de variação.

TABELA 2 - Níveis de correlação pelo coeficiente de Pearson (r) entre as variáveis econômicas e a oferta cafeeira das principais regiões do Nordeste do Estado de São Paulo. Legenda: CR = crédito rural total (reais), CRA = crédito rural da agricultura (reais), VAA = valor adicionado na agropecuária (milhões de reais), PVA = participação da agropecuária no valor arrecadado total (%), AC = área colhida (ha), VP = valor da produção do cafeeiro (mil reais correntes) e VAF = valor adicionado fiscal da agricultura e pecuária (mil reais correntes).

	Oferta	CR	CRA	VAA	PVA	AC	VP	VAF
Oferta	1							
CR	0,352	1						
CRA	0,383	0,998	1					
VAA	0,235	0,623	0,61	1				
PVA	0,003	-0,363	-0,342	-0,143	1			
AC	0,786*	0,328	0,361	0,074	-0,242	1		
VP	0,863*	0,375	0,396	0,404	0,059	0,643	1	
VAF	0,092	0,681	0,673	0,558	-0,309	0,02	0,06	1

*Valores significativos ao nível de 95% de confiança pelo test F.

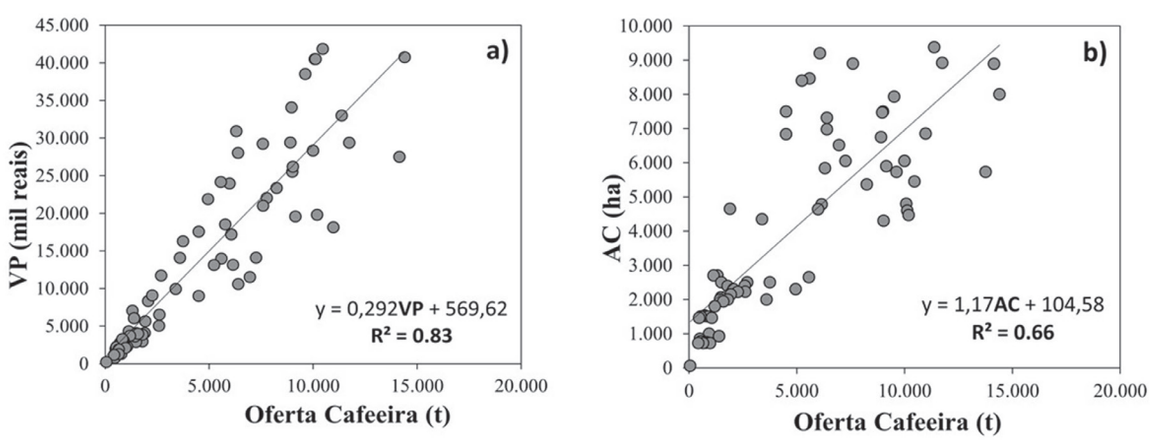


FIGURA 3 - Relação da oferta cafeeira do em função do valor de produção do produto (a) e da área colhida do café (b). R^2 = Coeficiente de determinação ajustado.

TABELA 3 - Análise de variância da Regressão Linear Múltipla utilizando como variável dependente a oferta de café e como variáveis independentes os fatores econômicos. GL = grau de liberdade, SQ = soma dos quadrados e QM = quadrado médio.

	GL	*SQ*	*QM*	*F*	*F de significação*
Regressão	7	18,25164	2,607377	257,7291	$2,40 \times 10^{-47*}$
Resíduo	70	0,708172	0,010117		
Total	77	18,95981			

*Significativo a 1%

TABELA 4 - Desempenho do ajuste da regressão utilizando como variável dependente a oferta cafeeira e como variável independente as variáveis econômicos do Nordeste do Estado de São Paulo.

Estatística da regressão	
R múltiplo	0,981147
R-Quadrado	0,962649
R-quadrado ajustado	0,958914
Erro padrão Total	0,100582
MAPE	1,6866
Observações	78

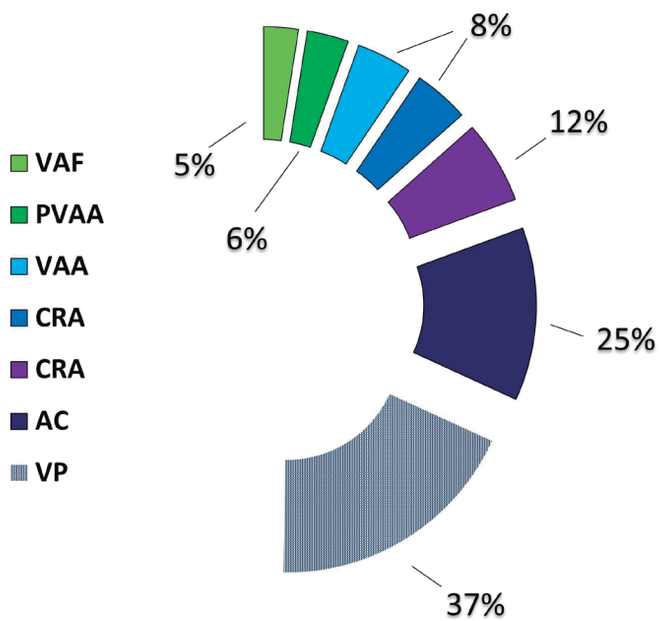


FIGURA 4 - Nível de importância de cada variável econômica na estimativa da oferta cafeeira no Nordeste do Estado de São Paulo, Brasil. Legenda: CRA = crédito rural da agricultura (reais), VAA = valor adicionado na agropecuária (milhões de reais), PVA = participação da agropecuária no valor adicionado total (%), AC = área colhida (ha), VP = valor da produção do cafeeiro (mil reais correntes), VAF = valor adicionado fiscal da agricultura e pecuária (reais).

TABELA 5 - Coeficientes estimados no modelo das variáveis econômicas em função da oferta cafeeira do Nordeste do Estado de São Paulo.

	Coeficientes	Erro padrão	*Stat t*	*valor-P*
Interseção	0,482052	0,557427	0,864781	0,390113
CR-log	-0,20418	0,316905	-0,6443	0,521484
CRA-log	0,145425	0,270335	0,537944	0,592322
VAA-log	-0,13408	0,060556	-2,2142	0,030074
PVAA-log	0,104891	0,043616	2,40486	0,018827
AC-log	0,438709	0,068236	6,429297	1,35E-08
VP-log	0,660589	0,062326	10,59891	3,37E-16
VAF-log	0,086571	0,030718	2,81825	0,006273

Legenda: CR = crédito rural total (reais), CRA = crédito rural da agricultura (reais), VAA = valor adicionado na agropecuária (milhões de reais), PVA = participação da agropecuária no valor arrecadado total (%), AC = área colhida (ha), VP = valor da produção do cafeeiro (mil reais correntes) e VAF = valor adicionado fiscal da agricultura e pecuária (mil reais correntes).

4 CONCLUSÕES

O modelo desenvolvido para estimar a oferta do cafeeiro em função das variáveis econômicas demonstrou elevada significância ($p < 0,05$), com alta precisão ($R^2adj = 0,958$) e baixo erro (MAPE<1,7%).

A evolução da oferta cafeeira é significativamente sensível às variações dos fatores econômicos. As variáveis econômicas com maior influência na variação da oferta cafeeira são a área colhida de café e o valor de produção do café, sendo responsáveis por 37 e 25% da variação da oferta cafeeira, respectivamente. A participação da agropecuária no valor adicionado total e o valor adicionado fiscal da agricultura são as variáveis com menor influência na oferta cafeeira.

5 REFERÊNCIAS

AMARASINGHE, U. A. et al. Toward sustainable coffee production in Vietnam: more coffee with less water. **Agricultural Systems**, Toowoomba, v. 136, p. 96-105, 2015.

AMARO, G. **Análise econométrica da oferta e da demanda de banana no Estado de Roraima no período de 1995 a 2007**. Boa Vista: EMBRAPA Roraima, 2010. Comunicado Técnico (CPAF-RR).

APARECIDO, L. E. O. et al. Agrometeorological models for forecasting coffee yield. **Agronomy Journal**, Madison, v. 109, p. 249-258, 2016.

APARECIDO, L. E. O.; ROLIM, G. S.; SOUZA, P. S. Sensitivity of newly transplanted coffee plants to climatic conditions at altitudes of Minas Gerais, Brazil. **Australian Journal of Crop Science**, Queensland, v. 9, n. 2, p. 160-167, 2015.

BACCHI, M. R. P.; CALDARELLI, C. E. Impactos socioeconômicos da expansão do setor sucroenergético no Estado de São Paulo, entre o período de 2005 e 2009. **Nova Economia**, Belo Horizonte, v. 25, n. 1, p. 209-244, 2015.

BARBOSA, J. N. et al. Coffee quality and its interactions with environmental factors in Minas Gerais, Brazil. **Journal of Agricultural Science**, Alberta, v. 4, n. 5, p. 181-190, 2012.

BARICELO, L. G.; BACHA, C. J. C. Oferta e demanda de máquinas agrícolas no Brasil. **Revista de Política Agrícola**, Brasília, v. 22, n. 4, p. 64-83, 2013.

BARROS, G. S. C.; SPOLADOR, H. F. S.; BACCHI, M. R. P. Supply and demand schocks and the growth of the Brazilian Agriculture. **Revista Brasileira de Economia**, Rio de Janeiro, v. 63, n. 1, p. 35-50, 2009.

BATISTA, L. A. et al. Anatomia foliar e potencial hídrico na tolerância de cultivares de café ao estresse hídrico. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 41, n. 3, p. 475-481, 2010.

CARNEIRO, M. J. Política pública e agricultura familiar: uma leitura do Pronaf. **Revista Estudos Sociedade e Agricultura**, Rio de Janeiro, v. 1, n. 8, p. 70-82, 1997.

CARVALHO, M. A. et al. Políticas públicas e competitividade da agricultura. **Revista de Economia Política**, São Paulo, v. 21, n. 1, p. 70-82, 2001.

CHIPANSHI, A. et al. Evaluation of the Integrated Canadian Crop Yield Forecaster (ICCYF) model for in-season prediction of crop yield across the Canadian agricultural landscape. **Agricultural and Forest Meteorology**, New Haven, v. 206, p. 137-150, 2015.

GOURANGA, K.; ASHWANI, K. Forecasting rainfed rice yield with biomass of early phenophases, peak intercepted PAR and ground based remotely sensed vegetation indices. **Journal of Agrometeorology**, Netherlands, v. 16, p. 94-103, 2014.

GUJARATI, D. N.; PORTER, D. C. **Econometria básica**. Porto Alegre: AMGH, 2011.

INSTITUTO DE ECONOMIA AGRÍCOLA. **Banco de dados, 2016**. Disponível em: <http://www.iea.sp.gov.br/out/bancodedados.html>. Acesso em: 17 dez. 2016.

KITZBERGER, C. S. G. et al. Diterpenes in green and roasted coffee of *Coffea arabica* cultivars growing in the same edapho-climatic conditions. **Journal of Food Composition and Analysis**, New York, v. 30, p. 52-57, 2013.

PINDYCK, R. S.; RUBINFELD, D. L. **Microeconomia**. São Paulo: Makron Books, 1994.

PINTO, V. M. et al. Deep drainage modeling for a fertigated coffee plantation in the Brazilian savanna. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 148, p. 130-140, 2015.

SANTOS, V. E.; GOMES, M. T. M.; GOMES, M. F. M. Estimativa da elasticidade-renda do consumo de café na região sudeste do brasil. **Revista de Economia e Agronegócio**, Viçosa, v. 3, n. 4, p. 537-558, 2015.

WHITE, H. A heteroskedasticity-consistent covariance matrix and a direct test for heteroskedasticity. **Econometrica**, London, v. 48, p. 817-838, 1980.

ZELBER-SAGI, S. et al. Coffee consumption and nonalcoholic fatty liver onset: a prospective study in the general population. **Translational Research**, New York, v. 165, p. 428-436, 2015.

ARBUSCULAR MYCORRHIZA IN *Coffea arabica* L.: REVIEW AND META- ANALYSIS

Franciane Diniz Cogo[1], Paulo Tácito Gontijo Guimarães[2], Enrique Pouyú Rojas[3], Orivaldo José Saggin Júnior[4], Jose Oswaldo Siqueira[5], Marco Aurelio Carbone Carneiro[6]

(Recebido: 04 de maio de 2016; aceito: 16 de novembro de 2016)

ABSTRACT: Coffee, a plant of global economic importance, presents a high degree of micotrophy for nutrients absorption, especially phosphorus, whose sources are scarce, and extremely required in tropical soils. Arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) and coffee crop (*Coffea arabica*) have been studied for more than three decades, and therefore, analyzing and gathering these studies in a quantitative and qualitative way by means of meta-analysis and critical review of advances and trends is of great relevance. In this review, aspects such as geographic distribution, ecology, effects on plant growth, mineral nutrition, myotrophism, and symbiotic efficiency and its applications were discussed, with special emphasis on the researches carried out in Brazil. By applying the electronic databases Cab Abstracts, Springerlink, Science Direct, Scielo, Scopus, ISI, Lilascs, Woldcat, 73 studies were analyzed, including papers, dissertations and theses. The meta-analysis showed the importance of AMF for growth, plant nutrition and grain yield. Nevertheless, a gap is still evident in the evaluation of the different management strategies adopted in coffee crop and their effects on AMF. The need to extend the research under field conditions was also detected, in order to confer the real contribution of AMF in coffee biocontrol, and their action as biofertilizers and biostimulants.

