ISSN 1809-6875

COFFEE SCIENCE

Volume 10 , Número 1, 2015

ISSN 1809-6875

COFFEE SCIENCE

Endereço/*Address*

Coffee Science
Universidade Federal de Lavras (UFLA)
Caixa Postal 3037
37200-000 Lavras, MG, Brasil

Fone: +55 35 3829-4590
e-mail: coffeescience@dag.ufla.br
http://www.coffeescience.ufla.br

COFFEE SCIENCE

COFFEE SCIENCE é uma publicação trimestral, vinculada à Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, Brasil e ao Consórcio Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento do Café-CBP&D/Café, que tem por objetivo publicar artigos originais completos que contribuam para o desenvolvimento da cafeicultura nas diferentes áreas. É indexada na AGROBASE/BINAGRI, AGRIS/CARIS, BIBLIOTECA NACIONAL, IBICT/SEER, CAB ABSTRACTS (CABI – Commonwealth Agricultural Bureaux International), LATINDEX (Regional System of on-line Information for Scientific Publication of Latin America, Caribean, Spain and Portugal), PERIÓDICA (Indice de Revistas Latino Americanas em Ciências), SCOPUS-Elsevier e DOAJ (Directory of Open Access Journals).

Issued every three months, **COFFEE SCIENCE** is a journal linked to the Federal University of Lavras (Lavras, Minas Gerais state, Brazil) and to the Brazilian Consortium for Research and Development in Coffee – CBP&D/Café, which publishes original articles that contribute to the development of coffee production in different areas. COFFEE SCIENCE is indexed to AGROBASE/BINAGRI, AGRIS/CARIS, BIBLIOTECA NACIONAL, IBICT/SEER, CAB ABSTRACTS (CABI – Commonwealth Agricultural Bureaux International), LATINDEX (Regional System of on-line Information for Scientific Publication of Latin America, Caribbean, Spain and Portugal), PERIÓDICA (Indice de revistas Latino Americanas em Ciências), SCOPUS-Elsevier and DOAJ (Directory of Open Access Journals).

Circulação/*Distribution*
Biblioteca Central da UFLA

Impressão/*Printing*
Embrapa Informação Tecnológica - Brasília, DF.

Disponível na WEB*/Available in the web site*
http://www.coffeescience.ufla.br

Indexado em:/Indexed in:
SCOPUS – Elsevier
DOAJ – Directory of Open Access Journals
AGROBASE – Base de Dados da Agricultura Brasileira (Brasil)
AGRIS-FAO – International Information System for the Agricultural Sciences and Technology (Itália)
CAB ABSTRACTS (CABI - Commonwealth Agricultural Bureaux International)
LANTINDEX (Regional System of on-line Information for Scientific Publications of Latin America, Caribbean, Spain and Portugal)
PERIÓDICA (Índice de Revistas Latinoamericanas em Ciências)

Ficha Catalográfica /Catalog form
Elaborada pela Coordenadoria de Produtos e Serviços da Biblioteca Universitária da UFLA

Coffee Science. – Vol . 10, n.1(jan./mar. 2015)- . – Lavras:
Universidade Federal de Lavras, 2013- .
v. : il. ; 27cm.

Trimestral: v. 1, n. 1, 2006. Semestral: a partir do v. 1, n. 2, 2006. Quadrimestral: a partir do v. 5, n. 1, 2010. Trimestral: a partir do v. 8, n. 1, 2013. Início: 2006.
ISSN: 1809-6875

1. Cafeicultura. I. Universidade Federal de Lavras. II. Consórcio Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento do Café.

CDD-633.73

Coffee Science

UNIVERSIDADE FEDERAL DE LAVRAS
Ministério da Educação
Ministro: Aloizio Mercadante
Reitor: José Roberto Soares Scolforo
Vice-Reitora: Édila Vilela de Resende Von Pinho
Pró-Reitoria de Pesquisa: José Maria de Lima

Consórcio Pesquisa Café
Presidente do Conselho Diretor: Maurício Antônio Lopes

Embrapa Café
Gerente Geral: Gabriel Ferreira Bartholo
Gerente Adjunto de Pesquisa e Desenvolvimento: Antônio Fernando Guerra
Gerente Adjunto de Transferência de Tecnologia: Lucas Tadeu Ferreira
Gerente Adjunto de Administração: Walmir Luiz Rodrigues Gomes

Editora UFLA
Diretoria Executiva
Renato Paiva

Coffee Science
Comissão Editorial/*Editorial board*

Editor-Chefe/*Editor-in-chief*
Flávio Meira Borém – Universidade Federal de Lavras, MG, Brasil

Editores-Executivos/*Executive-editors*
Antônio Nazareno Guimarães Mendes – Universidade Federal de Lavras, Lavras-MG, Brasil
Helena Maria Ramos Alves – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Brasília-DF, Brasil
Luiz Gonzaga de Castro Júnior – Universidade Federal de Lavras, Lavras-MG, Brasil
Marcelo Ribeiro Malta – Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais, Lavras-MG, Brasil
Maurício Sérgio Zacarias – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Brasília-DF, Brasil
Myriane Stella Scalco – Universidade Federal de Lavras, Lavras-MG, Brasil
Rubens José Guimarães – Universidade Federal de Lavras, Lavras-MG, Brasil
Samuel Pereira de Carvalho – Universidade Federal de Lavras, Lavras-MG, Brasil

Secretaria/*Secretary*
Renata Kelly Silva Rezende

Editoração/*Editorship*
Renata Kelly Silva Rezende

Revisão de Português/*Portuguese language review*
Jane Cherem

Revisão de Inglês/*English language review*
Samuel Pereira de Carvalho

Revisão de Referências Bibliográficas/*Revision of citations and references*
Márcio Barbosa Assis

Nomenclatura Científica/*Scientific Nomenclature*
Douglas Antônio de Carvalho

Coffee Science, Lavras, v. 10, n. 1, p. 1 - 137, jan./mar. 2015

Coffee Science

Editores Científicos/*Scientific-editors*

Alemar Braga Rena, UFV, Viçosa, MG
Amauri Alves de Alvarenga, UFLA, Lavras, MG
André Luis Teixeira Fernandes, UNIUBE, Uberaba, MG
Antônio Nazareno Guimarães Mendes, UFLA, Lavras, MG
Armando Androciolli Filho, IAPAR, Londrina, PR
Augusto Ramalho Morais, UFLA, Lavras, MG
Aymbiré Francisco Almeida da Fonseca, EMBRAPA CAFÉ, Venda Nova do Imigrante, ES
Carlos Henrique Siqueira de Carvalho, EMBRAPA, Brasília, DF
Édila Vilela de Resende Von Pinho, UFLA, Lavras, MG
Everardo Chartuni Mantovani, UFV,Viçosa, MG
Fábio Moreira da Silva, UFLA, Lavras, MG
Flávia Maria Avelar Gonçalves, UFLA, Lavras, MG
Flávia Maria de Mello Bliska, IAC, Campinas, SP
Gabriel Ferreira Bartholo, EMBRAPA, Brasília, DF
Itamar Ferreira de Souza, UFLA, Lavras, MG
João Batista Silva Araújo, INCAPER, Venda Nova do Imigrante, ES
Laércio Zambolim, UFV, Viçosa, MG
Leandro Carlos Paiva, IFSM, Machado, MG
Lílian Padilha, EMBRAPA CAFÉ, Varginha, MG
Ludwig Heinrich Pfenning, UFLA, Lavras, MG
Luiz Gonzaga de Castro Júnior, UFLA, Lavras, MG
Manoel Alves de Faria, UFLA, Lavras, MG
Maria Amélia Gava Ferrão, EMBRAPA CAFÉ, Venda Nova do Imigrante, ES
Marilusa Pinto Coelho Lacerda, UNB, Brasília, DF
Mário Lúcio Vilela de Resende, UFLA, Lavras, MG
Mário Massayuki Inomoto, ESALQ/USP, Piracicaba, SP
Marta dos Santos Freire Ricci, EMBRAPA AGROBIOLOGIA, Seropédica, RJ
Maurício Alves Moreira, INPE, São José dos Campos, SP
Mirian Peres Maluf, EMBRAPA CAFÉ, Campinas, SP
Paulo Caramori, IAPAR, Londrina, PR
Paulo César Afonso Júnior, EMBRAPA, Brasília, DF
Paulo Rebelles Reis, EPAMIG, Lavras, MG
Ronaldo Alves Libânio, UFLA, Lavras, MG
Rosane Freitas Schwan, UFLA, Lavras, MG
Rosemary Gualberto Fonseca Alvarenga Pereira, UFLA, Lavras, MG
Sara Maria Chalfoun, EPAMIG, Lavras, MG
Sônia Maria de Lima Salgado, EPAMIG, Lavras, MG
Stella Dellyzete Veiga Franco da Rosa, EMBRAPA, Brasília, DF
Sylvana Naomi Matsumoto, UESB, Vitória da Conquista, BA
Wander Eustáquio de Bastos Andrade, PESAGRO, Campos dos Goytacazes, RJ

COFFEE SCIENCE

SUMÁRIO/*SUMMARY*

01 Effect of temperature and leaf wetness on *Phoma tarda* and phoma leaf spot in coffee seedlings
Efeito de temperatura e molhamento foliar em *Phoma tarda* e mancha de phoma em mudas de cafeeiro
Emi Rainildes Lorenzetti, Edson Ampélio Pozza, Paulo Estevão de Souza, Leandro Alvarenga Santos, Eduardo Alves, André Costa Silva, Fernanda Gonçalves Martins Maia, Rejane Rodrigues da Costa Carvalho 1

02 Caracterização nutricional de acessos provenientes da Etiópia de café arábica
Nutritional characterization of arabica coffee accession from Ethiopia
Tiago Benedito dos Santos, Anderson Rotter Meda, Renata Barrufaldi Sitta, Eduardo Brandalize Vespero, Marcos Antonio Pavan, Pierre Charmetant, Valéria Carpentieri- Pípolo, Luiz Filipe Protasio Pereira, Luiz Gonzaga Esteves Vieira, Douglas Silva Domingues 10

03 Variabilidade genética entre genótipos de café robusta no estado de Minas Gerais
Genetic variability among robusta coffee genotypes in the state of Minas Gerais
Felipe Lopes da Silva, David Carlos Ferreira Baffa, Juliana Costa de Rezende, Antonio Carlos Baião de Oliveira, Antonio Alves Pereira, Cosme Damião Cruz 20

04 Moscas-das-frutas (*Diptera: Tephritidae*) em cafezais irrigados no norte de Minas Gerais
Fruit flies (*Diptera: Tephritidae*) in irrigated coffee plantations in the north of Minas Gerais
Maria Gisely Camargos, Clarice Diniz Alvarenga, Teresinha Augusta Giustolin, Patrícia Cristina do Carmo Oliveira, Marcelo Mendes Rabelo 28