Index terms: *Coffea arabica*, plant growth, yield, arbuscular mycorrhizal fungi, symbiotic efficiency, mineral nutrition.

MICORRIZAS ARBUSCULARES EM CAFEEIRO *Coffea arabica* L.: REVISÃO E META-ANÁLISE

***RESUMO*:** *O cafeeiro, planta de importância econômica mundial, apresenta elevado grau de micotrofia para a absorção de nutrientes, em especial de fósforo, cujas fontes são escassas, requeridas em grande quantidade em solos tropicais. Os fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) e a cultura do cafeeiro (Coffea arabica) têm sido objeto de estudo há mais de três décadas e, por isso, é relevante analisar e reunir esses estudos de maneira quantitativa e qualitativa, empregando-se meta-análise e revisão crítica dos avanços e tendências. Nesta revisão foi discutido aspecto de distribuição geográfica, ecologia, efeitos no crescimento vegetal, nutrição mineral, micotrofismo, eficiência simbiótica e suas aplicações, com ênfase nas pesquisas realizadas no Brasil. Empregando as bases de dados eletrônicas Cab Abstracts, Springerlink, Science Direct, Scielo, Scopus, ISI, Lilascs, Woldcat, foram 73 estudos analisados entre artigos, dissertações e teses. A meta-análise mostrou a importância dos FMAs para o crescimento, nutrição de plantas e produção de grãos. No entanto, fica evidente ainda uma lacuna na avaliação dos diferentes manejos adotados na cultura do cafeeiro e seus efeitos nos FMAs e a necessidade de ampliar as pesquisas, em condições de campo, para se conferir a contribuição real dos FMAs como biofertilizantes e bioestimulantes e no biocontrole para o cafeeiro.*

Termos para indexação: *Coffea arabica, crescimento de plantas, produtividade, fungos micorrízicos arbusculares, eficiência simbiótica, nutrição mineral.*

1 INTRODUCTION

The occurrence of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) in coffee crops is common, and is naturally identified in nursery (SIQUEIRA et al., 1987) and in the field (ARIAS et al., 2012; BEENHOUWER et al., 2015). Coffee plants present a high degree of mycorrhizal dependence (SIQUEIRA; COLOZZI-FILHO, 1986), mainly in soils with low available P content (KAHILUOTO; KETOJA; VESTBERG, 2012).

AMF form a symbiotic, endophytic, biotrophic, and mutualist association, developed as the roots of vascular plants (BRUNDRETT, 2002; SCHULZ; BOYLE, 2005; SIQUEIRA, 1993). These fungi colonize the cortex of the roots, with inter- and intracellular penetration without visual morphological changes, by means of modifications in the hyphae, forming arbuscules, vesicles and spores (LAMBAIS, 1996; SIQUEIRA, 1993). The extrarradiculares hyphae can explore the soil in microenvironments, which are sites where

[1,6]Universidade Federal de Lavras/UFLA Departamento de Ciência do Solo/DCS - 37.200-000 - Lavras - MG - fdcogo@yahoo.com.br, marcocarbone@dcs.ufla.br
[2]Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais/EPAMIG - Cx. P. 176 - 37.200-000 - Lavras - MG - paulotgg@ufla.br
[3]Consultor da E.P.R. Consultória Agronômica - Rondonópolis - MT- 78700-000 - epouyu@gmail.com
[4]Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Centro Nacional de Pesquisa de Agrobiologia - 70.770-901 - Seropédica - RJ orivaldo.saggin@embrapa.br
[5]Universidade Federal de Lavras/UFLA - Departamento de Ciência do Solo e Instituto Tecnológico Vale - 66.055-090 - Belém - PA jose.oswaldo.siqueira@itv.org

the roots do not reach, consequently favoring the absorption of water and nutrients by the host plant (SAGGIN-JÚNIOR et al., 1995; TRISTÃO; ANDRADE; SILVEIRA, 2006), especially those of low mobility in the soil, such as phosphorus (ALBÁN; GUERRERO; TORO, 2013).

Phosphorus stands out among the nutrients. Its absorption is favored by AMF for being an ion of slow diffusion in the soil (HINSINGER, 2001), and for the strong fixation with iron and aluminum oxides, which reduces the efficiency of phosphate fertilization (STÜMER; SIQUEIRA, 2013). In addition, natural phosphorus sources are scarce in Brazil, and the nutrient is highly required in tropical soils. Other essential elements absorbed by AMF are zinc (ANDRADE et al., 2009), copper (COLOZZI-FILHO et al., 1994; SIQUEIRA; COLOZZI-FILHO; SAGGIN-JÚNIOR, 1994), and nitrogene (HODGE; CAMPBELL; FITTER, 2001) in the form of nitrate and ammonium (HOOKER; BLACK, 1995).

AMF's fungal hyphae directly protects the plant from the toxicity caused by manganese (SAGGIN-JÚNIOR et al., 1992), copper and zinc (ANDRADE; SILVEIRA; MAZZAFERA., 2010). This great plant nutrition provided by AMF increases plant biomass (TRISTÃO; ANDRADE; SILVEIRA, 2006), and consequently increases yield (COLOZZI-FILHO et al., 1994). In addition, AMF increases soil aggregation (CARNEIRO et al., 2015), and tolerance to disease and pests (VAAST; CASWELL-CHEN; ZASOSKI, 1998), and to water deficit (ANAYA et al., 2011).

Considering the high number of studies on AMF and coffee crop, and that these studies have not yet been collected in a publication, the systematic literature review with meta-analyses becomes extremely important. Meta-analysis consists of a quantitative review that aggregates and synthesizes the literature on a subject, supported by statistical methods (OLKIN, 1995).

To date, three meta-analyses have been performed using mycorrhizal fungi (BARTO; RILLIG, 2010; LEHMANN et al., 2010; MAYERHOFER; KERNAGHAN; HARPER, 2012). The analysis carried out by Barto and Rillig's (2010) was based on 99 experiments extracted from 33 publications, in order to verify the influence of herbivority on carbon transfer to AMF. Lehmann et al. (2010) studied the importance of the year of publication and the response of AMF to root colonization and phosphorus acquisition efficiency. Moreover, Mayerhofer, Kernaghan and Harper (2012) determined the effects of inoculation of root-endophyte fungi on plant biomass and nitrogen concentration.

The above reviews are not focused on a specific agricultural crop, such as coffee. Thus, meta-analysis on AMF and coffee crop provides information value and potential to indicate new advances and trends for this research field.

Therefore, the objective of this work is to present a review with meta-analysis using studies on AMF in coffee plants. In this paper, aspects such as geographic distribution, ecology, effects on plant growth, mineral nutrition, myotrophism, and symbiotic efficiency and its applications were discussed, with special emphasis on researches carried out in Brazil. Advances and trends for future researches were also mentioned, and should indicate the perspectives for the introduction of the technology as a management practice in the coffee production chain.

2 MATERIAL AND METHODS

2.1 Data collection

The electronic databases Cab Abstracts, Springer, Scielo, Scopus, ISI, Lilascs, Woldcat, as well as printed journals, dissertations and theses were used to construct the database, gathering references between the years of 1978 and 2015. The following index terms (key words) were used for the research: [Arbuscular mycorrhizal fungi* (coffee or *Coffea Arabica*, or plant development, or plant nutrition, or phosphate nutrition, or field inoculation, or persistence, or dissemination, or effects on the plant, or phosphorus availability, or coffee seedlings, or nursery seedlings, or seedlings in the field, or nutrient availability, or symbiosis)], and [Coffee* (mycorrhizae, or phosphorus, or root colonization, or native endomycorrhizal, or native mycorrhizal fungi, or symbiosis, or mycorrhizal inoculation)].

Data was extracted from the individual analysis of each publication, by collecting: country of origin, experimental site (laboratory, field, and greenhouse), objectives (biofertilizers, biocontrol, seasonal fluctuation, persistence in the field, yield, and taxonomic idenditication), root colonization, number of spores, AMF species, and plant growth variables (plant height, stem diameter, plant biomass, P content in the shoot). For all variables related to plant growth, the presence (treatment) and absence (control) of mycorrhizae were considered.

When a publication reported more than one variable, this publication was treated as a separate experiment, and when the thesis or dissertation presented data published in papers, these data

were considered only once. The conclusion of this study, the analysis, and the interpretation were based on "Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses: The PRISMA Statement" (MOHER et al., 2009), consisting of a support by means of guidelines and checklist.

2.2 Data analysis

2.2.1 Qualitative analysis

The data collected from the country of origin, experiment site, objectives, root colonization, number of spores, and AMF species were analyzed using the method of structuring qualitative content analysis (BARDIN, 1994). This technique consists of decomposing the discourse and identification of units of analysis or groups, by means of pre-analysis, exploration of the material, and treatment of the results, from which significant and valid results can be reconstructed, in order to generate deep knowledge and interpretation of reality, which allows inferences (SILVA; GOBBI; SIMÃO, 2005).

2.2.2 Quantitative analysis

For the colonization and number of spores, the standard error of the mean was calculated for each of the experiments, showing the variability between the studies (BANZATTO; KRONKA, 2013).

In order to compare the effect of AMF on coffee plants growth, the effect size (ES) was calculated in each study. This value is obtained from an analysis that summarizes the differences between experimental and control groups (HARTUNG; KANAPP; SINHA, 2008). The effect size allows measuring the overall effect (significant effect of the treatment compared with the control) and its associated variance (GUREVITCH; HEDGES, 1999; HEDGES; GUREVITCH; CURTIS, 1999). Effect sizes were calculated by the ratio between X^E (experimental treatments) and X^C (control treatment) (NEYELOFF; FUCHS; MOREIRA, 2012).

$$TE = \frac{X^E}{X^C}$$

The choice of the ES is justified, for it has direct biological meaning. Values higher than 1 indicate an increase in the effect on the variables with the inoculation (positive response); values between 0 and 1 indicate a decrease (negative response); and 1 is neutral (treatments with inoculation equal to the treatment without inoculation). The effect size was also calculated individually for each studied AMF species in function of P content in the shoot and grain yield.

Effect sizes were estimated using a Microsoft Excel spreadsheet (NEYELOFF; FUCHS; MOREIRA, 2012). All analyses were performed assuming random effect. The random effect model considers the variation within and between each study, since the studies are connected by a normal probability distribution (RODRIGUES; ZIEGELMAN, 2010). The random effects model was described as:

$$Yj = \Theta m + Zj + \varepsilon j$$

Where εj is the random error of the study j; Zj is the random effect of each study j; and Θm is the meta-analytic measure.

The effect size (ES), the standard error (S_x), the individual confidence interval (CI), and the individual weight (W) and the weight of each group were calculated for this model.

$$ES = \frac{x^E}{x^C}; Sx = \frac{s}{\sqrt{n}}; CI = X \mp (1.96)\frac{s}{\sqrt{n}}; W = \frac{1}{\sqrt{Sx}};$$

In order to validate the basic assumptions of analysis of variance, the I^2 tests (measure of inconsistency to verify the variance heterogeneity) were performed, being described as:

$$I^2 = \frac{Q-(J-1)}{Q} X100$$

Where I^2 is the measure of inconsistency, Q is the Cochran test statistic, and J is the number of studies (HIGGINS; THOMPSN, 2002).

The I^2 test describes the percentage of variation between the studies by means of values that range from 0% to 100%, with negative values equal to zero. Values close to 0% indicate non-heterogeneity between studies; values close to 25% indicate low heterogeneity; values of 50% indicate moderate heterogeneity; and values of 75% indicate high heterogeneity (HIGGINS; THOMPSN, 2002).

3 RESULTS AND DISCUSSION

3.1 Review of published studies

The search in the literature from the list of titles of all databases and other printed sources identified 10,037 bibliographical references and,

of these, 291 publications were selected from their titles and abstracts. However, 218 publications were excluded, since they did not meet the validation criteria for inclusion in a meta-analysis. For instance, some studies did not contain the control plant (not inoculated with AMF), which is important information to perform the meta-analyses. Some publications were related to other agricultural crops, and others did not present the inoculated AMF species. Finally, 61 papers, 10 dissertations, and 3 theses that met the validity criteria for inclusion in the meta-analysis (supplementary material 1) were used.

3.2 Distribution by country, objectives and experimental sites

Studies on AMF and coffee crop were carried out in Brazil, Colombia, Cuba, Ethiopia, India, Mexico, Nigeria, Puerto Rico, Venezuela, and Yemen (Table 1). Although the presence of AMF in coffee (*Coffea arabica*) was first observed by Janse (1897) in Java Island, only after almost 80 years the importance of these fungi for coffee crop was experimentally demonstrated.

In Brazil, the first studies were carried out by Cardoso (1978) with the description and evaluation of the presence of AMF in coffee plants from the state of São Paulo. Then, Lopes et al. (1983a) published studies carried out at the Agronomic Institute of Campinas-SP as part of his PhD thesis. These studies motivated the beginning of research in several other laboratories in Brazil (CALDEIRA; CHAVES; ZAMBOLIM, 1983a, 1983b). In the Federal University of Lavras - UFLA, investigations on AMF in coffee began in the 1980s by Prof. Dr. José Oswaldo Siqueira (UFLA), following the stages of diversity, ecology, effects on growth, nutrition and application, representing a great contribution to the scientific and technological clarification of the importance of this symbiosis for coffee crop.

Most of the studies were carried out in Brazil, being 53.6% of them in the Federal University of Lavras and 17.1% in the College of Agriculture of the University of São Paulo Luiz de Queiroz (ESALQ). This great Brazilian contribution to the study on AMF in coffee is due to the fact that Brazil is one of the largest coffee producers in the world (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB, 2015), associated with the fact that Brazilian soils present low content of available P and high fixation in iron and aluminum oxide (LOPES; COX, 1977), and with the high degree of mycorrhizal dependence by coffee plants (SIQUEIRA; COLOZZI FILHO, 1986).

Studies on AMF and coffee crop included three sites: greenhouse (54%), field (44%), and laboratory (2%) (Table 1). Most of the studies carried out in greenhouse were related to the biofertilizer function of AMF (87%) for coffee crop, especially at the initial stages of coffee seedlings, in the nursery. Most of the research carried out in greenhouse evaluated the nutritional improvement of coffee seedlings provided by AMF, such as increase in the absorption of several macronutrients and micronutrients, and increase in plant growth (Table 1).

3.3 Effect of disease tolerance

Six studies sought to verify the increase in tolerance to pest and disease (biocontrol), by evaluating the interaction of AMF with *Rhizoctonia solani* (PEREIRA, 1994); *Pratylenchus coffeae* (VAAST; CASWELL-CHEN; ZASOSKI, 1998); *Phoma costarricencis* (AGUILAR, 2002); *Hemileia vastatrix* (THANGARAJU et al., 2008); *Colletotrichum gloeosporioides* and *Cercospora coffeicola* (COLMENÁREZ-BETANCOURT; PINEDA, 2011); and *Meloidoyne exigua* (ALBAN; GUERRERO; TORO, 2013), and indicated the relevance of AMF in reducing the losses caused by diseases, confirming the benefits of AMF. Although AMF do not control diseases, they alleviate damage by improving plant growth and vigor (SIQUEIRA, 1993).

In field conditions, 32 studies were reported, of which 24 sought to identify AMF species that associated with coffee. Three studies verified the relationship between AMF and coffee yield (COLOZZI-FILHO et al., 1994; SIQUEIRA et al., 1993, 1998). Three other studies reported the seasonal fluctuation of mycorrhizal fungi community in the field, and the influence of dry and rainy seasons in the sporulation of native AMF (BONFIM et al., 2010). Another study evaluated coffee from the seedlings inoculated with *Gigaspora margarita*, and reported that five years after planting in the field, the AMF species introduced by the pre-colonized seedlings were still present and interacted with native AMF species, varying the behavior according to the AMF species (BALOTA; LOPES, 1996b). The persistence of the inoculated mycorrhizal fungi in the field decreased over the years after planting (BALOTA; LOPES, 1996a).

TABLE 1 - Distribution by country, experimental site, and objectives of the research.

Country	Experimental site			
	Objectives	**Field**	**Greenhouse**	**Laboratory**
Brazil	Biofertilizer	Colozzi- Filho et al. (1994) and Siqueira et al. (1998)	Andrade, Silveira and Mazzafera (2010), Antunes, Silveira and Cardoso (1988), Caldeira, Chaves and Zambolim (1983a), Cardoso (1978), Clemente (1988), Colozzi-Filho et al. (1994), Colozzi-Filho and Siqueira (1986), França et al. (2014), Konrad (2003), Lopes et al. (1983a), Saggin-Júnior et al. (1992, 1994, 1995a, 1995b), Siqueira and Colozzi-Filho (1986), Siqueira, Colozzi-Filho and Saggin-Júnior (1994), Siqueira et al. (1993, 1995, 1998), Souza et al. (1991), Souza, Oliveira and Carvalho (1989), and Tristão, Andrade and Silveira (2006)	-
	Biocontrol	-	Pereira (1994)	-
	Establishment	-	Siqueira and Colozzi-Filho (1986)	-
	Seasonal fluctuation	Balota and Lopes (1996b) and Bonfim et al. (2010)	-	-
	Persistence	Balota and Lopes (1996a)	-	-
	Yield	Colozzi-Filho et al. (1994) and Siqueira et al. (1993, 1998)	-	-
	Taxonomy	Alves et al. (2014), Andrade et al. (1995), Azevedo (2005), Caldeira, Chaves and Zambolim (1983b), Cardoso et al. (2003), Colozzi-Filho and Cardoso (2000), Fernandes (2009), Fernandes and Siqueira (1989), Lopes et al. (1983b), Oliveira et al. (1990), Siqueira et al. (1986), Souza et al. (1987), Texeira et al. (2010) and Theodoro et al. (2003)	Siqueira et al. (1987)	-
Colombia	Biofertilizer	-	Arango, Ochoa and Rocledo (1989)	-
	Taxonomy	Castro and Conde (2012)	-	-
Cuba	Biofertilizer	-	Esmoris et al. (2011), Rivera et al. (2010) and Sánchez et al. (2005)	-
USA	Biofertilizer	-	Vaast and Zasoski (1991, 1992)	Vaast, Zasoski and Bledsoe (1996)
	Biocontrol	-	Vaast, Caswell-Chen and Zasoski (1998)	-
Ethiopia	Taxonomia	Beenhower et al. (2015), Chanie (2006), Muleta et al. (2007) and Muleta, Assefa and Nemomissa (2008)	-	-

India	Biofertilizer	-	Biradar et al. (2006)	-
	Biocontrol	-	Thangaraju et al. (2008)	-
	Taxonomy	Lakshmipathy, Balakrishna and Bayaraj (2012)	-	-
Mexico	Biofertilizer	-	Aguilar (2002), Aguirre-Medina et al. (2011) and Anaya et al. (2011)	-
	Taxonomy	Arias et al. (2012) and Trejo et al. (2011)	-	-
Nigeria	Biofertilizer	-	Ibiremo, Oloyede and Iremiren (2011)	-
Puerto Rico	Taxonomy	Lebrón, Lodge and Bayman (2012)	-	-
Venezuela	Biocontrol	-	Alban, Guerrero and Toro (2013) and Colmenárez-Betancourt and Pineda (2011)	-
Yemen	Taxonomy	Al-Arequi et al. (2013)	-	-

Only one study was carried out in the laboratory, with *in vitro* propagation of seedlings performed by Vaast, Zasoski and Bledsoe (1996), who observed a 50% increase in plant growth when were inoculated with the species *Acaulospora mellea*, or *Rhizophagus clarus*, in soil of low P availability.

Studies carried out in greenhouse to verify the interactions of coffee seedlings inoculated with AMF with different pathogens showed an increase in root colonization of approximately 38.6% (Figure 1), and higher survival in relation to the non-inoculated plants (AGUILAR, 2002; ALBAN; GUERRERO; TORO 2013; COLMENÁREZ-BETANCOURT; PINEDA, 2011; PEREIRA, 1994; THANGARAJU et al., 2008; VAAST; CASWELL-CHEN; ZOSOSKI, 1998). Vaast, Caswell-Chen and Zasoski (1998) stated that coffee plants previously inoculated with AMF and with the pathogen *Pratylenchus coffeae* showed higher plant survival and greater development of traits related to growth and nutrition, such as leaf area, root length, and leaf phosphorus content.

The presence of root pathogens and AMF provides physiological changes in the root system. These changes in metabolism can promote the plant-fungus interaction, allowing the AMF to colonize the roots more quickly than the pathogen.

The tolerance to the pathogen induced by AMF is also attributed to the physical and physiological changes in the roots, forming barriers such as the activation of metabolites related to the defense of the plant, or physical occupation of infection sites and competition for the absorption of nutrients, making the plants healthier and more resistant to invasion by the pathogen (VAAST; CASWELL-CHEN; ZASOSKI, 1998).

The presence of different pathogens generated the same effect, since plants inoculated with different pathogens presented similar mycorrhizal colonization percentage. Coffee seedlings inoculated with *Rhizoctonia solani* (PEREIRA, 1994), *Pratylenchus coffeae* (VAAST; CASWELL-CHEN; ZASOSKI, 1998), *Phoma costarricencis* (AGUILAR, 2002), and *Meloidoyne exigua* (ALBAN; GUERRERO; TORO, 2013) presented 48.33%, 45.5%, 42.96%, and 40.33% for root colonization, respectively. These results demonstrated that AMF promoted greater tolerance to pathogen attack in the plants (AGUILAR, 2002; ALBAN; GUERRERO; TORO, 2013; PEREIRA, 1994; VAAST; CASWELL-CHEN; ZASOSKI, 1998).

Considering the benefits of AMF on the tolerance of coffee plants to nematodes, inoculation of nursery seedlings is highly recommended, mainly because the change in the substrates did not alter the behavior of AMF in tolerance to pathogen attack. In addition, AMF reduced the time required for seedling formation in the nursery and contributed to seedling growth and nutrition (SIQUEIRA et al., 1993), which may also favor seedlings planting in areas infested with the pathogen.

3. 3 Symbiosis functioning: mycorrhizal colonization and number of spores

Twenty-four studies analyzed root colonization in roots collected in nursery or in greenhouse (ALVES et al., 2014; ANAYA et al., 2011; ANDRADE; SILVEIRA; MAZZAFERA, 2010; ANTUNES; SILVEIRA; CARDOSO,

1988; CALDEIRA; CHAVES; ZAMBOLIM, 1983a; CLEMENTE, 1988; COLOZZI-FILHO et al., 1994; ESMORIS et al., 2011; FRANÇA et al., 2014; IBIREMO; OLOYEDE; IREMIREN, 2011; KONRAD, 2003; LOPES et al., 1983b; RIVERA et al., 2010; SAGGIN-JÚNIOR et al., 1992, 1994, 1995b; SIQUEIRA; COLOZZI, 1986; SIQUEIRA; COLOZZI-FILHO; SAGGIN-JÚNIO, 1994; SIQUEIRA et al., 1987, 1995; SOUZA et al., 1991; SOUZA; OLIVEIRA; CARVALHO, 1989; TRISTÃO; ANDRADE; SILVEIRA, 2006; VAAST; ZASOSKI, 1992), and five studies analyzed the number of AMF spores (KONRAD, 2003; LOPES et al., 1983a; RIVERA et al., 2010; SIQUEIRA et al., 1987, 1995) at the stage of coffee seedling formation in greenhouse or nursery.

Studies on root colonization and number of AMF spores presented 7.2% minimum mean, and 70% maximum mean, and 8 to 43 spores per 50 mL of substrate. Such variations can be attributed to substrate diversity, AMF species, and to the use of soil fumigation (KONRAD, 2003; SIQUEIRA et al., 1987; THANGARAJU et al., 2008).

Colonization data and number of spores in coffee seedlings without AMF inoculation were collected from a study carried out by Siqueira et al. (1987) with 288 samples collected in 72 commercial nurseries, distributed in 29 municipalities located in the south of the state of Minas Gerais (Figure 1). Despite being a unique study, the mean is representative, and thus, it was compared with the other studies in figure 1.

These results indicate that the inoculation of coffee seedlings with efficient AMF species at nursery stage contributes to the increase of colonization of coffee seedlings by AMF, and consequently to the development of healthier seedlings, which are more tolerant to transplant stress. This effect associated with AMF remains for 12 months after planting in the field (COLOZZI-FILHO et al., 1994). Coffee seedlings inoculated with AMF have greater survival capacity and initial growth after transplanting to the field, which is a critical stage in the formation of coffee crops (VALLONE et al., 2010).

Eighteen studies evaluated root colonization in roots collected in the field (AL-AREQUI et al., 2013; ALVES et al., 2014; ANDRADE et al., 1995; AZEVEDO, 2005; BALOTA; LOPES, 1996a, 1996b; BONFIM et al., 2010; CHANIE, 2006; COLOZZI et al., 1994; FERNANDES, 2009; FERNANDES; SIUEIRA, 1989; LAKSHMIPATHY; BALAKRISHA; BAGYARAJ, 2012; LAMMEL et al., 2014; SIQUEIRA et al., 1986, 1993, 1998; THEODORO et al., 2003; TREJO et al., 2011); and 22 evaluated the number of spores in the field (AL-AREQUI et al., 2013; ALVES et al., 2014; ANDRADE et al., 1995; ARIAS et al., 2012; AZEVEDO, 2005; BALOTA; LOPES, 1996a, 1996b; BONFIM et al., 2010; CARDOSO et al., 2003; CASTRO; CONDE, 2012; COLOZZI-FILHO et al., 1994; FERNANDES, 2009; FERNANDES; SIQUEIRA, 1989; LAKSHMIPATHY; BALAKRISHNA; BAGYARAJ, 2012; LAMMEL et al., 2014; LÉBRON; LODGE; BAYMAN, 2012; LOPES et al., 1983b; MULETA; ASSEFA; NEMOMISSA, 2008; MULETA et al., 2007; OLIVEIRA et al., 1990; SIQUEIRA et al., 1986; TEXEIRA et al., 2010). Of these, four studies (BALOTA; LOPES, 1996a; COLOZZI et al., 1994; SIQUEIRA et al., 1993, 1998) are related to seedlings inoculated with AMF and transported to the field. These seedlings had a percentage of colonization similar to that of uninoculated seedlings; however, the number of spores was higher. These results demonstrated great variation among the studies regarding the number of spores in the field, ranging from 2 to 287 spores per 50 mL of substrate. These results showed that the effects of inoculation of efficient AMF species in the form of coffee plant seedlings does remain two years after planting in the field (BALOTA; LOPES, 1996a, 1996b; SIQUEIRA et al., 1993a).