05 Incidência da cercosporiose em frutos de cafeeiro: diferentes densidades de plantio e manejos de irrigação
Brown eye spot incidence in fruits of coffee: different density planting and water managements
Gabriel Brandão Vasco, Edson Ampélio Pozza, Myriane Stella Scalco, Leone Stabile Dias Santos, Adriano Augusto de Paiva Custódio, Mirian de Lourdes Oliveira e Silva 38

06 Disponibilidade hídrica no solo no desenvolvimento inicial do cafeeiro conilon
Availability soil water in the initial conilon coffee development
Rogério Rangel Rodrigues, Samuel Cola Pizetta, Edvaldo Fialho dos Reis, Giovanni de Oliveira Garcia 46

07 Efficiency of coffee mechanical and selective harvesting in different vibration during harvest time
Eficiência da colheita mecânica e seletiva do café em diferentes vibrações, ao longo do período de colheita
Flávio Castro da Silva, Fábio Moreira da Silva, Marcelo de Carvalho Alves, Gabriel Araújo e Silva Ferraz, Ronan Souza Sales 56

08 Parametrização das condições de obtenção do extrato do café verde e torrado com CO_2 supercrítico
Extraction parameters of essential oil of coffee with the use of CO_2 supercritical
Luciano Luiz Silva, Suellen Cadorin Fernandes, Murilo Cesar Costelli, Juliana Savio, Toni Jefferson Lopes, Stefane Vieira Besegatto, Ana Paula Capelezzo 65

09 Proposta de método para inspeção em pulverizadores hidropneumáticos
Proposed method for inspection in spray hydropneumatic
Renato Adriane Alves Ruas, Diego Sichocki, Luciel Rauni Dezordi, Alberto Carvalho Filho, Pedro Ivo Vieira Good God 76

Coffee Science

10 Evaluation of the physical workload in coffee production: biomechanical and physiological aspects
Avaliação da carga física de trabalho na produção de café: aspectos biomecânicos e fisiológicos
Marco Antônio Barbosa, Roberto Funes Abrahão, Mauro José Andrade Tereso, Renato Ribeiro de Lima, Liu Ying Chih..... 83

11 Crescimento de mudas de café sob diferentes preparos do solo e irrigação para agricultura familiar
Growth of coffee seedlings under different soil cultivation systems and family farming drip irrigation
Rhuanito Soranz Ferrarezi, Fábio Ponciano de Deus, Guilherme Alonso Martins, Renan Primo, Roberto Testezlaf..... 91

12 Susceptibilidade ao entupimento de um sistema de irrigação por gotejamento para agricultura familiar
IClogging susceptibility of a drip irrigation system designed for family farming
Fábio Ponciano de Deus, Rhuanito Soranz Ferrarezi, Renan Primo, Guilherme Alonso Martins, Roberto Testezlaf 102

13 Seleção de um modelo de regressão binomial para taxa de predação de *Euseius concordis* **(Chant, 1959)**
Selecting a binomial regression model on the predation rate of *Euseius concordis* **(Chant, 1959)**
Gilberto Rodrigues Liska, Erika Carla da Silveira, Paulo Rebelles Reis, Marcelo Ângelo Cirillo, Guido Gustavo Humada Gonzalez 113

14 Amostragem de plantas em cafeeiro para avaliação do estado nutricional
Sampling of plant in coffee for evaluation of nutritional status
Antonio Carlos de Oliveira Cintra, Danilo Eduardo Rozane, William Natale, Silvia Helena Modenese Gorla da Silva, José Carlos Barbosa, Marcelo Domingos Chamma Lopes 122

15 Nota Prévia
Agrupamento de acessos de café irrigado com melhores atributos para bebida
Clustering of irrigated coffee access with best attributes to beverage
Sonia Maria Costa Celestino, Juaci Vitória Malaquias, Manaira Ferreira Franco Xavier 131

EFFECT OF TEMPERATURE AND LEAF WETNESS ON *Phoma tarda* AND PHOMA LEAF SPOT IN COFFEE SEEDLINGS

Emi Rainildes Lorenzetti[1], Edson Ampélio Pozza[2], Paulo Estevão de Souza[3], Leandro Alvarenga Santos[4], Eduardo Alves[5], André Costa da Silva[6], Fernanda Gonçalves Martins Maia[7], Rejane Rodrigues da Costa Carvalho[8]

(Recebido: 07 de outubro de 2013; aceito: 15 de maio de 2014)

ABSTRACT: Phoma leaf spot is a major disease of coffee plants in regions with specific conditions of temperature and humidity. Despite the importance of environmental variables for disease progression, so far they have been poorly understood. Thus, we assessed the effect of different temperatures (15, 20, 25 and 30 oC) on mycelial growth, production and germination of conidia of *Phoma tarda*; and the same effect of temperature (15, 20, 25 and 30 oC) and leaf wetness duration (6, 12, 24, 36 and 48 hours) on fungal infection and severity of disease over time in coffee plants. Disease assessment was integrated in the area using the disease progress curve (AUDPC) and the infection processes were observed by scanning electron microscopy (SEM). The optimal temperatures for fungus growth, conidial production and germination in vitro were 22.9, 29.8, and 25.1 °C, respectively. Temperatures ranging from 15-20 °C significantly increased germ tube length and provided favorable conditions for pathogen infection through observation of early events such as cuticle separation from leaf tissue. The same temperature range combined with increasing leaf wetness periods, reached the highest value of the AUDPC of phoma leaf spot. Thus, it was found that both temperature and leaf wetness duration in the variables assessed and the difference in relation to temperature for in vitro growth and sporulation for in vivo tests were important.

Index terms: Epidemiology, *Coffea arabica*, scanning electron microscopy, growth, sporulation.

EFEITO DE TEMPERATURA E MOLHAMENTO FOLIAR EM *Phoma tarda* E MANCHA DE PHOMA EM MUDAS DE CAFEEIRO

RESUMO: *Mancha de Phoma é uma das principais doenças do cafeeiro em zonas com condições específicas de temperatura e umidade. Apesar da importância das variáveis ambientais para o progresso da doença, até agora essas têm sido mal compreendidas. Avaliou-neste estudo, o efeito de diferentes temperaturas (15, 20, 25 e 30 ºC) sobre o crescimento micelial, produção e germinação de conídios de Phoma tarda, e o efeito da temperatura (15, 20, 25 e 30 ºC) e da duração do período de molhamento (6, 12, 24, 36 e 48 horas) sobre a infecção fúngica e severidade da doença, ao longo do tempo em plantas de café. A avaliação da doença realizada através da área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD) e os processos de infecção foram observados por microscopia eletrônica de varredura (MEV). As temperaturas ótimas para o crescimento de fungos, produção de conídios e germinação foram de 22,9, 29,8, 25,1 °C, respectivamente. Temperaturas variando entre 15-20 °C aumentaram, significativamente, o comprimento do tubo germinativo e proporcionaram condições favoráveis para a infecção pelo patógeno através da observação dos primeiros eventos, tais como a separação da cutícula do tecido foliar. A mesma faixa de temperatura combinada com períodos crescentes de molhamento foliar, no máximo, 48 horas, atingiu os maiores valores da AACPD da Mancha Phoma. Assim, verificou-se que, tanto a temperatura quanto a duração do molhamento para testes in vivo e a influência da temperatura para o crescimento e esporulação in vitro foram importantes.*

Termos para indexação: *Epidemiologia, Coffea arabica, microscopia eletrônica de varredura, doenças do cafeeiro.*

1 INTRODUCTION

Coffee stands out as a socially and economically profitable crop in Brazil. The state of Minas Gerais alone accounts for approximately 50% of the national coffee production, mostly concentrated in the south region (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB, 2010). Among many crop limiting factors, diseases such as coffee rust (*Hemileia vastatrix* Berk. & Broome), brown eye spot (*Cercospora coffeicola* Berk. & Cooke) (POZZA; CARVALHO; CHAUFOUN, 2010), and phoma leaf spot (*Phoma tarda* (Stewart) Boerema & Bollen) (*P. tarda*) (SALGADO et al., 2009) stand out for causing significant yield and quality losses. Although such diseases are limited to certain regions with specific climatic conditions, the incidence of phoma leaf spot has significantly increased in coffee crops in recent years in areas where it has never occurred before.

[1]Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sudeste de Minas Gerais - Câmpus Rio Pomba - 36180-000 - Rio Pomba - MG - emi.lorenzetti@ifsudestemg.edu.br
[2,3,4,5]Universidade Federal de Lavras /UFLA - Departamento de Fitopatologia/DFP - Cx. P. 3037 - 37.200-000 - Lavras -MG eapozza@dfp.ufla.br, pauleste@dfp.ufla.br, leandro.alvarenga.s@hotmail.com, ealves@dfp.ufla.br
[6]Universidade Federal de Viçosa - Departamento de Fitopatologia/DFP - 36.570-000 - Viçosa-MG - andrec_agro@yahoo.com.br
[7]Universidade Federal de Uberlândia - Cx. P. 593- 38400-902 - Uberlândia - MG - feagrosal@yahoo.com.br
[8]Universidade Federal Rural de Pernambuco - Departamento de Agronomia - 52171- 900 - Recife - rejanercosta@yahoo.com.br

The disease can cause tip and branch dieback with necrosis of rosettes and flowers, which significantly reduce crop yield. As growing area has been expanded to regions with mean annual temperature above 23 °C, such as northern of Minas Gerais state and northeastern Brazilian states, researchers had thought that phoma spot was unlikely to occur (POZZA; CARVALHO; CHAUFOUN, 2010); however, many reports of disease occurrence have been cited.

Although most often endemic, phoma spot can sometimes occur in explosive epidemics due to cold climate, heavy rain, strong winds and hail, which cause leaf damage and allow to the entrance of the pathogen. These conditions, associated with leaf wetness caused by localized rainfall, dew, and fog eventually favor disease (POZZA; CARVALHO; CHAUFOUN, 2010). In addition, unusual climatic instability in recent years has been hampering the disease management (POZZA; ALVES, 2008).

Temperature of 23 ºC has been cited as optimal for mycelial growth of *Phoma tarda* and increasing infection of wounded leaves (FIRMAN, 1965). In the field, intermittent periods of cold weather combined with temperatures from 18 to 19 °C, cold wind and altitude above 900 m are highly favorable microclimatic conditions, especially in barren areas temperatures from 16 to 20 ºC and rainfall above 4 mm/day as highly favorable for this fungal infection (POZZA; ALVES, 2008).

Despite previous research, the specific environmental conditions that favor infection by isolates of *P. tarda* and progress of phoma leaf spot, especially temperature and duration of leaf wetness, are as yet very poorly explored. However, such conditions have been extensively cited as having a direct influence on the increase of disease levels in susceptible crops (DUTHIE, 1997). Thus, elucidating the pathogen behavior in these conditions can be useful to explain why the disease is occurring in regions apparently unfavorable to the pathogen and in periods historically showing low intensity. In addition, the study can contribute to disease management.