Over time, native AMF species become more competitive for the plant, which explains the dominance of occurrence of certain species in coffee. Another critical point of seedling innoculation is the field environment, which is very different from the conditions of each vegetation where the fungus was efficient. This leads to a lack of adaptation of the fungus to the new field conditions. In addition, the crops undergo extensive soil modifications for planting (plowing, liming, plastering, phosphating, and the use of agrochemicals), which also affect the inoculated AMF species, making it necessary to identify efficient species adapted to coffee management system in the field.

In this sense, the knowledge on the factors that control mycorrhizal colonization in the field is of great importance, since the plant's response to mycorrhization is complex, and it is difficult to relate the factors of the fungus, plant and environment (FERNANDES; SIQUEIRA, 1989).

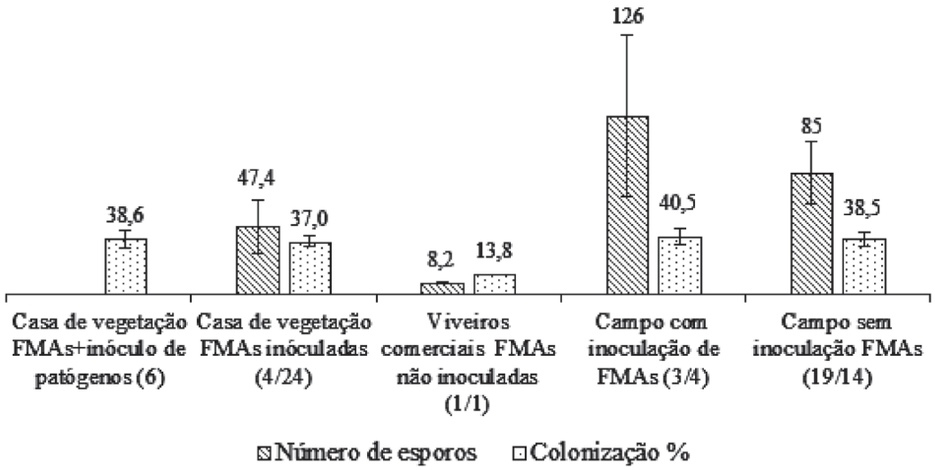


FIGURE 1 - Mean values for colonization and number of spores of different studies. In parentheses, the number of studies analyzed for number of spores and root colonization, respectively.

The use of molecular and biochemical techniques are supposed to identify the effect of fungus species and their contribution to coffee in the field. These techniques will allow the control of the action of AMF inoculated in seedlings in the field; the evaluation of the interaction between AMF and other soil microorganisms, such as phosphate solubilizers, diazotrophic bacteria, biological control agents, and soil fauna; and the proposal of researches for the development of commercial inoculants or improvement of crop management in order to maximize the use of native AMF community. Techniques of this nature would elucidate the behavior of the coffee seedlings inoculated throughout the development in the field, and thus, they would make the benefits provided by this symbiosis be used by the coffee producers.

3.4 FMA community in coffee crops

The specific richness of AMF associated with coffee plants is distributed as follows: 22 species of the genus *Glomus*, 18 species of the genus *Acaulospora*, 7 species of the genus *Scutellospora*, 6 species of the genus *Rhizophagus*, 5 species of the genus *Gigaspora,* 3 species of the genus *Funneliformis,* 2 species of the genus *Ambispora,* 2 species of the genus *Claroideoglomus*, 2 species of the genus *Sclerocystis*, 1 species of the genus *Entrophospora,* 1 species of the genus *Paraglomus,* and 1 species of the genus *Archaeospora* (supplementary material 2).

Based on the studies analyzed, the genus *Glomus* presented higher occurrence, and showed greater adaptability and ability to survive, colonize and multiply, demonstrating its importance for terrestrial ecosystems, mainly for coffee crop (COLOZZI-FILHO; CARDOSO, 2000; COLOZZI-FILHO et al., 1994; FERNANDES; SIQUEIRA, 1989; OLIVEIRA et al., 1990).

Studies carried out in the southern state of Minas Gerais consider the species *Acaulospora scrobiculata*, *Acaulospora morrowiae,* and *Acaulospora mellea* as dominant. This result reveals the high adaptability of these three species to the prevailing edaphoclimatic conditions in coffee agroecosystems (FERNANDES; SIQUEIRA, 1989; OLIVEIRA et al., 1990; SIQUEIRA et al., 1986; THEODORO et al., 2003). The predominance of these species does not depend on the coffee cultivar and on the type of management used, and reflects the characteristics of the ecosystem and of the combination with the coffee plant, since they are also found in the commercial nurseries, where these species are also predominant (SIQUEIRA et al., 1987).

The general occurrence of some genera certainly reflects their adaptation to the cultivation and crop management conditions (SIQUEIRA; COLOZZI-FILHO, 1986), and to soil use, soil correction, fertilization, and agrochemicals (SIQUEIRA et al., 1986, 1990). In addition, some genera adapt to other abiotic factors, such as humidity, temperature, luminosity, and aeration, which vary according to the crop management, such as addition of organic matter and plant cover

between rows (ARIAS et al., 2012; BONFIM et al., 2010; SOUZA et al., 1987).

Among 14 studies (supplementary material 1), a total of 70 AMF species (supplementary material 2) were identified in coffee plants rhizosphere. According to Siqueira et al. (2010), these results demonstrate that the cultivation system used in coffee crop has a low impact on the diversity of AMF in relation to other cultivation systems, such as eucalyptus (52 species), pasture (54 species), and also presented the same number of species in revegeted areas (SIQUEIRA et al., 2010). This is due to the fact that coffee plant is very mycotrophic, and not specific in its association with AMF, indicating that soil edaphic conditions do not interfere with mycorrhizal symbiosis. Tillage is only carried out at crop implantation, generating less impact in the AMF community, and the use of correctives improves the root environment, which favors AMF's establishment (SIQUEIRA, 1993).

Brazil presents the highest number of AMFs genus and species found in coffee crops (SAGGIN-JÚNIOR; SIQUEIRA, 1996). The great interest in this subject has placed Brazil in the ranking of mycorrhizal studies, with 82% of the studies involving AMF and coffee crop, and also revealed the Brazilian mycorrhizal diversity, making Brazil known as a country of high mycotrophic diversity (SIQUEIRA et al., 2010). However, the diversity of AMF in Brazil is the result of few researches in some Brazilian states, as reported by Siqueira et al. (2010).

3.5. Meta-analysis results

The I^2 test (inconsistency measure) ranged from zero to 15.8, indicating that the model of random effects is satisfactory for these data. Thus, no substantial changes were reported between the studies analyzed, as presented in Table 2.

The inoculation of coffee plants with AMF significantly increased plant response when compared with uninoculated control, showing the importance of AMF for growth, plant nutrition, and grain yield (Table 2). Effect size was different from 1 for all the variables under study, and indicated the significant mycorrhizal effect on the growth of coffee plant seedlings over the 213 studies (Table 2).

TABLE 2 - I^2 test, effect size (ES), standard error (SE), and confidence interval (CI) for growth parameters of coffee plant seedlings and grain yield.

Treatments	Site	Number of experiments	DF	I^2	ES	SE	-95 % CI	+95 % CI	P –value (t test)
Plant height	greenhouse	36	35	0	1.46	0.06	1.35	1.58	<0.001
Plant height	field	10	9	12.6	1.19	0.03	1.14	1.25	<0.001
Leaf area	greenhouse	8	7	15.8	2.13	0.24	1.65	2.61	0.007
Stem diameter	greenhouse	16	15	0	1.24	0.12	1.01	1.47	0.034
SDMW	greenhouse	47	46	5.4	1.81	0.10	1.60	2.01	0.029
RDMW	greenhouse	12	11	0	3.09	0.61	1.89	4.29	<0.001
Grain yield	field	48	47	35.5	1.28	0.18	1.10	1.46	ns
P contente in the shoot	greenhouse	36	35	0	2.82	0.81	1.22	4.41	0.058
Total		213							

DF: degrees of freedom; SDMW: shoot dry matter weight, RDMW: root dry matter weight.

This result allowed the consistent verification of the magnitude of the direct effects of AMF on growth and yield of coffee plant. These effects can be attributed to the direct action AMF in nutients absorption (TRISTÃO; ANDRADE; SILVEIRA, 2006), heavy metals, salinity, water stress (ANAYA et al., 2011), and root system pathogens, as described above.

The researches showed that AMF present a positive response to coffee seedlings, and no evidence of negative responses was verified. Another important point observed in all the studies on AMF that evaluated growth variables of coffee plants was that the positive results varied according to their amplitude as a function of the AMF species, of the coffee cultivar, of the substrate composition, and of the presence of pathogens. Despite this positive result, attention should be given to AMF species that have proved to be efficient.

In this sense, the growth variables shoot and root dry matter weight in greenhouse was positively affected by the inoculation of the AMF, and presented the greatest effects when compared with the other growth variables (Table 2). Results of the studies indicate that the inoculated AMF species affects the plant response. Plants inoculated with the genera *Glomus* and *Gigaspora* tended to present better growth characteristics when compared with the other genera inoculated alone or in combinations (SAGGIN-JÚNIOR et al., 1995; SIQUEIRA et al., 1993; TRISTÃO; ANDRADE; SILVEIRA, 2006). The species *Gigaspora margarita* (ANTUNES; SILVEIRA; CARDOSO, 1988; LOPES et al., 1983a; SIQUEIRA et al., 1993, 1995), *Ambispora leptoticha* (ANTUNES; SILVEIRA; CARDOSO, 1988), *Rhizophagus clarus* (SIQUEIRA et al., 1993, 1995), and *Claroideoglomus etunicatum* (SIQUEIRA et al., 1993) presented better responses, mainly for shoot dry matter weight and root dry matter weight in greenhouse.

Therefore, AMF species affect plant response, which indicates that symbiotic efficiency has practical implications for a program of massive use of AMF. Efficient fungi strains adapted to the edaphoclimatic conditions and to the type of coffee management should be selected (SIQUEIRA; COLOZZI-FILHO; SAGGIN-JÚNIOR, 1994).

Thirty-five experiments originated from eleven studies (Table 3) carried out in greenhouse showed the benefit of AMF in the P absorption of the soil evaluated by leaf P content. Of all the positive effects, the contribution of AMF to the absorption of nutrients that are not very mobile in the soil has the most practical interest, since these nutrients, especially phosphorus, have low accessibility to the absorbent roots, slow diffusion in the soil, forming a depletion zone around the roots. Moreover, in the case of P, sources are scarce and the nutrient is required in large quantity by crops, including coffee plants in tropical soils (SIQUEIRA, 1990, 1993).

The contribution of AMF to P absorption is of great social and economic interest, since it allows greater efficiency in the use of phosphate fertilizers, generating cost reduction and preservation of water sources of eutrophication. In addition to phosphorus, this symbiosis contributes to the increase in the absorption of other nutrients, such as K, Ca, Mg, S, Cu, and the reduction of Mn and Zn when at toxic levels (SAGGIN-JÚNIOR et al., 1995a; SIQUEIRA et al., 1995), which becomes the most important contribution of AMF to the plants, being extremely relevant to the increase in coffee yield, since most coffee crops are under highly weathered soils, where nutrients are scarce and phosphorus (P), copper (Cu), and zinc (Zn) have low mobility (FURTINI et al., 2001). The presence of AMF in agricultural systems can contribute to their sustainability, especially during the years of coffee monoculture.

The meta-analysis also showed that coffee plants inoculated with AMF presented better yields when compared with uninoculated control (Table 4). The large variation in effect size (ES) is remarkable, and this can be attributed to the species of inoculated AMF and to the dose of phosphorus applied to the pit during tillage.

The lowest yields ranged from 6 to 58 g of benefited coffee per plant at zero dose of phosphorus at planting (SIQUEIRA et al., 1998). This result demonstrates that phosphorus-deficient soils impaired grain yield, but did not inhibit root colonization by AMF, being considered high, ranging from 43 to 55% (SIQUEIRA; COLOZZI-FILHO, 1986). However, phosphatic fertilization favored the symbiosis, with variations in this contribution. For instance, when 7.80 g of P per plant were applied, grain yield was 197 g per plant in the third crop (COLOZZI-FILHO, 1994), while application of 8.73; 17.5; 34.9; and 69.8 g per plant yielded, respectively, 176; 250; 447 and 550 g of benefited coffee per plant in the fifth harvest. Nevertheless, colonization and number of spores linearly decreased with the increase in the phosphorus dose (SIQUEIRA et al., 1998).

TABLE 3 - Phosphorus Content (%) in the shoot of coffee plants inoculated or not with AMF, Effect Size (ES), and Confidence Interval (CI) for seedlings in greenhouse

Author, year	AMF species	Treat-P %	P content %	ES	-95% CI	+95% CI
Antunes, Silveira and Cardoso (1988)	*Gigaspora sp.; Funneliformis mosseae; Funneliformis geosporum; Rhizophagus intraradices*	0,650	0,630	1,03	1,00	1,3
Antunes, Silveira and Cardoso (1988)	*Scutellospora heterogama*	0,580	0,500	1,16	1,05	1,5
Antunes, Silveira and Cardoso (1988)	*Gigaspora margarita*	0,660	0,630	1,05	1,01	1,3
Antunes, Silveira and Cardoso (1988)	*Appendicispora leptoticha*	0,550	0,500	1,10	1,03	1,5
Arango, Ochoa and Robledo (1989)	*Rhizophagus manihotis; Paraglomus occultum;Rhizophagus fasciculatus; Acaulospora sp.*	0,410	0,130	3,15	2,77	3,2
Arango, Ochoa and Robledo (1989)	*Rhizophagus manihotis; Paraglomus occultum;Rhizophagus fasciculatus; Acaulospora myriocarpa*	0,180	0,130	1,38	1,32	2,8
Colozzi-Filho and Siqueira (1986)	*Gigaspora margarita*	0,220	0,180	1,22	1,17	2,4
Colozzi-Filho et al. (1994)	*Glomus macrocarpum*	0,230	0,050	4,60	4,35	4,7
Colozzi-Filho et al. (1994) *Gigaspora margarita*		0,200	0,050	4,00	3,79	4,7
Colozzi-Filho et al. (1994)	*Rhizophagus clarus; Gigaspora margarita*	0,220	0,050	4,40	4,16	4,7
Colozzi-Filho et al. (1994)	*Rhizophagus clarus*	0,230	0,050	4,60	4,35	4,7
Colozzi-Filho et al. (1994)	*Claroideoglomus etunicatum*	0,190	0,050	3,80	3,61	4,7
Colozzi-Filho et al. (1994)	*Claroideoglomus etunicatum;Acaulospora longula*	0,240	0,050	4,80	4,54	4,7
Colozzi-Filho et al. (1994)	*Claroideoglomus etunicatum; Acaulospora scrobiculata*	0,200	0,050	4,00	3,79	4,7
Colozzi-Filho et al. (1994)	*Claroideoglomus etunicatum; Acaulospora scrobiculata; Paraglomus occultum*	0,200	0,050	4,00	3,79	4,7
Lopes et al. (1983a)	*Gigaspora margarita*	0,090	0,090	1,00	1,00	3,3
Lopes et al. (1983a)	*Funneliformis mosseae*	0,095	0,090	1,06	1,05	3,3
Lopes et al. (1983a)	*Scutellospora heterogama*	0,094	0,090	1,04	1,04	3,3
Lopes et al. (1983a)	*Glomus macrocarpum*	0,094	0,090	1,04	1,04	3,3
Pereira (1994)	*Gigaspora margarita*	0,084	0,044	1,91	1,85	4,8
Saggin-Júnior et al. (1992)	*Acaulospora scrobiculata; Acaulospora morrowae; Acaulospora longura; Rhizophagus clarus; Claroideoglomus etunicatum e Gigaspora margarita*	0,105	0,060	1,75	1,69	4,1
Saggin-Júnior et al. (1995a)	*Rhizophagus clarus; Gigaspora margarita*	2,100	0,700	3,00	1,06	3,1
Saggin-Júnior et al. (1995a)	*Claroideoglomus etunicatum*	2,900	0,700	4,14	1,09	4,2
Siqueira et al. (1993)	*Rhizophagus clarus; Gigaspora margarita*	0,220	0,040	5,50	5,25	5,2
Siqueira et al. (1993)	*Acaulospora longula; Gigaspora margarita; Acaulospora morrowae*	0,150	0,040	3,75	3,60	5,2
Siqueira et al. (1993)	*Acaulospora scrobiculata*	0,230	0,040	5,75	5,49	5,3
Siqueira et al. (1993)	*Acaulospora scrobiculata*	0,220	0,040	5,50	5,25	5,2

Siqueira et al. (1993)	*Acaulospora longula; Gigaspora margarita; Acaulospora morrowae*	0,170	0,040	4,25	4,07	5,2
Siqueira et al. (1993)	*Acaulospora scrobiculata*	0,210	0,040	5,25	5,01	5,2
Siqueira, Colozzi-Filho and Saggin-Júnior (1994)	*Gigaspora margarita*	0,168	0,060	2,80	2,65	4,2
Siqueira et al. (1995)	*Rhizophagus clarus; Gigaspora margarita*	0,160	0,040	4,00	3,83	5,2
Vaast, Zasoski and Bledsoe (1998)	*Acaulospora mellea*	0,141	0,055	2,56	2,44	4,4
Vaast, Zasoski and Bledsoe (1998)	*Rhizophagus clarus*	0,093	0,055	1,69	1,64	4,3
Vaast, Zasoski and Bledsoe (1998)	*Acaulospora mellea*	0,072	0,055	1,31	1,29	4,3
Vaast, Zasoski and Bledsoe (1998)	*Rhizophagus clarus*	0,064	0,055	1,16	1,15	4,3
Random effect model ($I^2 = 0$)						

TABLE 4 - Phosphorus (g / plant) applied in the pit during planting, grain yield (g / plant) in coffee seedlings inoculated or not with AMF, Effect Size (ES), confidence interval (CI).

Author (first), year	AMF species	P	Treatment	Control	ES	95% CI	95% CI
			Grain yield				
[1]Colozzi-Filho et al. (1994)	*Gigaspora margarita; Rhizophagus clarus*	12	110	93	1.18	0.96	1.40
Colozzi-Filho et al. (1994)	*Rhizophagus clarus*	12	135	93	1.45	1.20	1.69
Colozzi-Filho et al. (1994)	*Gigaspora margarita*	12	179	93	1.91	1.63	2.19
Colozzi-Filho et al. (1994)	*Claroideoglomus etunicatum; Acaulospora scrobiculata;Paraglomus occultum*	12	130	93	1.39	1.15	1.63
Colozzi-Filho et al. (1994)	*Claroideoglomus etunicatum*	12	126	93	1.35	1.12	1.59
Colozzi-Filho et al. (1994)	*Claroideoglomus etunicatum; Acaulospora longula*	12	139	93	1.49	1.24	1.74
Colozzi-Filho et al. (1994)	*Claroideoglomus etunicatum*	12	181	93	1.94	1.65	2.22
Colozzi-Filho et al. (1994)	*Claroideoglomus etunicatum; Acaulospora scrobiculata*	12	214	93	2.29	1.98	2.60
Colozzi-Filho et al. (1994)	*Glomus occultum*	12	180	93	1.93	1.64	2.21
Colozzi-Filho et al. (1994)	*Claroideoglomus etunicatum; Acaulospora scrobiculata*	12	183	93	1.96	1.68	2.24
Colozzi-Filho et al. (1994)	*Claroideoglomus etunicatum*	12	119	93	1.27	1.05	1.50
Colozzi-Filho et al. (1994)	*Claroideoglomus etunicatum; Acaulospora scrobiculata*	12	139	93	1.49	1.24	1.74
Colozzi-Filho et al. (1994)	*Claroideoglomus etunicatum*	12	157	93	1.69	1.42	1.95
Colozzi-Filho et al. (1994)	*Claroideoglomus etunicatum; Acaulospora scrobiculata*	12	148	93	1.58	1.33	1.84

Colozzi-Filho et al. (1994)	*Claroideoglomus etunicatum*	12	115	93	1.23	1.01	1.46
[2]Siqueira et al. (1993)	*Rhizophagus clarus, Claroideoglomus etunicatum; Acaulospora scrobiculata; Acaulospora longula; Gigaspora margarita; Acaulospora morrowiae*	8	122	74	1.66	1.36	1.95
Siqueira et al. (1993)	*Rhizophagus clarus;Claroideoglomus etunicatum*	8	135	74	1.83	1.52	2.14
Siqueira et al. (1993)	*Rhizophagus clarus; Claroideoglomus etunicatum*	8	334	74	4.54	4.05	5.03
[3]Siqueira et al. (1998)	*Gigaspora margarita; Rhizophagus clarus*	0	6	25	0.24	0.05	0.43
Siqueira et al. (1998)	*Claroideoglomus etunicatum*	0	58	25	2.33	1.73	2.93
Siqueira et al. (1998)	*Claroideoglomus etunicatum*	0	18	25	0.71	0.38	1.05
Siqueira et al. (1998)	*Claroideoglomus etunicatum*	0	5	25	0.19	0.02	0.36
Siqueira et al. (1998)	*Claroideoglomus etunicatum*	0	2	25	0.08	-0.03	0.19
Siqueira et al. (1998)	*Claroideoglomus etunicatum*	0	19	25	0.75	0.41	1.08
Siqueira et al. (1998)	*Gigaspora margarita; Rhizophagus clarus*	9	404	133	3.04	2.75	3.34
Siqueira et al. (1998)	*Claroideoglomus etunicatum*	9	105	133	0.79	0.64	0.94
Siqueira et al. (1998)	*Claroideoglomus etunicatum*	9	137	133	1.04	0.86	1.21
Siqueira et al. (1998)	*Claroideoglomus etunicatum*	9	106	133	0.80	0.65	0.95
Siqueira et al. (1998)	*Claroideoglomus etunicatum*	9	166	133	1.25	1.06	1.45
Siqueira et al. (1998)	*Claroideoglomus etunicatum*	9	140	133	1.06	0.88	1.23
Siqueira et al. (1998)	*Gigaspora margarita; Rhizophagus clarus*	17	246	323	0.76	0.67	0.86
Siqueira et al. (1998)	*Claroideoglomus etunicatum*	17	280	323	0.87	0.76	0.97
Siqueira et al. (1998)	*Claroideoglomus etunicatum*	17	313	323	0.97	0.86	1.08
Siqueira et al. (1998)	*Claroideoglomus etunicatum*	17	202	323	0.63	0.54	0.71
Siqueira et al. (1998)	*Claroideoglomus etunicatum*	17	177	323	0.55	0.47	0.63
Siqueira et al. (1998)	*Claroideoglomus etunicatum*	17	285	323	0.88	0.78	0.98

Siqueira et al. (1998)	*Gigaspora margarita; Rhizophagus clarus*	35	609	653	0.93	0.86	1.01
Siqueira et al. (1998)	*Claroideoglomus etunicatum*	35	583	653	0.89	0.82	0.96
Siqueira et al. (1998)	*Claroideoglomus etunicatum*	35	377	653	0.58	0.52	0.64
Siqueira et al. (1998)	*Claroideoglomus etunicatum*	35	351	653	0.54	0.48	0.59
Siqueira et al. (1998)	*Claroideoglomus etunicatum*	35	487	653	0.75	0.68	0.81
Siqueira et al. (1998)	*Claroideoglomus etunicatum*	35	276	653	0.42	0.37	0.47
Siqueira et al. (1998)	*Gigaspora margarita; Rhizophagus clarus*	70	467	373	1.25	1.14	1.37
Siqueira et al. (1998)	*Claroideoglomus etunicatum*	70	285	373	0.76	0.67	0.85
Siqueira et al. (1998)	*Claroideoglomus etunicatum*	70	742	373	1.99	1.84	2.13
Siqueira et al. (1998)	*Claroideoglomus etunicatum*	70	864	373	2.31	2.16	2.47
Siqueira et al. (1998)	*Claroideoglomus etunicatum*	70	350	373	0.94	0.84	1.04
Siqueira et al. (1998)	*Claroideoglomus etunicatum*	70	294	373	0.79	0.70	0.88

Obs.: [1]first harvest; [2] third harvest; [3]fifth harves

The best yields of inoculated AMF were obtained with the inoculation of *Claroideoglomus etunicatum,* with 864 g per plant when 70 g P were applied per plant, and 609 g per plant when 35 g of P per plant were applied, both in the fifth harvest. After fertilization, inoculation was performed with a mixture of *Rhizophagus clarus* and *Claroideoglomus etunicatum*, yielding 404 g per plant when 9 g of P were applied per plant (SIQUEIRA et al., 1998). In these results, the difference between the contributions by species associated with the dose of phosphorus is evident, demonstrating the complexity of the application of phosphorus in relation to mycorrhization. The continuity of studies of this nature aiming to improve crop and soil management is of great importance, since the use of AMF in large-scale agriculture significantly contributes to yield increase.

3.6. Advances and trends

The results obtained for the growth and mineral nutrition, especially due to the increase in the phosphorus absorption by coffee seedlings, indicate that the AMF species used as inoculants positively affect the response of the coffee seedling (ANTUNES; SILVEIRA; CARDOSO, 1988; LOPES et al., 1983a; SAGGIN-JÚNIOR et al., 1995; SIQUEIRA et al., 1993, 1995; TRISTÃO; ANDRADE; SILVEIRA, 2006). These results showed the importance of including the inoculation with AMF in the routine of coffee seedlings production, since they contributed to the formation of well-nourished plants that better withstand the adversities of the field, such as drought and pest and pathogen attack (ALBAN; GUERRERO; TORO, 2013; MULETA; ASSEFA; NEMOMISSA, 2008). The formation of coffee seedlings with quality is the basis for the successful implantation of coffee crops.

As shown in this review, few studies address inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi in coffee in the field due to the difficulties of obtaining sufficient quantities of good quality inoculants, to the high production cost of these inoculants, and also because the arbuscular mycorrhizal are found in most soils in sufficient quantities. In spite of these obstacles, inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi in the nursery can be successfully practiced, especially when associated with modern technologies of seedling production, such as the tubetes. In this sense, a protocol was developed for the use of arbuscular mycorrhizal fungi in coffee plants described in Saggin Junior and Siqueira (1996), and demonstrated in Figure 2.