Therefore, our objective was to evaluate the effect of temperature on mycelial growth, production and germination of conidia of *P. tarda* in vitro, and the effect of temperature and leaf wetness duration on infection and severity of phoma leaf spot in coffee seedlings.

2 MATERIALS AND METHODS

Obtaining the isolate

We used the CMI-720 isolate of *P. tarda* from coffee leaves (*Coffea arabica* L.) of plants from Santo Antonio do Amparo, Minas Gerais state, Brazil, provided by the Coleção Micológica de Lavras - CML, Department of Plant Pathology, UFLA. The fungus was grown in liquid malt extract and incubated under a photoperiod of 12 hours at 20 °C in germination chamber BOD type.

Fungus growth, conidia production and germination

To assess mycelial growth, we used 9 cm diameter Petri dishes and 15 mL of liquid malt extract. A 9 mm diameter plug of fungus mycelium grown for 10 days was placed in the center of each plate. The dishes were conditioned at different increasing temperatures (15, 20, 25, and 30 ºC) with a photoperiod of 12 hours in germination chambers. The trial was a completely randomized design with three replications, each consisting of five Petri dishes. Colony diameter was measured every 48 hours in orthogonal position, until one of the treatments reached the full diameter of the Petri dish. We used the values to calculate mycelial growth (MG), based on the formula:

$$MG = \sum (D - Db) / N$$

(D = colony diameter, Db = mean colony diameter on the day before, N = number of days after inoculation).

Conidia production was evaluated at the twenty-fourth day of incubation after all treatments reached maximum growth. Then, each plate received 15 mL of water and Tween 20 (Sorbitan monolaurate ethoxylate) 1%. The colony surface was scraped with a Drigalsky spatula, and spores of each dish were filtered through cheeseclothe and suspended. For each spore suspension, three 0.1 mL aliquots were separately transferred to a hemacytometer and spores were counted under light microscope. The experiment was a completely randomized design with three replicates, two counts per replication.

To evaluate spore germination, we used 9 cm diameter Petri dishes with 10 mL of water agar. After solidification, we added 200 µL of spore suspension from a culture grown for 24 days at 25 °C in concentration of 2 x 105 spores/mL per dish. The plates were incubated in a growth

chamber under fluorescent light for 12 hours at 15, 20, 25, and 30 oC in a completely randomized design with three replicates, three counts per dish. Immediately after incubation period, conidia germination was paralyzed with lactophenol. The percentage of spore germination was assessed by counting a sample of 200 spores per quadrant, using light microscopy. Spores were considered germinated when the germ tube was equal to or greater than its diameter. The percentage was determined in three replicates over time.

For statistical analysis we used SAS software (STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM INSTITUTE - SAS INSTITUTE, 2010). Each trial was replicated three times, and all data were subjected to pooled analysis over time. Then, analysis of variance was performed. The significant variables in F-test were subjected to adjustment of regression models, and the first order derivatives of the regression equations were calculated to determine the optimum temperature and the point of maximum growth, production and germination of conidia.

Effect of wetness and temperature on the severity of phoma leaf spot

The experiment was carried out in growth chambers under different incubation temperatures and periods of leaf wetness with coffee seedlings of Topazio MG1190 cultivar with approximately 8 pairs of leaves. The cultivar was chosen due to its higher susceptibility to phoma leaf spot (BARGUIL, 2004).

Three pairs of leaves in the plant upper third were marked. Then, seedlings were inoculated with a suspension of 2 x 105 spores / mL containing 1% Tween 20 (LIMA et al., 2010). After inoculation, the plants were enclosed in clear plastic bags and remained at saturated humidity for 6, 12, 24, 36, and 48 h, thus simulating periods of leaf wetness. Incubation temperatures in growth chambers were 15, 20, 25, and 30 °C (± 3 ºC) under a 12 hours photoperiod. After the plastic bags were removed, plant humidity was maintained around 80% by a humidifier. We used a completely randomized design with four replications, two plants per replicate, in a 4x5 factorial arrangement (four temperature levels and five periods of leaf wetness) totaling 40 seedlings. The trial was replicated twice.

We evaluated the severity of disease using the diagram proposed by Salgado et al. (2009) in 10 assessments every seven days, starting after the onset of symptoms. Data was converted to the area under the disease progress curve (AUDPC) over time.

Both trials were subjected to pooled analysis. Then, we proceeded with the analysis of variance of the 4x5 factorial. As soon as significant interactions in the analysis of variance F-test occurred, we fitted the regression models. Statistical analysis was performed on SAS (SAS INSTITUTE, 2010) and Sigma Plot (Sigma Plot ® - Version 10.0 - Systat Software Inc.).

Scanning electron microscopy (SEM) studies

Seedlings of coffee cultivar Topazio MG 1190 with eight pairs of leaves were infected with a spore solution of 2 x 105 spores/mL of distilled water containing a commercial spreader-sticker (alkylphenol polyglycol ether) 0.1 m/L in areas delimited by plastic tape. Next, waxed paper moistened with distilled water was placed at the inoculation site to fix the spores on the leaves. After inoculation process, the plants were enclosed in clear plastic bags, moistened and kept at saturation humidity for 6, 12, 24, 36, and 48 hours, thus simulating the periods of leaf wetness. Incubation temperatures in growth chambers were 15, 20, 25, and 30 °C (± 3 ºC) under a 12 hours photoperiod.

The trial was a completely randomized design with two plants per treatment. After each period of leaf wetness, samples (0.5 x 0.5 cm) were fixed in modified Karnovsky, for a 24-hour period. After fixation the material was immersed three times in cacodylate buffer, 10 minutes in each immersion. Then, it post-fixed in 1% osmium tetroxide aqueous solution for 1-2 hour and then dehydrated in a crescent series of acetone solution (25, 50, 70, and 90 for 10 minutes and three times for 10 minutes at 100%). Afterwards, the samples are transferred to a critical point dryer Balzers CPD 030 (Balzers, Liechtenstein, Germany) to complete the drying process with carbon dioxide as a transition fluid. The specimens obtained are mounted on aluminum stubs, with a double-stick carbon tape put on a film of aluminum foil, coated with gold using a sputter Balzers SCD 050 (Balzers, Liechtenstein, Germany), and kept in desiccator with silica gel until observing. SEM analyses were conducted using a Leo EVO 40 electron microscope (Leo Electron Microscopy, Cambridge, UK), and the images generated at various magnifications were digitally recorded.

The germ tubes of a spore sample were measured at different temperatures in the 36-hour wetness. The trial was a completely randomized design, with ten conidia measured. Measurement of spores was performed with the software SmartSEM (V.05.04.03.00, CARL ZEISS, 2010).

3 RESULTS AND DISCUSSION

Pooled analysis showed no significant difference between replications over time, thus data referred to the average of trials. All variables analyzed in vitro, i.e., micelial growth, production and germination of conidia were significant at F test.

Mycelial growth curve showed a pattern identical to the curve of pathogen grown in culture medium, with the point of maximum rate, minimum and maximum temperatures reaching threshold values. The lowest growth temperatures were 15 °C with minimum at 30 °C (Fig. 1a). The optimum temperature for mycelial growth (IVCM) for the isolate IMC 720 of *P. tarda* was 22.9 °C. After 12 days, the fungus colony filled the entire Petri dish.

Conidial production increased with increasing temperature (Fig. 1b), and at 30 ºC there was a slight drop in the number of conidia. The first order derivatives showed that optimum temperatures for conidial production and conidial germination were 29.8 and 25.1 °C, respectively (Fig. 1c).

Conidial production increased with increasing temperature (Fig. 1b), and at 30 ºC there was a slight drop in the number of conidia. The first order derivatives showed that optimum temperatures for conidial production and conidial germination were 29.8 and 25.1 °C, respectively (Fig. 1b; 1c). Germination showed differences between in vitro and in vivo responses. On water agar plates, the most favorable temperature was 25.1 ºC, showing 100% germination. The experiment with in SEM (Scanning Electron Microscope) revealed the first spores germinated in the 12-hour leaf wetness at 20 °C in coffee leaves (Fig. 2). The highest growth of germ tube was also observed at 20 ºC (Fig. 3 and Fig. 4).

The interaction was significant for the variables temperature and leaf wetness ($p < 0.05$) (Fig. 5) for AUDPC. The highest AUDPC values occurred between temperatures of 15 and 20 °C (± 3 °C) combined with increasing leaf wetness, reaching the maximum rate in 48 hours. However, the largest in vitro mycelial growth occurred at a higher temperature, 23 °C.

In the ultrastructural analysis of samples under temperatures from 15 to 20 ºC and 24-hours leaf wetness, the cuticle began to separate from leaf tissue due to physiological processes that allow the pathogen to breach the host cuticle (Fig. 4 b). The analysis by scanning electron microscopy showed 60% of reduction in germ tube growth at 30 °C when compared with temperatures of 15 and 20 °C, thus confirming that the highest severity rates occur at these levels.

After 36 hours of leaf wetness (Fig. 4) the cuticles were clearly separated from leaves in all treatments, regardless of germ tube growth. Germ tube length increased from 15-20 °C, showing maximum rate at 18.11 °C, thus explaining the highest severity rates found at temperatures from 15-20 °C combined with increasing leaf wetness duration (Fig. 6).

Phoma leaf spot is a serious phytosanitary issue and a limiting condition for coffee crops in specific areas. Little data about the factors involved in infection of *P. tarda* and its interaction with coffee plant is currently available. In one of the few reports, Firman (1965) obtained temperatures levels similar to those in this study, although only for mycelial growth of fungi.

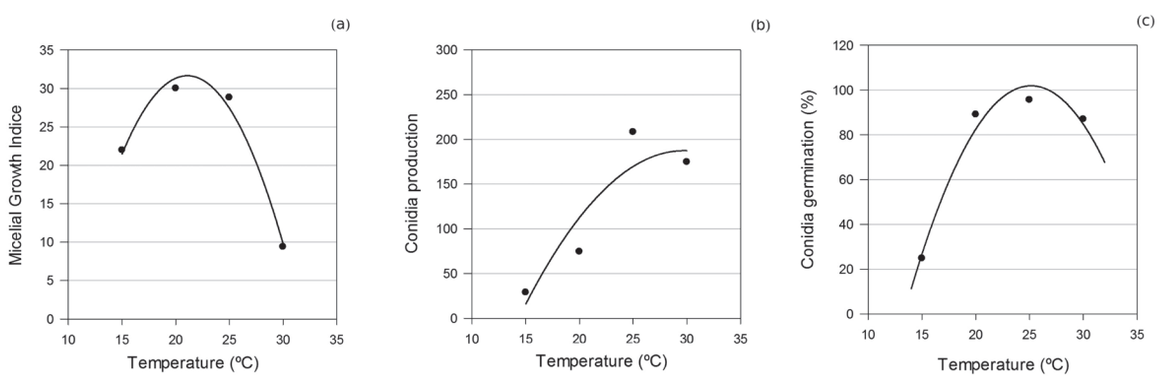

FIGURE 1- In vitro tests with *Phoma tarda* from coffee. (a) Mycelial growth. (b) Conidia production. (c) Conidia germination (%).

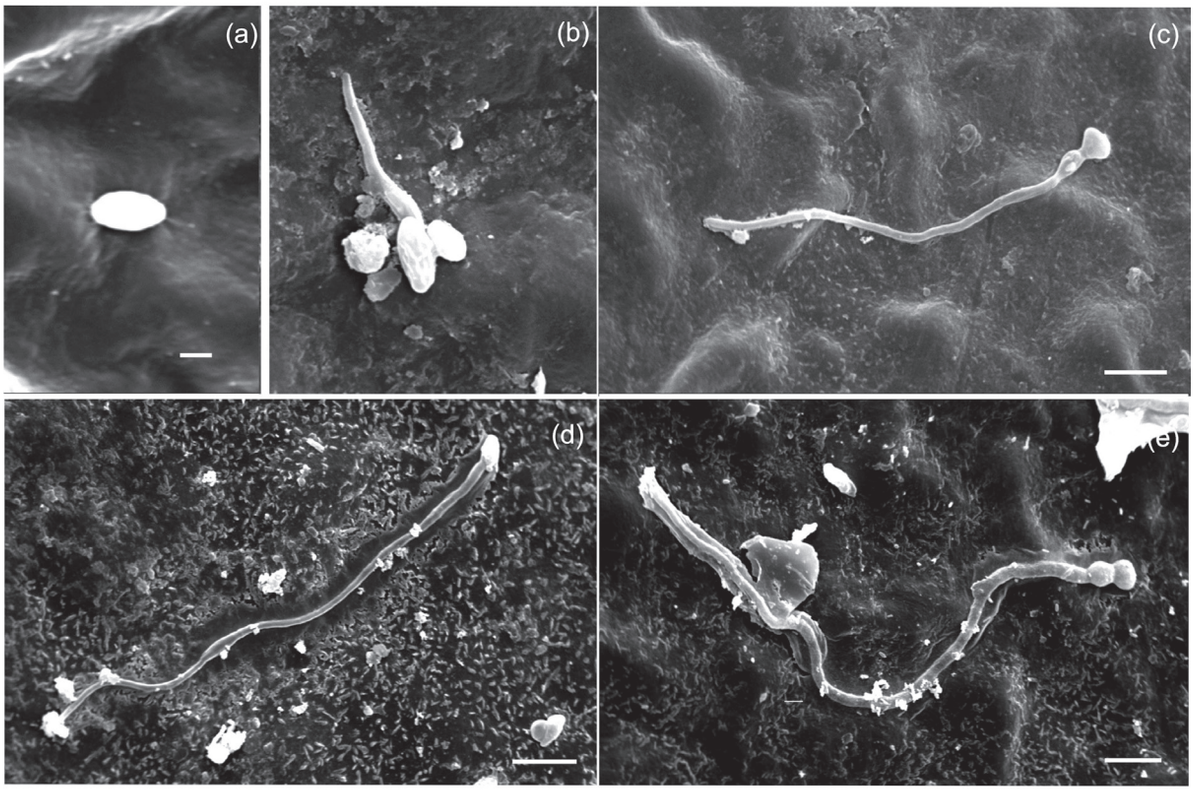

FIGURE 2- Scanning electron micrographs of *Phoma tarda* conidia germination at 20ºC, The figures present a *P. tarda* conidia in the germination process along the time (crescent order)– (a) wetness of 6h. (Bar = 2µm) (b) wetness of 12h. (Bar = 2µm) (c) wetness of 24h.(Bar = 10µm) (d) wetness of 36h.(Bar = 10µm) (e) wetness of 48h.(Bar = 10µm).

In other pathosystems, mycelial growth always shows a similar trend in optimum temperature range, which is favorable for pathogen development. The behavior was similar in other coffee plant diseases. The optimum temperature for growth of different isolates of *Colletotrichum spp*., which causes coffee blister spot, ranged from 22 to 28 °C, and temperatures of 15 and 35 °C caused a drastic reduction in mycelial growth (DIAS et al., 2005). As for *Hemileia vastatrix*, the coffee rust, the urediniospore maximum germination occurred at 24 °C, and infectivity reduced with increasing temperature (MONTOYA; CHAVES, 1974).

Temperature and light are important factors for mycelial growth and production of fungal spores in vitro. However, conditions favoring fungal growth do not necessarily favor sporulation (NOZAKI; CAMARGO; BARRETO, 2004), which was observed for *P. tarda*. The temperature in vitro showing the highest production of conidia was close to 30 °C, whereas lower temperatures around 23 °C favored mycelial growth. Different optimum temperatures for mycelial growth and sporulation were also observed in the pathosystem *Stenocarpella x maize* (CASA et al., 2007). It is possible that reduced growth resulted in more effort to increase sporulation in an attempt to ensure the survival of fungi in the environment.

Salgado et al. (2003) assessed the MS-13 isolate of *P. tarda* collected in southern Minas Gerais state and grown in culture medium V8 agar. The authors found that the optimum temperature and number of days that best favored conidial production were 15 °C in a period from 20 to 24 days. However, our study showed different outcomes (29.8 °C), since rise in incubation temperature definitely increased conidial production. Among other factors, such dissimilar results are due to the different culture media employed. Some media are more favorable for sporulation of fungi than others, as they have complex carbohydrates. These compounds are less capable of producing vegetative hyphae, although more capable of producing spores (NOZAKI; CAMARGO; BARRETO, 2004).

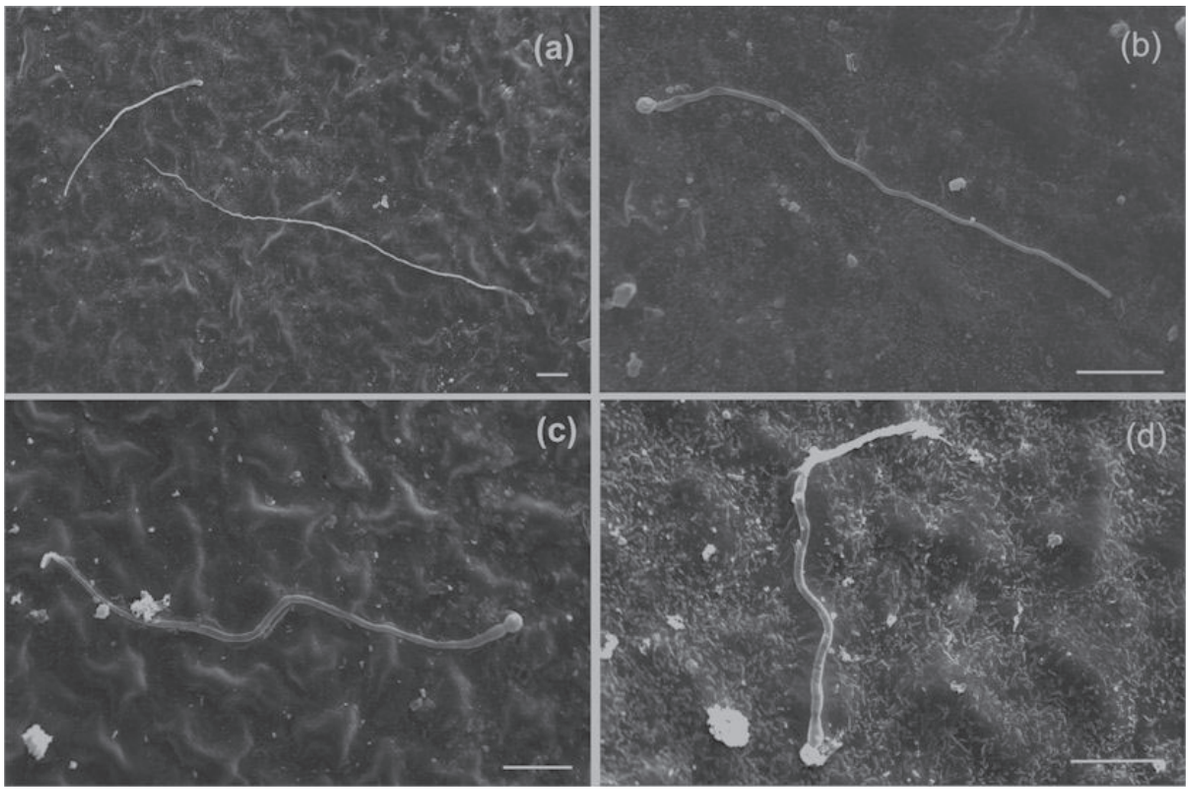

FIGURE 3 - Scanning electron micrographs of *Phoma tarda* conidia germination in wetness of 36 h. The figures present a *P. tarda* conidia in the germination process in the same time, in different temperatures (a) 15ºC, (b) 20ºC,(c) 25ºC, (d) 30ºC. (Bar = 10µm).

Another explanation for the difference is the variability of the isolates. Other studies confirm that different isolates varied their conidial production (AIUCHI et al., 2008; DIAS et al., 2005). *Cercospora coffeicola* isolates from different locations also showed variation in mycelial growth (SOUZA, 2007). This difference may be due to genetic variability of species, with great variation in morphological and biochemical aspects among isolates, which is related to their high climatic adaptability. Variations also occur among isolates of *Phoma*, as infectivity and severity are limited by environmental conditions such as temperature, humidity, light intensity and altitude (GOMEZ; BUSTAMANTE, 1977). Isolates of *Phoma* from coffee growing areas with higher altitude and humidity were most pathogenic in Costa Rica (FERNANDEZ, 1986). When comparing conidial germination in culture medium in vitro in the electron microscopy trial, we found that temperature around 25 °C provided the highest percentage of germination, whereas the ideal temperature for coffee leaves was around 20 oC. In natural substrates such as leaves, conidia are longer in *Bipolaris sorokiniana* (Sacc.) Schoemaker (BARBA; REIS; FORCELINI, 2004) like observed in coffee leaves.

Variations in germination in different substrates were also observed in coffee leaves and rust spores. On agar-water plates, the germination percentage of urediniospores was higher than in coffee leaves, which is probably due to uniformity and constancy of the temperature and humidity achieved in the culture medium (MONTOYA; CHAVES, 1974). As in *Potebniamyces pyri* (Berk. & Broome), conidial germination did not occur at 35 °C, and at threshold temperatures 0 and 30 °C the germ tube elongation decreased (LIU; XIAO, 2005).

Low temperatures ranging from 15 to 20 °C and leaf wetness periods over 36 hours are optimal conditions for fungal infection in coffee seedlings, thus confirming the temperature levels from 16 to 20 °C observed by Pozza and Alves (2008).