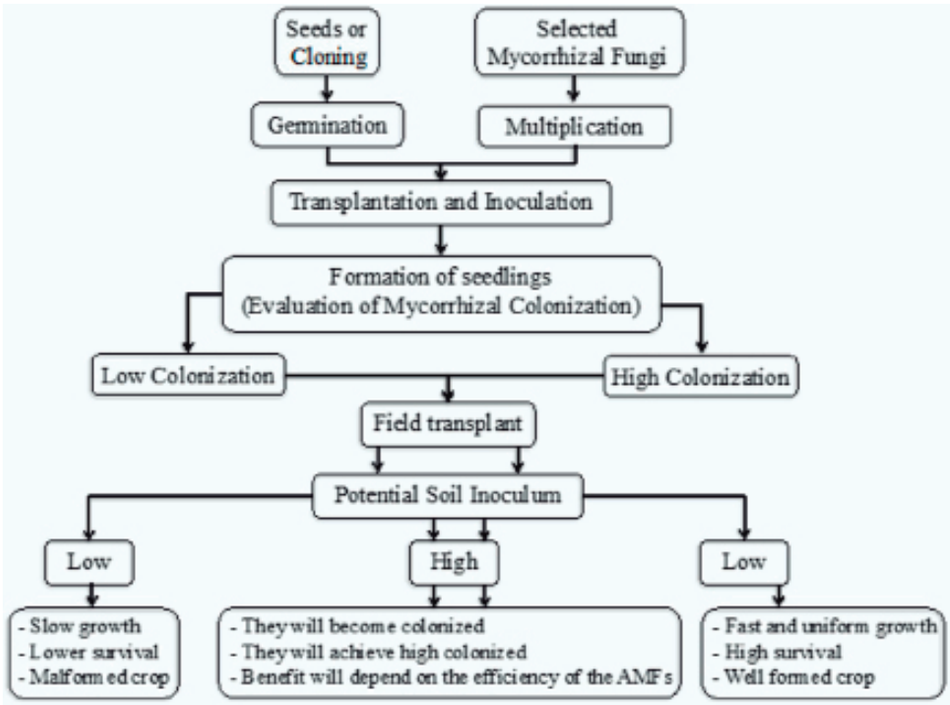


FIGURE 2 - Protocol for application of arbuscular mycorrhizal fungi in coffee crop, developed and tested at the Federal University of Lavras (UFLA) (SAGGIN JUNIOR; SIQUEIRA, 1996).

The results regarding the efficiency of the AMF in the inoculated coffee seedlings introduced in the field show favorable effects at the initial stage of growth and grain yield. They show that the persistence of the fungus inoculated in the field decreases with the years after planting (BALOTA; LOPES, 1996a). No difference in response was observed in the field two years after planting (SIQUEIRA et al., 1993). The identification of AMF that are effective in the field is of actual interest, since they provide favorable effects, such as increase in nutrient availability (SAGGIN-JÚNIOR et al., 1995a), tolerance to pests and diseases (VAAST; CASWELL-CHEN; ZASOSKI, 1998), and improvement in the water-soil-plant relationship (AUGÉ, 2001).

In this context, encouraging researches to use molecular and biochemical techniques to identify and associate the effect of AMF in the field is fundamental. In addition, researches should determine how and how much the symbiosis between AMF and coffee plant acts on the efficiency and cost reduction of phosphate fertilization, controlling the action of the inoculated

Finally, studies that improve crop and soil management aimed at the development of native AMF community should be prioritized, since the symbiosis between AMF and coffee roots contributes to greater coffee yield.

4 CONCLUSIONS

This review showed the importance of AMF for growth, plant nutrition and coffee grain yield. It also confirmed that few studies that evaluate the different soil and coffee crop management in the native AMF community are found in the literature. Further researches under field conditions are necessary in order to confer the real contribution of AMF as biofertilizers, biostimulants, and biocontrol agents for coffee plants.

5 ACKNOWLEDGMENTS

The authors thank the Scientific and Technological Development Council (CNPq) for the doctorate scholarship granted to the first author, and the productivity scholarship granted to the other authors; the Minas Gerais State Research Foundation (FAPEMIG); the Brazilian Consortium for Research and Development of Coffee; the National Coffee Science and Technology Institute and EMBRAPA CAFÉ, for the financial support for this project.

6 REFERENCES

AGUILAR, M. A. E. **Interaccion de plantas de café fertilizadas com fósforo e inoculadas com hongosmicorrizico arbusculares y *Ph*omacostarricencis Echandi**. 2002. 106 p. Dissertação (Mestrado em Biotecnologia)-Universidade de Colina, Colina, 2002.

AGUIRRE-MEDINA, J. F. et al. Hongo endomicorrizo y bacteria fijadora de nitrogeno inoculadas a *Coffe arabica* en vivero. **Agronomía Meso Americana**, Alajuela, v. 22, p. 71-80, 2011.

AL-AREQUI, A. H. N. et al. Diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in the rhizosphere of Coffea arabica in the Republic of Yemen. **Journal of Applied Biosciences**, Nairobi, v. 64, p. 4888-4901, 2013.

ALBÁN, R.; GUERRERO, R.; TORO, M. Interactions between a root knot nematode (*Meloidoyne exigua)* and arbuscular mycorrhizae in coffee plant development (*Coffea arabica*). **American Journal of Plant Sciences**, Boca Raton, v. 4, p. 19-23, 2013.

ALVES, M. J. et al. Efeito da adubação verde com espécies herbáceas e arbóreas na micorrização do cafeeiro. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**, Viçosa, v. 4, n. 1, p. 11-16, 2014.

ANAYA, M. L. A. et al. Biofertilización de café orgánico en etapa de vivero en rachia, México**. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas**, Texcoco, v. 2, n. 31, p. 417-431, 2011.

ANDRADE, S. A. L. et al. Review Arbuscular mycorrhizal association in coffee. **Journal of Agricultural Science**, Toronto, v. 147, p. 105-115, 2009.

ANDRADE, D. S. et al. Atividade microbiana em função da calagem em um solo cultivado com cafeeiro. **Revista brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 19, p. 191-196, 1995.

ANDRADE, S. A. L.; SILVEIRA, A. P. D.; MAZZAFERA, P. Arbuscular mycorrhiza alters metal uptake and the physiological response of Coffea arabica seedlings to increasing Zn and Cu concentrations in soil. **Science of the Total Environment**, Amsterdam, v. 408, p. 5381-5391, 2010.

ANTUNES, A.; SILVEIRA, A. P.; CARDOSO, E. J. Interação entre diferentees tipos de Solo e Fungos Micorrízicos-Arbusculares na produção de mudas de café (*Coffea arabica* L.). **Turrialba**, San José, v. 38, n. 2, p. 117-127, 1988.

ARANGO, C.; OCHOA, G.; ROBLEDO, A. Evaluacion de dos fuentes de inoculo de micorrizas MVA y dos dosis de fósforo em almacigos de café variedade Colômbia. **Agronomía**, Manizales, v. 5, n. 1, p. 25-28, 1989.

ARIAS, R. M. et al. Diversity and abundance of arbuscular mycorrhizal fungi spores under different coffee production systems and in a tropical montane cloud forest patch in Veracruz, Mexico. **Agroforestry Systems**, Dorchecht, v. 85, p. 179-193, 2012.

AUGÉ, R. M. Water relations, drought and vesicular-arbuscular mycorrhizal symbiosis. **Mycorrhiza**, Heidelberg, v. 11, p. 3-42, 2001.

AZEVEDO, L. C. B. **Avaliação Fenotípica e molecular (PCR/RFLP) de fungos glomerales em cafeeiro (*Coffea arabica*)**. 2005. 76 p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo)-Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2005.

BALOTA, E. L.; LOPES, E. S. Introdução de fungo micorrízico arbuscular no cafeeiro em condições de campo: I., Persistência e interação com espécies nativas. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Campinas, v. 20, p. 217-223, 1996a.

BALOTA, E. L.; LOPES, E. S. Introdução de fungo micorrízico arbuscular no cafeeiro em condições de campo: II., flutuação sazonal de raízes, de colonização e de fungos micorrízicos arbusculares associados. **Revista brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 20, p. 225-232, 1996b.

BANZATTO, D. A.; KRONKA, S. N. **Experimentação agrícola**. Jaboticabal: FUNEP, 2013. 247 p.

BARDIN, I. **Análise de conteúdo**. Lisboa: Edições Setenta, 1994. 226 p.

BARTO, E. K.; RILLIG, M. C. Does herbivory really suppress mycorrhiza?: a meta-analysis. **Journal of Ecology**, London, v. 98, p. 745-753, 2010.

BEENHOUWER, M. et al. DNA pyrosequencing evidence for large diversity differences between natural and managed coffee mycorrhizal fungal communities. **Agronomy for Sustainable Development**, Dordrecht, v. 35, p. 241-249, 2015.

BIRADAR, B. I. et al. Effect of bio-fertilizers and pgprs on growth and development of coffee seedlings. **Journal Coffee Research**, Austin, v. 34, p. 57-63, 2006.

BONFIM, J. A. et al. Fungos micorrízicos arbusculares (FMA) e aspectos fisiológicos em cafeeiros cultivados em sistema agroflorestal e a pleno sol. **Bragantia**, Campinas, v. 69, n. 1, p. 201-206, 2010.

BRUNDRETT, M. C. Coevolution of roots and mycorrhizas of land plant. **New Phytologist**, Oxford, v. 154, n. 2, p. 275-304, 2002.

CALDEIRA, F. F.; CHAVES, G. M.; ZAMBOLIM, L. Associação de micorriza vesicular-arbuscular com café, limão-rosa e capim gordura. **Pesquisa Brasileira Agropecuária**, Brasília, DF, v. 18, n. 3, p. 223-228, 1983a.

CALDEIRA, F. F.; CHAVES, G. M.; ZAMBOLIM, L. Observações de micorrizas vesicular-arbuscular em diferentes espécies de plantas. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 30, n. 167, p. 19-24, 1983b.

CARDOSO, E. J. B. N. Ocorrência de micorriza em café. **Summa Phytopathologica**, Campinas, v. 4, n. 2/4, p. 136-137, 1978.

CARDOSO, I. M. et al. Distribution of mycorrhizal fungal spores in soils under agroforestry and monocultural coffee systems in Brazil. **Agroforestry Systems**, Dorchecht, v. 58, p. 33-43, 2003.

CARNEIRO, M. A. C. et al. Arbuscular mycorrhizal fungi in soil aggregates from fields of 'murundus' converted to agriculture. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 50, p. 313-321, 2015.

CASTRO, A. L. F.; CONDE, M. R. G. Caracterización de las endomicorrizas y siete grupos de microorganismos en agrossistemas del piedemonte amazónico, rachiar. **Acta Biológica Colombiana**, Bogotá, v. 17, p. 349-362, 2012.

CHANIE, T. **Arbuscular mycorrhizal fungal diversity of coffee and shade trees of Bonga forest, South Western Ethiopia**. 2006. 72 p. Dissertation (Master of Biology)-University School of Graduate Studies, Addis Ababa, 2006.

CLEMENTE. C. M. **Nutrição mineral e crescimento de mudas de cafeeiro sob influência de Gigaspora margarita (Becker & Hall), matéria orgânica e fósforo**. 1988. 169 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia)-Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1988.

COLMENÁREZ-BETANCOURT, F.; PINEDA, J. B. Relación entre la aplicación de inóculo Brachiaria y fósforo con la infección por *colletotrichum Gloesporioides*en cafeto. **Fitopatología Venezolana**, Santiago de León de Caracas, v. 24, n. 1, p. 18-21, 2011.

COLOZZI-FILHO, A. et al. Efetividade de diferentes fungos endomicorrízicos na formação, crescimento pós-transplante e produção do cafeeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 29, n. 9, p. 1397-1406, set. 1994.

COLOZZI FILHO, A.; CARDOSO, E. J. B. N. Detecção de fungos micorrízicos arbusculares em raízes de cafeeiro e de crotalária cultivada na entrelinha. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 35, n. 1, p. 2033-2042, jan. 2000.

COLOZZI-FILHO, A.; SIQUEIRA, J. O. Micorrizas vesículo-arbusculares em mudas de cafeeiro: I., efeitos de Gigaspora margarita e adubação fosfatada no crescimento e nutrição. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 10, p. 199-205, 1986.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Levantamento CONAB da safra de café**. Brasília, DF, 2015. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/12_01_10_10_54_22_boletim_cafe_1a_estimativa.pdf >. Acesso em: 7 nov. 2015.

ESMORIS, E. A. et al. Abonos verdes e inoculación micorrízica de posturas de cafeto sobre suelosferralíticos rojos lixiviados. **Cultivos Tropicales**, Havana, v. 32, n. 3, p. 11-17, 2011.

FERNANDES, A. B.; SIQUEIRA, J. O. Micorrizas vesicular-arbusculares em cafeeiros da região Sul do Estado de Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 24, n. 12, p. 1489-1498, dez. 1989.

FERNANDES, R. A. **Impacto de usos de um Latossolo Vermelho de cerrado sobre a diversidade de fungos micorrízicos arbusculares**. 2009. 82 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia)-Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2009.

FRANÇA, A. C. et al. Crescimento de mudas de cafeeiro inoculadas com fungos micorrízicos arbusculares.