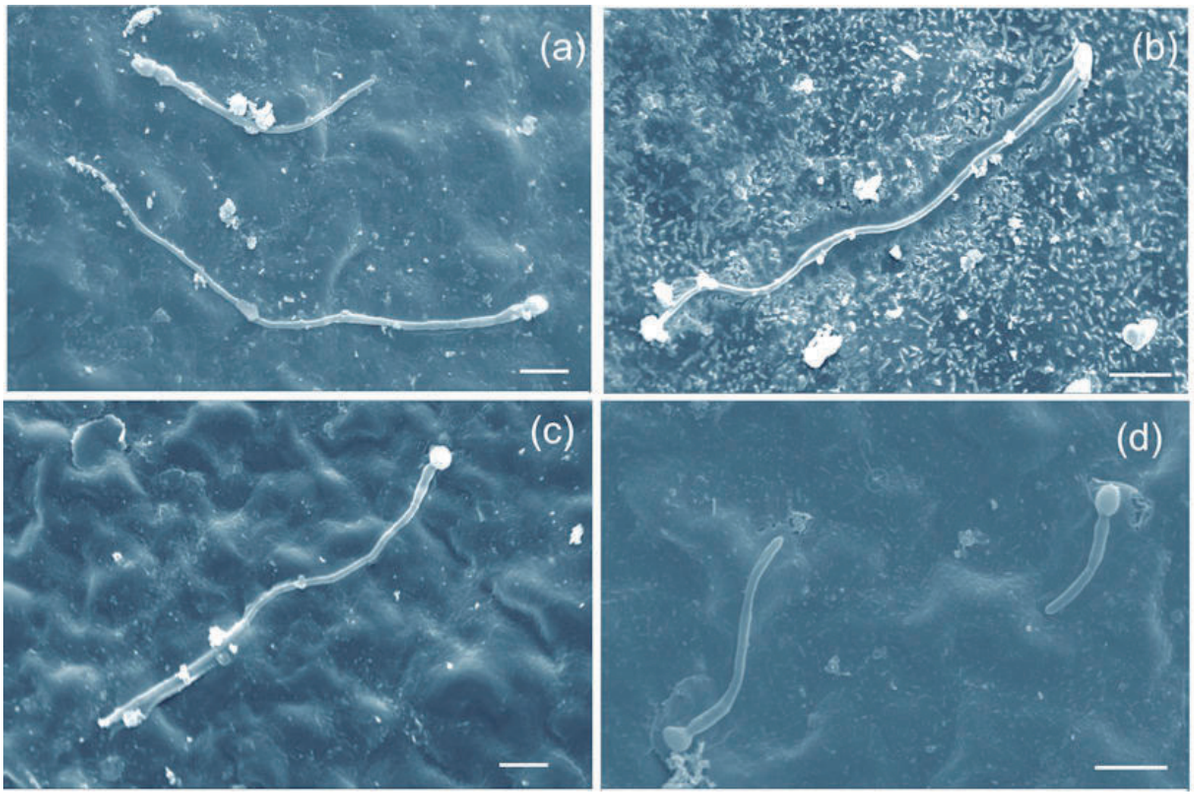

FIGURE 4 - Scanning electron micrographs of *Phoma tarda* conidia germination in wetness of 48 h. The figures present a *P. tarda* conidia in the germination process in the same time, in different temperatures (a) 15ºC, (b) 20ºC,(c) 25ºC, (d) 30ºC. (Bar = 20µm).

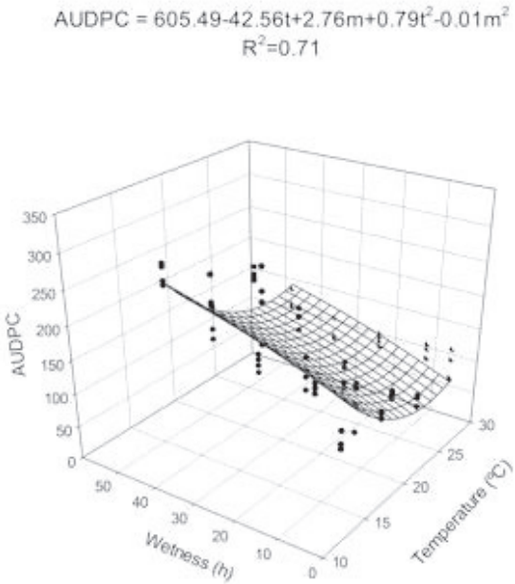

FIGURE 5 - Effect of temperature and leaf wetness on AUDPC of *Phoma tarda* in coffee seedlings.

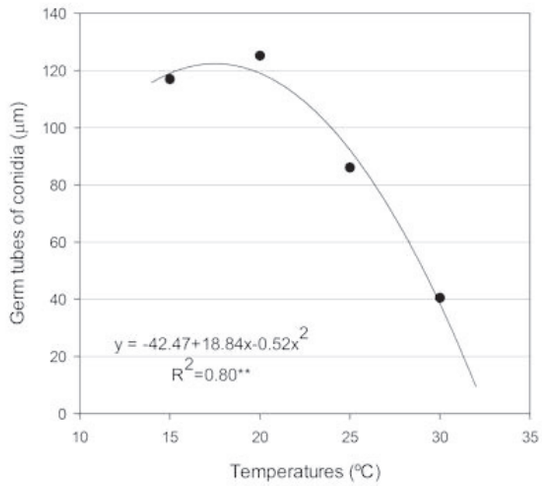

FIGURE 6 - Measurement of germ tubes of *Phoma tarda* a function of temperature.

Differences between in vitro and in vivo conditions can be explained by the interaction with host in trials in vivo. Such interaction comprises the inherent ability of the fungus to attack and the ability of the plant to defend itself (POZZA; ALVES, 2008). Besides environmental factors such as temperature and leaf wetness, variability of isolate and host can also change the infection process (TRAPERO-CASAS; KAISER, 1992). Thus, other coffee cultivars and *Phoma* isolates may show different responses. In Colombia, isolates of *Phoma* sp. from crops planted at different altitudes showed differences in pathogenicity, and those from higher altitudes were the most pathogenic (GOMEZ; BUSTAMANTE, 1977).

As low temperatures are conditions favorable for phoma leaf spot, climate change and increases in global temperatures will certainly reduce areas favoring the disease in future scenarios (MORAES et al., 2010). However, such environmental changes can lead to plant and pathogen adaptations (EASTBURN; MCELRONE; BILGIN, 2011).

In the SEM trial, cuticle separation from leaves was shown as part of the process of infection by *Phoma tarda*. Fungal spores have a small amount of cutinase that releases cutin monomers when in contact with plant cell walls. Monomers trigger cutinase gene expression in the fungus, thus degrading the cuticle layer. The fungus penetrates the cuticular barrier by combining the physical and enzyme processes promoted by fungal cutinase (KOLATTUKUDY et al., 1995).

Considering the importance of the disease and the lack of data regarding its epidemiology, this study provides relevant information to further studies on the pathosystem, which can help establish strategies for disease management in field conditions.

4 CONCLUSION

This study showed the effect of low temperatures, around 20 ºC, combined with conditions of prolonged leaf wetness, maximum of 48 hours, on the highest value of area under the progress curve of phoma leaf spot in coffee plants.

5 ACKNOWLEDGEMENTS

The authors thanks to Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) and Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) for financial support.

6 REFERENCES

AIUCHI, D. et al. Variation in growth at different temperatures and production and size of conidia in hybrid strains of *Verticillium lecanii* (Lecanicillium spp.) **Applied Entomology Zoology,** Tokyo, v. 43, p. 427-436, 2008.

BARBA, J. T.; REIS, E. M.; FORCELINI, C. A. Efeito do substrato na morfologia de conídios de *Bipolaris sorokiniana* e da densidade de inóculo na intensidade da mancha marrom em cevada. **Fitopatologia Brasileira,** Brasília, v. 29, p. 1-6, 2004.

BARGUIL, B. M. I**ndução de resistência e reação de cultivares de** *Coffea arabica* **L. a** *Phoma costarriciensis Echandi***.** 2004. 64 p. Dissertação (Mestrado em Fitopatologia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2004.

CASA, R. T. et al. Efeito da temperatura e de regimes de luz no crescimento do micélio, germinação de conídios e esporulação de *Stenocarpella macrospora* e *Stenocarpella maydis*. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 32, p. 137-142, 2007.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira café safra 2010:** segunda estimativa, maio/2010. Brasília, 2010.

DIAS, M. D. et al. Efeito da temperatura no crescimento micelial, produção e germinação de conídios de *Colletotrichum* spp. isolados de *Coffea arabica* L. **Ciência & Agrotecnologia,** Lavras, v. 29, p. 545-552, 2005.

DUTHIE, J. A. Models of the response of foliar parasites to the combined effects of temperature and duration of wetness. **Phytopathology,** Saint Paul, v. 87, p. 1088-1095, 1997.

EASTBURN, D. M.; MCELRONE, A. J.; BILGIN, D. D. Influence of atmospheric and climatic change on plant-pathogen interactions. **Plant Pathology**, Honolulu, v. 60, p. 54-69, 2011.

FERNANDEZ, J. M. **El derrite del cafeto:** su control y algunos aspectos de su biología. San José: Ministerio de Agricultura y Ganadería, 1986.

FIRMAN, I. D. Some investigations on a disease of *Coffea arabica* caused by *Ascochyta tarda*. **Transactions of the British Mycological Society,** Cambridge, v. 48, p. 161-166, 1965.

GOMEZ, R.; BUSTAMANTE, E. Influencia de la luz y la temperatura en el desarrollo de la muerte descedente del cafeto causado por *Phoma* sp. **Fitopatologia Colombiana**, Palmira, v. 6, p. 73-80, 1977.

KOLATTUKUDY, P. E. et al. Surface signaling in pathogenesis. **Proceedings of the National Academy of Sciences of The United States of America**, Washington, v. 92, p. 4080-4087, 1995.

LIMA, L. M. et al. Relação nitrogênio/potássio com mancha de Phoma e nutrição de mudas de cafeeiro em solução nutritiva. **Tropical Plant Pathology,** Brasília, v. 35, p. 223-228, 2010.

LIU, Q.; XIAO, C. L. Influence of nutrient and environmental factors on conidial germination of *Potebniamyces pyri*. **Phytopathology**, Saint Paul, v. 95, p. 572-580, 2005.

MONTOYA, R. H.; CHAVES, G. M. Influência da temperatura e da luz na germinação, infectividade e período de geração de *Hemileia vastatrix* Berk. & Br. **Experientiae**, Viçosa, v. 18, p. 239-266, 1974.

MORAES, W. B. et al. Impacto das mudanças climáticas globais na distribuição espaço-temporal da mancha de phoma do cafeeiro no Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEREOLOGIA, 16., 2010, Belém. **Anais**... Belém: CBMET, 2010. Available from: <http://www.cbmet2010.com/anais/4.html>. Access in: 10 Mar. 2011.

NOZAKI, M. H.; CAMARGO, M.; BARRETO, M. Caracterização de *Diaporthecitri* em meios de cultura e diferentes condições de temperatura e luminosidade. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 29, p. 429-432, 2004.

POZZA, E. A.; ALVES, M. C. Impacto potencial de mudanças climáticas sobre as doenças fúngicas do cafeeiro no Brasil. In: GHINI, R.; RAMADA, E. (Ed.). **Mudanças climáticas**: impactos sobre doenças de plantas no Brasil. Brasília: EMBRAPA, 2008. p. 220-238.

POZZA, E. A.; CARVALHO, V. L.; CHALFOUN, S. M. Sintomas de injúrias causadas por doenças do cafeeiro. In: GUIMARÃES, R. J.; MENDES, A. N. G.; BALIZA, D. P. (Ed.). **Semiologia do cafeeiro.** Lavras: UFLA, 2010. p. 67-106.

SALGADO, M. et al. Escala diagramática para avaliação da severidade da mancha de Phoma do cafeeiro. **Tropical Plant Pathology**, Brasília, v. 34, p. 422-427, 2009.

SALGADO, M. et al. Influência da temperatura e do tempo de incubação no crescimento micelial e produção de conídios in vitro de espécies de Phoma do cafeeiro. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL; WORKSHOP INTERNACIONAL DE CAFÉ & SAÚDE, 3., 2003, Porto Seguro. **Anais.**.. Porto Seguro, 2003. p. 202-203.

SOUZA, A. G. C. **Variabilidade fisiológica de isolados de *Cercospora coffeicola***. 2007. 31 p. Dissertação (Mestrado em Fitopatologia) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2007.

TRAPERO-CASAS, A.; KAISER, W. J. Development of *Didymella rabiei*, the teleomorph of *Ascochyta rabiei*, on chickpea straw. **Phytopathology**, Saint Paul, v. 82, p. 1261-1266, 1992.

CARACTERIZAÇÃO NUTRICIONAL DE ACESSOS PROVENIENTES DA ETIÓPIA DE CAFÉ ARÁBICA

Tiago Benedito dos Santos[1], Anderson Rotter Meda[2], Renata Barrufaldi Sitta[3], Eduardo Brandalize Vespero[4], Marcos Antonio Pavan[5], Pierre Charmetant[6], Valéria Carpentieri- Pípolo[7], Luiz Filipe Protasio Pereira[8], Luiz Gonzaga Esteves Vieira[9], Douglas Silva Domingues[10]

(Recebido: 22 de novembro de 2013; aceito: 30 de maio de 2014)

RESUMO: Devido à necessidade cada vez maior de cultivares que apresentem boa produtividade com impactos menores ao meio ambiente, a introgressão de características relacionadas ao uso eficiente de nutrientes minerais é uma estratégia relevante para o melhoramento genético do café. Nesse sentido, a caracterização de acessos provenientes do centro de origem da espécie é um importante subsídio para os programas de melhoramento visando à seleção de materiais de interesse para produção de novas cultivares. Objetivou-se,no presente trabalho, caracterizar a concentração de nove nutrientes minerais em 12 acessos de *Coffea arabica* L., provenientes da Etiópia, em casa de vegetação, visando identificar genótipos com acumulação diferencial de nutrientes minerais em folhas, caule e raízes. Com base nos parâmetros estabelecidos, o acesso E237/CAF032 apresentou acúmulo diferencial para P, em folhas e E565/CAF009, E386/CAF131 e E332/CAF023 apresentaram concentração diferencial de N, Zn e Mn em raízes, respectivamente. O presente trabalho selecionou um acesso com potencial eficiência para uso de P e outro com potencial eficiência para o uso de N, o que pode contribuir em futuros estudos de seleção de materiais que possam ser utilizados na introgressão de características relacionadas à eficiência nutricional.

Termos para indexação: Café, germoplasma, nitrogênio, fósforo.

NUTRITIONAL CHARACTERIZATION OF ARABICA COFFEE ACCESSION FROM ETHIOPIA

ABSTRACT: *Due to the increasing need for cultivars with high yield and low environmental impact, the introgression of traits related to nutrient utilization efficiency is an important strategy for coffee breeding. In this way, the characterization of accessions from the center of origin is an important tool for breeding programs to gain insight on relevant genotypes with potential interest for production of new cultivars. This work aims to characterize nutrient concentration in 12 Coffea arabica L. wild accessions from Ethiopia, in greenhouse conditions, in order to identify genotypes displaying differential accumulation of mineral nutrients in leaves, shoots and roots. Based on the established criteria, Ethiopian access E237/CAF032 showed differential accumulation for P in leaves and E565/CAF009, E386/CAF131 and E332/CAF023 displayed more accumulation of N, Zn and Mn in roots, respectively. This study identifies one accession with potential more P use efficiency and one accession with potential more N use efficiency, which is an important contribution to identify C. arabica wild genotypes with potential traits related to nutritional efficiency.*

Index terms: *Coffee, germplasm, nitrogen, phosphorous.*

1 INTRODUÇÃO

O café é um dos principais produtos agrícolas mundiais, com cultivo em mais de 80 países (MARRACCINI et al., 2012). O gênero *Coffea* é composto por 124 espécies (DAVIS et al., 2011) e a mais importante, em termos econômicos, é *C. arábica* L. O Brasil ocupa posição de destaque no agronegócio café, como o maior produtor e exportador mundial, e o segundo maior mercado consumidor. Com isso, o desenvolvimento de novas cultivares é essencial para a consolidação do agronegócio café.

Destaca-se que a base genética da maioria das cultivares de cafeeiro é proveniente de uma única progênie que havia sido cultivada na Europa, conforme revisado por Silvestrini et al. (2007). Mais notadamente, a maioria das cultivares brasileiras tem, em sua origem, as cultivares Mundo Novo e Catuaí, que apresentam poucas diferenças em nível molecular (VIDAL et al., 2010). A necessidade de ampliação da base genética utilizada no melhoramento de *C. arabica* levou a FAO a empreender, entre 1960 e 1970, missões de coleta de germoplasma no centro de origem do café arábica – a Etiópia- cujos acessos foram repassados a diversos centros de pesquisa (SILVESTRINI et al., 2007).

[1,2,3,4,6,8,9,10]IAPAR - Laboratório de Biotecnologia Vegetal - Rodovia PR- 445 Km375 - 86047-902 - Londrina-PR tiagobio02@yahoo.com.br, andersonmeda@gmail.com, re_sitta@hotmail.com, dudu_vespero@hotmail.com, pierre.charmetant@cirad.fr, filipe.pereira@embrapa.br, lvieira@iapar.br, doug@iapar.br

[5]IAPAR - Laboratório de Solos - Rodovia PR- 445- Km375 - 86047-902 - Londrina-PR - mpavan@iapar.br

[7]Embrapa Trigo Rodovia BR-285 - Km 294 - Cx. P. 3081 - 99050-970 - Passo Fundo - RS - valeria.carpentieri-pipolo@embrapa.br

Dos 621 acessos coletados, 308 estão disponíveis no Instituto Agronômico de Campinas (IAC) (SILVESTRINI et al., 2007), dos quais aproximadamente 130 acessos foram repassados ao Instituto Agronômico do Paraná (IAPAR). Parte da coleção já foi avaliada quanto a teores de cafeína (SILVAROLLA et al., 2000), resistência a nematóides (ANZUETO et al., 2001; BOISSEAU et al., 2009), qualidade da bebida (BERTRAND et al., 2006), diversidade molecular (SILVESTRINI et al., 2007) e plasticidade fenotípica, mas não existem informações sobre a resposta desses materiais frente à disponibilidade de nutrientes minerais.

Depois da mão de obra, o principal custo da produção cafeeira está no uso de fertilizantes (FEHR et al., 2012), em especial a adubação nitrogenada (MASCLAUX-DAUBRESSE et al., 2010). Com isso, a geração de novas cultivares que demandem menos insumos é um importante passo para a redução de custos na produção cafeeira, pela economia de fertilizantes, como também para a sustentabilidade ambiental. O sucesso do manejo nutricional das culturas depende de diversos fatores, como características químicas, biológicas e físicas do solo, além da influência do genótipo. De maneira geral, estudos de nutrição mineral em plantas focam-se apenas em um único ou poucos elementos químicos, ou na comparação de fases de desenvolvimento de um único genótipo; são raros os estudos que comparam vários elementos químicos simultaneamente em vários genótipos (BUESCHER et al., 2010). Embora o manejo agronômico visando à adequação do solo para a cultura do cafeeiro já esteja bem estabelecido, existem poucos estudos sobre o efeito do genótipo na adaptação a diferentes níveis de nutrientes. Em cafeeiro, estudos de suficiência nutricional foram realizados exclusivamente em genótipos cultivados (AMARAL et al., 2011; REIS, 2006).

Recentemente, Amaral et al. (2011) comparou a eficiência nutricional de quatro cultivares de café em condições de campo, o que permitiu apenas observar diferenças mais evidentes quanto à utilização de nutrientes minerais em condições de baixa disponibilidade. O estudo da composição mineral das plantas em função de fatores fisiológicos ou genéticos recebeu a recente denominação de ionoma (LAHNER et al., 2003; SALT et al., 2008; SINGH et al., 2013). No presente trabalho, objetivou-se avaliar o ionoma dos nutrientes minerais em 12 acessos da Etiópia e nas cultivares de *C. arabica* Bourbon, Catuaí Vermelho, IAPAR59, IPR98 e Mundo Novo em raízes, folhas e caules de plantas cultivadas em casa de vegetação, sob condições de suficiência nutricional para todos os genótipos.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Foram selecionados 12 acessos da Etiópia de *C. arabica* mais divergentes quanto à origem geográfica e plasticidade fenotípica (Tabela 1), e as cultivares de *C. arabica* Bourbon, Catuaí Vermelho (IAC99), IAPAR59, IPR98 e Mundo Novo (IAC376-4). O experimento foi implementado em casa de vegetação, localizada anexa à Estação Experimental do IAPAR, Londrina, cujas coordenadas geográficas são: latitude 23°23'S, longitude 50°11'W e altitude 610 m.