Revista Brasileira de Ciências Agrárias, Recife, v. 9, n. 4, p. 506-511, 2014.

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

GUREVITCH, J.; HEDGES, L. V. Statistical issues in ecological meta-alyses. **Journal of Ecology**, London, v. 80, p. 1142-1149, 1999.

HARTUNG, J.; KANAPP, G.; SINHA, B. K. **Statistical meta-analysis with applications**. New Jersey: Willey, 2008. 288 p.

HEDGES, L.; GUREVITCH, V. J.; CURTIS, P. S. The meta-analysis of response ratios in experimental ecology. **Journal of Ecology**, London, v. 80, p. 1150-1156, 1999.

HIGGINS, J. P.; THOMPSON, S. G. Quantifying heterogeneity in a meta-analysis. **Statistics Medical**, Ontario, v. 21, p. 1539-1558, 2002.

HINSINGER, P. Biologyavailability of soil inorganic P in the rhizosphere as affected by root-induced chemical changes: a review. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 237, n. 2, p. 173-195, 2001.

HODGE, A.; CAMPBELL, C. D.; FITTER, A. H. An arbuscular mycorrizal fungi accelerates decomposition and acquires nitrogen directiy from organic material. **Nature**, London, v. 413, n. 20, p. 297-299, 2001.

HOOKER, J. E.; BLACK, K. E. Arbuscular mycorrhizal fungi as components of sustainable soilplant systems. **Critical Review in Biotechnology**, London, n. 15, p. 201-212, 1995.

IBIREMO, O. S.; OLOYEDE, M. A.; IREMIREN, G. O. Growth of coffee seedlings as influenced by Arbuscular mycorrhizal inoculation and phosphate fertilizers in two soils in Nigeria. **Journal of Plant Science**, Boca Raton, v. 2, n. 6, p. 160-165, 2011.

JANSE, J. M. Les endophytes radicaux de quelques plantes javanaises. **Annual Jardin Botanique**, Buitenzorg, v. 54, p. 53-201, 1897.

KAHILUOTO, H.; KETOJA, E.; VESTBERG, M. Plant-available P supply is not the main factor determining the benefit from arbuscular mycorrhizato crop P nutrition and growth in contrasting cropping systems. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 350, n. 1, p. 85-98, 2012.

KONRAD, M. L. F. **Crescimento do cafeeiro sob influência do alumínio em solução nutritiva e em solo ácido, inoculado com micorrizas arbusculares**. 2003. 112 p. Tese (Doutorado em Biologia)-Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.

LAKSHMIPATHY, R.; BALAKRISHNA, N. A.; BAGYARAJ, D. J. Abundance and diversity of AM fungi across a gradient of land use intensity and their seasonal variations in niligiri biosphere of the Western Ghats, India. **Journal of Agricultural Science and Technology**, Tehran, v. 14, p. 903-918, 2012.

LAMBAIS, M. R. Aspectos bioquímicos e moleculares da relação fungo-planta em micorrizas arbusculares. In: SIQUEIRA, J. O. (Ed.). **Avanços em fundamentos e aplicação de micorrizas**. Lavras: Ed. UFLA, 1996. p. 5-38.

LAMMEL, D. R. et al. Microbiological and faunal soil attributes of coffee cultivation under different management systems in Brazil. **Brazilian Journal of Biology**, São Carlos, v. 75, n. 4, p. 894-905, 2014.

LÉBRON, L.; LODGE, D. J.; BAYMAN, P. Differences in arbuscular mycorrhizal fungi among three coffee cultivars in Puerto Rico. **Agronomy**, Madison, v. 2012, p. 1-7, 2012.

LEHMANN, A. et al. Mycorrhizal responsiveness trends in annual crop plants and their wild relatives-a meta-analysis on studies from 1981 to 2010. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 355, p. 231-250, 2010.

LOPES, A. S.; COX, F. R. A survey of the fertility status of soils under cerrado vegetation in Brazil. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 41, p. 742-747, 1977.

LOPES, E. S. et al. Efeito da inoculação do cafeeiro com diferentes espécies de fungos micorrízicos vesicular arbusculares. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 7, p. 137-41, 1983b.

LOPES, E. S. et al. Occurrence and distribution of vesicular arbuscular mycorrhizal fungi in coffee (*Coffea arabica* L.) plantations in central Sao Paulo State, Brazil. **Turrialba**, San José, v. 33, p. 417-422, 1983a.

MAYERHOFER, M. S.; KERNAGHAN, G.; HARPER, A. K. The effects of fungal root endophytes on plant growth: a meta-analysis. **Mycorrhiza**, Heidelberg, v. 22, p. 29-39, 2012.

MOHER, D. et al. For the PRISMA group: preferred reporting Items for systematic reviews and meta-anlayses the PRISMA statement. **Annals of Internal Medicine Journal**, Philadelphia, v. 151, p. 65-94, 2009.

MULETA, D.; ASSEFA, F.; NEMOMISSA, S. Distribution of arbuscular mycorrhizal fungi spores in soils of smallholder agroforestry and monocultural coffee systems in southwestern Ethiopia. **Biology and Fertility of Soils**, Heidelberg, v. 44, p. 653-659, 2008.

MULETA, D. et al. Composition of coffee shade tree species and density of indigenous arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) spores in Bonga natural coffee forest, southwestern Ethiopia. **Forest Ecology and Managementv**, Amsterdam, v. 241, p. 145-154, 2007.

NEYELOFF, J.; FUCHS, S. C.; MOREIRA, L. B. Meta-analyses and Forest plots using a brachiari excel spreadsheet: step-by-step guide focusing on descriptive data analysis. **BioMed Central**, London, v. 5, p. 1-6, 2012.

OLIVEIRA, E. et al. Ocorrência de fungos micorrízicos vesículo-arbusculares em cafeeiro em cafeeiro das regiões do Alto Paranaíba e Triângulo no Estado de Minas Gerais. **Hoehnea**, São Paulo, v. 17, n. 2, p. 117-125, 1990.

OLKIN, I. Meta-analysis: reconciling the results of independent studies. **Statistics in Medicine**, Washington, v. 14, n. 5/7, p. 457-472, 1995.

PEREIRA, L. A. A. **Desenvolvimento de mudas cafeeiro (*Coffea arabica* L.) na presença de *Gigaspora margarita* Becker & Hall e *Rhizoctonia solani, Kuhn***. 1994. 61 p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo)-Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1994.

RIVERA, R. et al. Abonos verdes e inoculación micorrízica de posturas de cafeto sobre suelos fersialíticos rojos lixiviados. Cultivos. **Tropicales**, Havana, v. 31, n. 3, p. 75-81, 2010.

RODRIGUES, C. L.; ZIEGELMANN, P. K. Meta-análise: um guia prático: meta-analysis: a practicalguide. **Revista do Hospital Clínicas de Porto Alegre**, Porto Alegre, v. 30, n. 4, p. 435-447, 2010.

SAGGIN-JÚNIOR, O. J. et al. Avaliação da eficiência simbiótica de fungos endomicorrízicos para o cafeeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 19, p. 221-228, 1995a.

SAGGIN-JÚNIOR, O. J. et al. Colonização do cafeeiro por diferentes fungos micorrízicos: efeito na formação das mudas e no crescimento em solo fumigado. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Campinas, v. 19, p. 213-220, 1995b.

SAGGIN-JÚNIOR, O. J. et al. A infestação do solo com fungos micorrízicos no crescimento pós-transplante de mudas de cafeeiro não micorrizadas. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Campinas, v. 16, n. 1, p. 39-46, 1992.

SAGGIN-JÚNIOR, O. J. et al. Interação fungos micorrízicos versus superfosfato e seus efeitos no crescimento e teores de nutrientes do cafeeiro em solo não fumigado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 18, p. 209-213, 1994.

SAGGIN-JÚNIOR, O. J.; SIQUEIRA, J. O. Micorrizas arbusculares em cafeeiro. In: SIQUEIRA, J. O. (Ed.). **Avanços em fundamentos e aplicação de micorrizas**. Lavras: DCS/DCF, 1996. p. 203-254.

SANCHEZ, C. et al. Comportamiento de 15 cepas de hongos micorrizogenos (HMA) sobre el desarrollo de posturas de cafeto en un suelo pardo gleyzoso. **Revista Forestal Latino Americana**, Bogotá, v. 38, p. 83-95, 2005.

SCHULZ, B.; BOYLE, C. The endophytic continuum. **Mycological Research**, London, v. 109, p. 661-686, 2005.

SILVA, C. R.; GOBBI, B. C.; SIMÃO, A. A. O uso da análise de conteúdo como uma ferramenta para a pesquisa qualitativa: descrição e aplicação do método. **Organizações Rurais Agroindustriais**, Lavras, v. 7, n. 1, p. 70-81, 2005.

SIQUEIRA, J. O. **Biologia do solo**. Lavras: Ed. UFLA/FAEPE, 1993. 230 f.

SIQUEIRA, J. O.; COLOZZI FILHO, A. Micorrizas vesículo-arbusculares em mudas de cafeeiro: II., efeito do fósforo no estabelecimento e funcionamento da simbiose. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 10, p. 207-211, 1986.

SIQUEIRA, J. O.; COLOZZI-FILHO, A.; SAGGIN-JÚNIOR, O. J. Efeitos da infecção de plântulas de cafeeiro com quantidades crescentes de esporos do fungo endomicorrízico *Gigaspora margarita.* **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 29, n. 6, p. 875-883, jun. 1994.

SIQUEIRA, J. O. et al. Arbuscular mycorrhizal inoculation and superphosphate application influence plant development and yield of coffee in Brazil. **Mycorrhiza**, Heidelberg, n. 7, p. 293-300, 1998.

SIQUEIRA, J. O. et al. Crescimento de mudas e produção do cafeeiro sob influência da inoculação com fungos micorrízicos e aplicação de superfosfato. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 17, n. 1, p. 53-60, 1993.

SIQUEIRA, J. O. et al. Influência do substrato de formação e da micorriza no crescimento de mudas de cafeeiro transplantadas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 30, n. 12, p. 1417-1425, dez. 1995.

SIQUEIRA, J. O. et al. **Micorrizas:** 30 anos de pesquisa no Brasil. Lavras: Ed. UFLA, 2010. v. 1, 310 p.

SIQUEIRA, J. O. et al. The relationship between vesicular-arbuscular mycorrhiza and lime: associated effects on the growth and nutrition of brachiaria grass (*Brachiaria decumbens*). **Biology and Fertility of Soils**, Heidelberg, v. 10, p. 65-71, 1990.

SIQUEIRA, O. S. et al. Influência de cultivar e adubação fosfatada de plantio sobre a ocorrência de micorrizas vesicular arbusculares em cafeeiro (*Coffea arabica L.*). **Ciência Prática**, Lavras, v. 10, n. 3, p. 325-335, 1986.

SIQUEIRA, O. S. et al. Micorrizas vesicular-arbusculares em mudas de cafeeiro produzidas no sul do Estado de Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 22, n. 1, p. 31-38, jan. 1987.

SOUZA, A. S. S. et al. Crescimento e nutrição do cafeeiro micorrizadas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 26, n. 11/12, p. 1989-2005, nov./dez. 1991.

SOUZA, C. A. S. et al. Influência de micorrizas vesicular-arbusculares o crescimento de mudas de cafeeiro (*Coffea arabica* L.) em substrato com e sem matéria orgânica e diferentes doses de superfosfato simples. **Ciência Prática**, Lavras, v. 11, n. 2, p. 177-189, 1987.

SOUZA, C. A. S.; OLIVEIRA, E.; CARVALHO, M. M. Desenvolvimento de mudas de cafeeiro (*Coffea arabica* cv.Catuaí) micorrizadas nas condições de viveiro comercial, em substrato com e sem matéria orgânica e diferentes doses de superfosfato simples. **Ciência e Prática**, Lavras, v. 13, p. 269-278, 1989.

STÜMER, S. L.; SIQUEIRA, J. O. Fungos micorrízicos. In: MOREIRA, F. S. (Ed.). **O ecossistema solo**. Lavras: Ed. UFLA, 2013. p. 289-310.

TEXEIRA, M. E. et al. Ocorrência de fungos micorrízicos arbusculares, nematoides e ácaros em solos sob diferentes sistemas de cultivo de cafeeiro no sul de Minas Gerais. **Agrogeoambiental**, Muzambinho, v. 2, n. 1, p. 101-108, 2010.

THANGARAJU, M. et al. Microbial consortium and its effect on controlling coffee root-lesion nematode (*Pratylenchus coffeae)* under nursery conditions. **Journal of Biological Control**, Bangalore, v. 22, n. 2, p. 425-432, 2008.

THEODORO, V. C. A. et al. Carbono biomassa e micorriza em solo sob mata nativa e agroecossistemas cafeeiros. **Acta Scientiarum:** Agronomy, Maringá, v. 25, n. 1, p. 147-153, 2003.

TREJO, D. et al. Efectividad de siete brachiaria nativos de hongos micorrízicos arbusculares en plantas de café en condiciones de invernadero y campo. **Revista Chilena de Historia Natural**, London, v. 84, p. 23-31, 2011.

TRISTÃO, F. S. M.; ANDRADE, S. A. L.; SILVEIRA, A. P. D. Fungos micorrízicos arbusculares na formação de mudas de cafeeiro, e, substrato orgânico comerciais. **Bragantia**, Campinas, v. 65, n. 4, p. 649-658, 2006.