Sementes provenientes de autofecundação foram germinadas em casa de vegetação, em caixas contendo areia esterilizada, onde foram mantidas até o estádio "orelha de onça". Essas foram posteriormente transferidas para tubetes, contendo substrato agrícola MecPlant tipo Café 2 (Klabin, Brasil), onde foram mantidas até o aparecimento de dois pares de folhas verdadeiras (aproximadamente quatro meses). As plantas foram então transferidas para vasos de 4 L , contendo 2,6 kg do mesmo substrato. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos inteiramente casualizados com 17 tratamentos (genótipos) e cinco repetições, no qual um vaso com uma planta foi considerado uma repetição. As plantas foram fertirrigadas semanalmente (0,5 L por planta) com solução nutritiva com a seguinte composição (em µM): 800 K_2SO_4, 250 $MgSO_4$, 200 KH_2PO_4, 500 $CaCl_2$, 4000 NH_4NO_3, 100 NaFeEDTA, 5 H_3BO_3, 3 $MnSO_4$, 2,5 $ZnSO_4$, 0,1 $CuSO_4$, 0,7 $NaMoO_4$. Foram realizados tratos fitossanitários para a prevenção e controle de bicho-mineiro (0,5%; 3−(2−cloro−tiazol−5−ilmetil)−5−metil−[1,3,5] oxadiazinan−4−ilideno−N−nitroamina), ácaros (Abamectina - 0,05%), cercosporiose e ferrugem (1- p- chlorophenyl- 4,4- dimethyl- 3- (1H- 1,2,4- triazol- 1- ylmethyl) pentan- 3- ol - 0,2%). Após oito meses de crescimento (plantas de um ano de idade), em julho de 2010, as plantas foram separadas em folhas, caules e raízes. O material vegetal foi tratado com solução aquosa contendo 1% de ácido clorídrico (HCl) para descontaminação, seguida de dupla lavagem com água destilada. O material foi seco por 48 h a 65 °C, moído, passado em peneiras de 1mm e analisado quimicamente, conforme Miyazawa et al. (1999) quanto aos teores dos seguintes nutrientes minerais: nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), cobre (Cu), zinco (Zn), boro (B) e manganês (Mn).

TABELA 1 - Acessos de *Coffea arabica* da coleção de germoplasma da Etiópia, mantidos no Instituto Agronômico do Paraná.

Acessos (FAO)	Número de coleção da Etiópia (IAC/IAPAR)
E007	CAF087
E037	CAF676
E038	CAF553
E124	CAF426
E237	CAF032
E261	CAF299
E272	CAF175
E287	CAF233
E327	CAF626
E332	CAF023
E386	CAF131
E565	CAF009

Os resultados foram normalizados para obtenção de uma escala "z-score" que indica o número de desvios-padrão em relação à média geral de cada nutriente, em cada tecido, de acordo com a fórmula descrita abaixo, descrita por Lahner et al. (2003):

$$\text{z-score} = \frac{\text{(média do genótipo) - (média de todos os genótipos)}}{\text{desvio padrão da média de todos os genótipos}}$$

Indices acima de +1,5 ou abaixo de -1,5 demonstram que o material apresenta acumulação diferencial de nutrientes, mesmo em condições de suficiência nutricional, que pode então ser atribuído a uma provável origem genotípica (LAHNER et al., 2003). Os valores de z-score foram imputados no software Genesis v 1.7.6 (STURN, 2001), para classificação por clusterização hierárquica dos materiais e identificação de subgrupos.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A composição mineral nos diferentes tecidos vegetais pode ser influenciada por vários fatores correspondentes à própria planta e ao ambiente: espécie, variedade, porta-enxerto, estádio vegetativo, idade da planta, distribuição, volume e eficiência do sistema radicular, produção pendente, variações climáticas, disponibilidade de água e nutrientes no solo, estado fitossanitário da planta, tipo e manejo do solo e interações entre os nutrientes (MARTINEZ et al., 2003). De maneira geral, os nutrientes são divididos de acordo com sua composição em massa seca.

Elementos que compõem mais de 0,1 % de massa são considerados macronutrientes (MAATHUIS, 2009). Nesse contexto, os resultados apresentados visam compreender a concentração de nutrientes minerais em uma situação na qual nenhum dos genótipos apresentou sintomas de deficiência nutricional, e as variações encontradas sejam essencialmente provenientes de características intrínsecas do genótipo. Na Tabela 2, são apresentadas as faixas de concentração de nutrientes de genótipos da coleção da Etiópia.

Na Tabela 2, o genótipo que apresentou menor concentração de B em folhas foi a cultivar Catuaí Vermelho, com 62,58 mg/Kg. Gontijo et al. (2007) observaram que os teores de B nas folhas das mudas do cafeeiro variaram de 38,13 a 43,86 mg/Kg; para Gonçalves (2005), a faixa crítica foi de 37,53 a 48,93 mg/Kg, ou seja, ambos os trabalhos descritos acima apresentaram faixa crítica inferior à encontrada neste trabalho. Existem grandes variações no requerimento de B entre as espécies vegetais; por exemplo, plantas do gênero *Papaver* e o dente-de-leão (gênero *Taraxacum*), apresentam valores entre 80-100 mg kg^{-1}, em dicotiledôneas, de 20-70 mg kg^{-1} e nas monocotiledôneas, de 5-10 mg kg^{-1} (KIRKBY; RÖMHELD, 2007). Provavelmente, essas divergências decorrem de diferenças na composição da parede celular.

Com relação aos teores de cobre foliar, Gontijo et al. (2007) citam trabalho em que encontraram os níveis de 1,31 a 1,75 mg/Kg, próximos dos observados no presente trabalho.

TABELA 2 - Concentração (máx-min) de macro (g/Kg) e micronutrientes (mg/Kg) em folhas, caules e raízes de genótipos da Etiópia.

	Folha	Caule	Raiz
		máx - min	
N (g/Kg)	41,64 - 30,16	20,78 - 11,88	25,96 - 16,86
P (g/Kg)	12,08 - 4,55	8,52 - 4,72	4,07 - 2,74
K (g/Kg)	27,40 - 17,40	14,20 - 7,00	29,00 - 19,40
Ca (g/Kg)	16,94 - 11,42	6,93 - 3,87	6,76 - 2,78
Mg (g/Kg)	9,28 - 6,25	6,18 - 2,76	11,66 - 6,07
Cu (mg/Kg)	2,40 - 0,19	2,57 - 1,33	6,02 - 3,76
Zn (mg/Kg)	19,04 - 8,92	38,29 - 13,08	38,46 - 13,96
B (mg/Kg)	130,58 - 62,58	24,43 - 14,19	48,01 - 22,98
Mn (mg/Kg)	81,21 - 51,71	39,73 - 19,56	47,94 - 23,22

Observou-se que nove genótipos apresentaram concentrações inferiores a 1,31 mg/Kg: IPR98, IAPAR59, Catuaí Vermelho, E287/CAF234, E327/CAF626, E261/CAF299, E007/CAF087, E237/CAF032 e E565/CAF009. O genótipo com menor concentração foliar de cobre foi E332/CAF023 com 0,19 mg/Kg, valor representativamente inferior aos descritos por outros trabalhos.

No presente trabalho, observou-se que os teores de zinco são mais altos em caule e raiz (Tabela 2). Dentre os acessos e cultivares avaliados, a cultivar IAPAR59 e o acesso E386/CAF131 foram os materiais que apresentaram maiores concentrações de zinco, em caule e raiz (38,29 e 38,46 mg/Kg). Souza et al. (2001) determinaram as faixas críticas desse elemento em mudas das cultivares, Catuaí, Icatu e Mundo Novo entre 49,40 e 88,82 mg kg^{-1}. Nesse contexto, observa-se uma grande variabilidade na absorção de zinco por diferentes espécies perenes (*Cedrela fissilis Vell.*, 31,90 mg kg^{-1}) (PAIVA et al., 2003) e eucalipto (333,73 mg kg^{-1}) (SOARES et al., 2001). Reis Júnior e Martinez (2002), relatam que a cultivar Catuaí é mais eficiente na absorção, em função da matéria seca de raiz produzida. A mesma cultivar, segundo Souza et al. (2001), demonstrou ser mais eficiente na utilização de zinco, quando comparado com Icatu e Mundo Novo. Em condições de campo conforme Amaral et al. (2011), as cultivares de cafeeiro que apresentam menores quantidades de nutrientes no caule acabam por investir mais fotoassimilados no crescimento e desenvolvimento de outros órgãos vegetativos.

Altas concentrações de manganês foram observadas nas raízes do acesso E332/CAF023, com 47,94 mg/Kg (Tabela 2). Zabini et al. (2007), avaliando quatro progênies de cafeeiros divergentes quanto à eficiência nutricional para zinco, observou que a progênie UFV 4066-5 apresentou acúmulo de manganês na raiz (106,95 mg/Kg). Sabe-se que plantas da espécie de *C. arabica* são mais tolerantes ao Mn do que as de *C. canephora* (WILLSON, 1987). O Mn é facilmente translocado através do xilema das raízes até as brotações, mesmo as localizadas nos ápices da planta (HORST; MARSCHNER, 1978), embora a translocação no floema seja limitada. Mesmo nos acessos de *C. arabica,* apresentando altas concentrações de Mn nas raízes, não ocorreram maiores danos à planta. Conforme revisado por Kirkby e Römheld (2007), a faixa crítica na maioria das espécies de plantas para a deficiência deste nutriente encontra-se no intervalo de 10 mg kg^{-1} a 20 mg kg^{-1}. As diferenças na aquisição de Mn entre espécies de plantas podem estar relacionadas com a diferença em exsudação de carboxilados, no entanto, as diferenças entre cultivares dentro da mesma espécie ainda não são bem entendidas (MARSCHNER et al., 2003).

As menores concentrações de cálcio foram encontradas na raiz do cafeeiro, 2,78 g/Kg (Tabela 2). As variações na eficiência no uso de cálcio em tecidos vegetais são pouco compreendidas, revisado por Thomaz et al. (2006). Os mesmos autores relatam que a eficiência nutricional, quanto ao Ca, pode ser variável. Laviola et al.

(2007), estudando a dinâmica de Ca e Mg em cultivares de *C. arabica*, sugerem que os níveis de adubação podem influenciar a concentração desses elementos em frutos e folhas, ao longo do período reprodutivo. Contudo, as concentrações observadas não foram influenciadas somente pelos níveis de adubação, mas também por outros fatores que determinam a taxa de distribuição dos elementos minerais nas plantas de cafeeiros. Frente a essas informações é possível verificar variação quanto à quantidade de Ca, nos diferentes tecidos analisados (Tabela 2). Quando ocorrem baixos teores de Ca_2^+ pode ser prejudicado o crescimento radicular. Com isso, as raízes exploram menos volume de solo, acarretando na menor absorção de água e nutrientes, prejudicando o desenvolvimento das plantas. Quando a concentração de Ca em tecidos é baixa, o crescimento radicular é prejudicado e menor volume de solo é explorado, assim há menor absorção de água e nutrientes, em detrimento do desenvolvimento das plantas. Ressalta-se que o Ca é absorvido pelas raízes como Ca_2^+, sendo transportado principalmente por fluxo de massa (MIOTTO et al., 2008), além de ser o elemento mais abundante nas raízes, folhas e ramos (MALAVOLTA, 2006).