VAAST, P.; CASWELL-CHEN, E. P.; ZASOSKI, R. J. Influences of a root-lesion nematode, Pratylenchus coffeae, and two arbuscular mycorrizal fungi, *Acaulospora mellea* and *Rhizophagus clarus* on coffee (*Coffea arabica* L.). **Biology and Fertility of Soils**, Heidelberg, v. 26, p. 130-135, 1998.

VAAST, P.; ZASOSKI, R. J. Effect of nitrogen sources and mycorrhzal inoculation different species on growth and nutrient composition of young arabica seedlings. **Café Cacao Thé**, Paris, v. 35, n. 2, 1991.

VAAST, P.; ZASOSKI, R. J. Effects of VA-mycorrhizae and nitrogen sources on rhizosphere soil characteristics, growth and nutrient acquisition of coffee seedlings (*Coffea arabica* L.). **Plant Soil**, The Hague, v. 147, p. 31-39, 1992.

VAAST, P.; ZASOSKI, R. J.; BLEDSOE, C. Effects of vesicular-arbuscular mycorrhizal inoculation at different soil P availabilities on growth and nutrient uptake of in vitro propagated coffee (*Coffea arabica* L.) plants. **Mycorrhiza**, Heidelberg, v. 6, p. 493-497, 1996.

VALLONE, H. S. et al. Diferentes recipientes e substrato na produção de mudas de cafeeiros. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 34, n. 1, p. 55-60, jan./fev. 2010.

Supplementary Material 1
Lista de publicações utilizadas para a revisão e meta-análise
List of publications used for the review and meta-analysis

Author (first) /year	Source	Country
Aguilar (2002)	Universidade de Colima/dissertação	Mexico
Al-arenqi (2013)	Journal of Applies Bioscience v.64, p.4888-4901	Yemen
Alban (2013)	American Journal of Plant Sciences, v.4, p.19-23	Venezuela
Alves (2014)	Rev. Brasileira de Agropecuária Sustentável.v.4, n.1, p.11-16	Brazil
Anaya (2011)	Rev. Mexicana de Ciencias Agrícolas, v.3, p.417-431	Mexico
Andrade (1995)	Revista brasileira de Ciência do Solo v.19, p.191-196	Brazil
Andrade (2010)	Science of the Total Environment, v.408, p.5381-5391	Brazil
Antunes (1988)	Revista Turrialba, v.38, p.117-122	Brazil
Arango (1989)	Agronomia v.5, p.25-28	Colombia
Arias et al. (2012)	Agroforest Systems v.85, p.179-193	Mexico
Azevedo (2005)	Universidade Federal de Lavras/dissertação	Brazil
Balota (1989)	Universidade de São Paulo/dissertação	Brazil
Balota (1996)	Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.20, p.217-223	Brazil
Balota (1996)	Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.20, p.225-232	Brazil
Beenhouwer (2015)	Agron. Sustain. Dev. v.35 p.241-249	Ethiopia
Biradar (2006)	Journal of Coffee Research, n.34, p.57-63	India
Bonfim (2010)	Bragantia, v.69, p.201-206	Brazil
Caldeira (1983)	Pesquisa Agropecuária Brasileira v.18, p.223-228	Brazil
Caldeira (1983)	Revista Ceres v.167, p.19-24	Brazil
Cardoso (1978)	Summa Phytopathologiva, v.4, p.2-4	Brazil
Cardoso (2003)	Agroforest Systems, v.58, p.33-43	Brazil
Castro (2012)	Acta Biológica Colombiana, v.17, p.349-362	Colombia
Chanie (2006)	Universidade Addis Ababa/dissertação	Ethiopia
Clemente (1988)	Universidade Federal de Lavras/dissertação	Brazil
Colozzi-Filho (1999)	Universidade de São Paulo/tese	Brazil
Colozzi-Filho (1986)	Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.10, p.199-205	Brazil
Colozzi-Filho (1994)	Pesquisa Agropecuária Brasileira v.29, p.1397-1406	Brazil
Colozzi-Filho (2000)	Pesquisa Agropecuária Brasileira v.35, p.2033-2042	Brazil
Colmenárez-Betancourt (2011)	Fitopatologia Venezuelana, n.24, v.1, p.20-24	Venezuela
Esmoris (2011)	Cultivos Tropicales, v.3, p.11-17	Cuba
Fernandes (2009)	Universidade Federal de Goiás/dissertação	Brazil
Fernandes (1989)	Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.24, p.1489-1498	Brazil
França (2014)	Revista Brasileira de Ciência Agrária, n.4, v,9, p.506-511	Brazil
Konrad (2003)	Universidade Estadual de Campinas/tese	Brazil
Ibiremo (2011)	Journal of Plant Science, v.6, p.160-165	Nigeria
Lammel (2015)	Brazilian Journal of Biology, n.4, v.75, p.894-905	Brazil

Lakshmipathy (2012)	Journal of Agricultural Science and Technology, v.14, p.903-918	India
Lébron (2012)	International Scholarly Research Network p.1-7	Puerto Rico
Lopes (1983)	Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.7, p.137-141	Nigeria
Lopes (1983)	Revista Turrialba, v.33, p.417-422	Brazil
Medina (2011)	Agronoma Mesoamericana, v.22, p.71 -80	Mexico
Muleta (2007)	University of Agricultural Sciences/tese	Ethiopia
Muleta (2007)	Forest Ecology and Management, v.241, p.145-154	Ethiopia
Muleta (2008)	Biology and Fertility of Soils, v.44, p.653:659	Ethiopia
Oliveira (1990)	Hoehnea, v.17, p.117-125	Brazil
Panneerselvam (2008)	Journal Biological Control, v.22, p.425-432	India
Pereira (1994)	Universidade Federal de Lavras/dissertação	Brazil
Rivera (2010)	Cultivos Tropicales, v.31, n.3, p.75-81	Cuba
Saggin-Júnior (1992)	Universidade Federal de Lavras/dissertação	Brazil
Saggin-Júnior (1992)	Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.16, p.39-46	Brazil
Saggin-Júnior (1994)	Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.18, p.27-36	Brazil
Saggin-Júnior (1995)	Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.19, p.213-220	Brazil
Saggin-Júnior (1995)	Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.19, p.221-228	Brazil
Sánchez (2005)	Revista Forestal Latino americana, v.38, p.83–95	Cuba
Siqueira (1986)	Ciência Prática, v.10, p.325-335	Brazil
Siqueira (1986)	Revista Brasileira de Ciência do Solo, v10, p.207-211	Brazil
Siqueira (1987)	Pesquisa Agropecuária Brasileira v.22 p.31-38	Brazil
Siqueira (1993)	Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.17 p.53-60	Brazil
Siqueira (1994)	Pesquisa Agropecuária Brasileira v.29, p.875-883	Brazil
Siqueira (1995)	Pesquisa Agropecuária Brasileira v.30, p.1417-1425	Brazil
Siqueira (1998)	Mycorrhiza v.7, p.293:300	Brazil
Souza (1987)	Universidade Federal de Lavras/dissertação	Brazil
Souza (1987)	Ciência Prática, v.11, p.177-189	Brazil
Souza (1991)	Pesquisa Agropecuária Brasileira v.26, p.1989-2005	Brazil
Texeira (2010)	Revista Agrogeoambiental v.2, p.101-108	Brazil
Theodoro (2003)	Acta Scientiarum: Agronomy v.25, p.147-153	Brazil
Trejo (2011)	Revista Chilena de História Natural, v.84, p.23-31	Mexico
Tristão (2005)	Universidade Estadual de Campinas/dissertação	Brazil
Tristão (2006)	Revista Bragantia, v.65, p.649-658	Brazil
Vaast (1991)	Café Cacao Thé, v.2, p.121-132	USA
Vaast (1992)	Plant and Soil, v.147, p.31-39	USA
Vaast (1996)	Mycorrhiza, v.6, p.493:497	USA
Vaast (1998)	Biology and Fertility of Soils, v.26, p.130:135	USA

Supplementary Material 2

List of AMF genera and species, and their occurrence in coffee crops per country

AMF species	Countries					
	Brazil	India	Mexico	Puerto Rico	Yemen	[1]TNC
Acaulospora bireticulata Rothwell & Trap		+	+			2
Acaulospora colombiana (Spain & Schenck) Kaonongbua, Morton & Bever	+					1
Acaulospora dilatata Morton		+	+			2
Acaulospora excavata Ingleby & Walker			+			1
Acaulospora foveata Trappe & Janos	+		+			2
Acaulospora gedanensis Blaszkowski	+					1
Acaulospora lacunosa Morton		+				1
Acaulospora laevis Gerdemann & Trappe	+	+	+			3
Acaulospora longula Spain & Schenck	+					1
Acaulospora mellea Spain & Schenck	+		+			2
Acaulospora morrowiae Spain & Schenck	+					1
Acaulospora myriocarpa Spain, Sieverding & Schenck	+					1
Acaulospora scrobiculata Trappe	+	+	+			3
Acaulospora spinosa Walker & Trappe	+		+			2
Acaulospora sporocarpia Berch					+	1
Acaulospora sppendicula	+					1
Acaulospora tuberculata Janos & Trappe	+					1
Ambispora appendicula (Spain, Sieverd. & Schenck) Walker	+					1
Ambispora leptoticha (Schenck & Smith) Walker, Vestberg & Schuessler	+	+	+			3
Archaeospora trappei (Ames & Linderman) J.B. Morton & D. Redecker	+					1
Claroideoglomus claroideum (Schecnk & Smith) Walker & Schüssle			+		+	2
Claroideoglomus etunicatum Becker & Gerd.) Walker & Schüssler	+		+			2
Entrophospora infrequens (I.R. Hall) Ames & Schneid	+		+			2
Funneliformis constrictum (Trappe) Walker & Schüßler			+			1
Funneliformis coronatum (Giovann.) Walker & Schüßler			+			1
Funneliformis mosseae (Nicolson & Gerd.) Walker & Schüßler	+	+	+			3

Gigaspora albida Schenck & Smith	+				1
Gigaspora decipiens Hall & Abbott	+				1
Gigaspora gigantea (Nicolson & Gerdemann) Gerd. & Trappe	+				1
Gigaspora margarita Becker & Hall	+	+			2
Gigaspora rosea Nicolson & Schenck	+				1
Glomus aggregatum Schenck & Smith	+	+	+		3
Glomus albidum Walker & Rhodes	+				1
Glomus citricola Tang & Zang		+			2
Glomus clavisporum (Trappe) Almeida & Schenck	+	+			2
*Glomus coremioide*s (Berk. & Broome) Redecker & Morton			+		1
Glomus deserticola Trappe, Bloss & Menge	+	+			2
Glomus halonatum Rose & Trappe		+			1
Glomus heterosporum Smith & Schenck		+			1
Glomus invermaium Hall		+			1
Glomus lacteum Rose & Trappe		+			1
Glomus macrocarpum Tulasne & Tulasne	+		+	+	3
Glomus magnicaule Hall		+			1
Glomus microaggregatum Koske, Gemma & Olexia			+		1
Glomus microcarpum Tulasne & Tulasne	+				1
Glomus monosporum Gerdemann & Trappe		+			1
Glomus multicaule Gerdemann & Bakshi		+			1
Glomus radiatum (Thaxter) Trappe & Gerdemann		+			1
Glomus rubiforme (Gerd. & Trappe) Almeida & Schenck			+		1
Glomus sinuosum (Gerd. & Bakshi) Almeida & Schenck	+		+	+	3
Glomus tenebrosum (Thaxter) Berch		+			1
Glomus tortuosum Schenck & Smith	+				1
Glomus hoi Berch & Trappe		+			1
Paraglomus occultum (Walker) Morton & Redecker	+				1
Racocetra verrucosa (Koske & Walker) Oehl, Souza & Sieverd	+				1
Rhizophagus clarus (Nicolson & Schenck) C. Walker & Schüßler	+		+		2
Rhizophagus diaphanum (Morton & Walker) Walker & Schüßler	+	+	+		3
Rhizophagus fasciculatus (Thaxt.) Walker & Schüßler	+	+	+		3

Rhizophagus intraradices (Schenck & Sm.) Walker & Schüßler	+	+	+			3
Rhizophagus manihotis (Howeler, Sieverd. & Schenck) Walker & Schüßler	+					1
Rhizophagus proliferus (Dalpé & Declerck) C. Walker & Schüßler					+	1
Sclerocystis coremioides Berk. & Broome	+					1
Sclerocystis sinuosa Gerd. & B.K. Bakshi	+					1
Scutellospora biornata Spain, Sieverd. & Toro			+			1
Scutellospora cerradensis Spain & JMiranda	+					1
Scutellospora dipapillosa (Walker & Koske) Walker & Sanders	+		+			2
Scutellospora gilmorei (Trappe & Gerd.) Walker & Sanders	+					1
Scutellospora heterogama (Nicolson & Gerd.) Walker & Sanders	+	+				2
Scutellospora nigra (Redhead) Walker & Sanders					+	1
*Scutellospora pellucid*a (Nicolson & Schenck) Walker & Sanders	+					1
[2]TNSC	45	26	27	2	4	
[3]TNS:						70

[1]TNC: total number of countries per species; [2]TNSC; total number os species per country; [3]TNS: total number os species