Normalmente, os pontos de crescimento de raízes e caules são vulneráveis à deficiência de Ca, que é pouco translocado das folhas mais velhas para as mais novas. No entanto, a deficiência de Ca pode causar a morte da célula e o sintoma de deficiência se manifesta, nas folhas mais novas do cafeeiro (PREZOTTI, 2001).

Recentemente, estudos moleculares têm demonstrado que o índice de z-score pode ser utilizado como medida de referência na identificação de genótipos com perfil de acúmulo diferencial de nutrientes (BAXTER et al., 2012; LAHNER et al., 2003). Nestes trabalhos, foi utilizado o índice de corte de 1,5, para mais ou para menos, o que permitiu a seleção de genótipos candidatos utilizados na identificação de genes candidatos envolvidos no acúmulo diferencial de nutrientes minerais. O presente trabalho utilizou esses parâmetros para avaliar diferentes genótipos em condições de suficiência nutricional, de modo a investigar o potencial genotípico de acúmulo de nutrientes minerais.Em folhas, o genótipo E237/CAF032 foi o único a apresentar acúmulo diferencial de nutrientes, com um z-score de +1,62 para fósforo (P) (Tabela 3).

O P é um elemento de grande importância para o desenvolvimento das plantas, devido à sua influência na fase reprodutiva da planta, aumentando o número de frutos e o teor total de sólidos solúveis (NEGREIROS et al., 2003). Além disso, o P apresenta um relevante papel na formação molecular de DNA e do RNA, bem como do ATP - adenosina tri-fosfato (SANDIM et al., 2008). Durante a síntese de proteínas e de aminoácidos é utilizado o N, porém, para a conclusão desse processo, é necessária a presença de P na forma de poder redutor e de nucleotídeos (ALVIM; BOTREL, 2001). É importante relatar que o desequilíbrio de P pode interferir negativamente na qualidade da bebida do café (MALAVOLTA, 2006).

Nenhum genótipo da Etiópia apresentou acúmulo diferencial de nutrientes no caule (Tabela 4). Entre as cultivares, IAPAR59 foi a que apresentou maior número de elementos com acúmulo diferencial, com índices de z-score acima de +1,5 em Ca, Mg, Zn, B e Mn (Tabela 4).

Ressalta-se que o caule é um órgão no qual predomina material estrutural em sua massa seca e a maioria dos elementos acumulados em IAPAR59 caracterizam-se pela baixa mobilidade no floema (FERNANDES, 2006) o que limita sua redistribuição por toda a planta (QUAGGIO et al., 2003). De maneira semelhante, a cultivar Catuaí Vermelho apresentou acúmulo diferencial dos micronutrientes Mg e Zn (Tabela 3). No cafeeiro, o Zn é um elemento de extrema importância, por interferir diretamente no crescimento e produção. O caule do cafeeiro pode ser local de armazenamento de Zn, mesmo que temporário e não somente local de transporte do nutriente (MARTINEZ et al., 2005), podendo ainda ser observada baixa mobilidade no floema do cafeeiro.

As cultivares IPR98 e Bourbon apresentaram diferenças significativas de z-score em macronutrientes, que costumam ser rapidamente mobilizados. IPR98 apresentou acúmulo diferencial de K (Tabela 4). O K é caracterizado pela alta mobilidade nas plantas, (célula e tecidos) e é transportado a longa distância via xilema e floema, por não fazer parte permanente de nenhum composto orgânico, faz parte da abertura e fechamento de estômatos, regulação osmótica, ativação enzimática, em que mais de 50 enzimas são dependentes do K para sua atividade normal (MALAVOLTA, 2006). No cafeeiro, a exigência por potássio aumenta conforme a idade da lavoura, e principalmente no período da frutificação.

TABELA 3 - Perfil ionômico nas folhas.

	N	P	K	Ca	Mg	Cu	Zn	B	Mn
IPR 98	0,51	-0,86	0,24	-0,81	-0,88	-0,27	0,11	-0,60	-0,34
IAPAR 59	0,65	-0,28	0,11	-0,43	-0,44	-0,49	0,87	0,08	0,39
Bourbon	-0,17	-1,43	1,18	-0,73	-1,11	0,29	-0,23	-0,14	-0,03
E038/CAF553	0,49	-0,05	-0,20	0,08	-0,07	0,23	-0,14	-0,22	-0,48
Catuaí Vermelho	1,29	-0,71	1,13	-0,82	-1,14	-0,05	0,10	-1,23	-0,23
E272/CAF175	-1,20	-0,40	-0,43	0,21	0,83	0,77	-0,28	0,31	-0,83
E287/CAF234	0,50	-0,03	0,51	0,21	0,35	-0,08	-0,21	0,98	0,77
E327/CAF626	0,46	-0,31	-0,07	0,63	0,32	-0,11	-0,19	0,74	0,40
E037/CAF676	0,99	0,86	0,46	0,29	0,14	0,72	1,19	0,14	0,15
E124/CAF426	-0,16	-0,07	-1,05	0,79	0,94	0,33	-0,11	0,30	0,22
E261/CAF299	0,03	1,15	-0,34	-0,04	0,23	-0,39	-0,46	0,52	0,34
E007/CAF087	-0,92	-0,50	-0,47	-0,52	-0,74	-0,56	-0,18	-0,38	0,23
E237/CAF032	-0,75	1,66	-1,01	0,54	1,08	-0,63	-0,27	1,14	-0,22
Mundo Novo	-0,53	0,46	-0,38	1,22	1,30	0,99	-0,01	-0,35	0,11
E386/CAF131	-1,20	0,28	0,20	-0,43	-0,26	0,64	0,53	-0,21	0,57
E332/CAF023	0,19	0,51	0,33	-0,59	-0,51	-0,91	-0,53	-0,80	-0,34
E565/CAF009	-0,21	-0,29	-0,20	0,41	-0,04	-0,48	-0,18	-0,27	-0,71

Os valores representados referem-se ao "z-score", que indica o número de desvios-padrão em relação à média geral de cada nutriente nas folhas. * Valores em negrito representam z-score acima de +1,5 e abaixo de -1,5.

TABELA 4 - Perfil ionômico no caule.

	N	P	K	Ca	Mg	Cu	Zn	B	Mn
IPR 98	0,99	-0,41	2,01	1,03	0,69	0,71	1,34	0,50	0,61
Iapar59	1,14	0,88	0,78	1,62	1,80	0,12	1,54	1,51	1,59
Bourbon	0,04	-1,67	0,25	0,53	-0,09	0,77	0,46	0,39	0,73
E038/CAF553	-0,09	-0,06	0,69	-0,45	-0,58	0,09	-0,53	0,35	-0,18
Catuaí Vermelho	0,82	1,12	0,87	1,43	1,86	0,76	1,53	0,41	0,62
E272/CAF175	-0,27	-0,61	0,17	0,29	-0,34	0,71	-0,78	0,31	-0,29
E287/CAF234	1,18	0,22	-0,36	0,03	0,37	0,35	0,05	-0,83	-0,20
E327/CAF626	-0,30	-0,35	-0,01	-0,26	-0,08	0,96	-0,01	-0,55	0,85
E037/CAF676	0,13	1,24	-0,36	-0,22	0,57	-0,16	0,85	-0,48	0,16
E124/CAF426	-0,28	0,41	-0,36	-0,69	-0,69	-0,59	-1,16	0,28	-0,47
E261/CAF299	-0,23	0,05	-0,45	-0,60	-0,09	-0,36	-0,14	-0,38	-0,63
E007/CAF087	-1,32	-0,59	-0,10	-0,35	-0,60	-0,65	-0,51	-0,89	-0,87
E237/CAF032	0,38	-0,16	-0,71	-0,79	-0,11	-0,74	-0,22	-0,21	-0,98
Mundo Novo	-0,98	0,38	-0,80	-0,64	-0,57	0,12	-0,40	-0,17	-0,74
E386/CAF131	-0,70	-0,43	-1,15	-0,80	-1,10	-0,34	-1,01	-0,06	0,34
E332/CAF023	-0,88	-0,44	-0,62	-0,14	-0,86	-1,01	-0,42	-0,15	-0,10
E565/CAF009	0,38	0,43	0,17	0,02	-0,17	-0,74	-0,61	-0,02	-0,43

Os valores representados referem-se ao "z-score", que indica o número de desvios-padrão em relação à média geral de cada nutriente nas folhas. * Valores em negrito representam z-score acima de +1,5 e abaixo de -1,5.

Na planta, ocorre a translocação de K das folhas adjacentes para os frutos, pois o elemento é muito móvel na planta. (GUIMARÃES; MENDES, 1997).

A única cultivar a apresentar acúmulo diferencialmente inferior de nutrientes no caule é Bourbon, com índice de -1,67 para P (Tabela 4). Devido à importância do P no metabolismo, é esperado que sua limitação possa afetar o desenvolvimento, principalmente do sistema radicular. As plantas aumentam a atividade do sistema de absorção de P de alta afinidade na membrana plasmática (RAGHOTHAMA; KARTHIKEYAN, 2005), com isso, a velocidade de absorção pode aumentar de duas a quatro vezes, dependendo da espécie (KERBAUY, 2004).

Em raiz, a cultivar Bourbon apresentou um acúmulo diferencial de Ca (Tabela 5). Já E565/CAF009 apresentou acúmulo para um macronutriente de grande importância – o Nitrogênio (Tabela 5). O N é quantitativamente o nutriente mais importante para as plantas, pois o seu fornecimento tem uma profunda influência sobre muitos aspectos relacionados ao crescimento e desenvolvimento, incluindo o crescimento das raízes (KROUK et al., 2010; LIMA et al., 2010). Durante todo o ciclo fenológico, a capacidade de absorção e de assimilação do N pelo cafeeiro pode variar, observando um aumento na fase de expansão, porém, a maior necessidade se dá no estádio de granação dos frutos (PEZZOPANE et al., 2003). Os acessos da Etiópia, E386/CAF131 e E332/CAF023, também apresentaram concentração diferencial no tecido radicular para o Zn e Mn (Tabela 5).

A clusterização hierárquica é um instrumento relevante na seleção de grupos de genótipos que apresentam perfil nutricional semelhante. Essa estratégia já foi utilizada em trabalhos anteriores em líquenes (RAPOSO JÚNIOR et al., 2007) e alface (SANTOS et al., 2009). Por esse método, dividiu-se os materiais avaliados em quatro subgrupos (Figura 1).

As cultivares Bourbon, IPR98, IAPAR59 e Catuaí Vermelho foram classificados hierarquicamente em um mesmo grupo (Figura 1), evidenciando que todos os acessos da Etiópia possuem um perfil nutricional diferenciado em relação aos materiais melhorados.

A cultivar Mundo Novo foi a única que agrupou-se em grupo distinto em relação aos demais materiais melhorados (Figura 1).

TABELA 5 - Perfil ionômico na raiz.

	N	P	K	Ca	Mg	Cu	Zn	B	Mn
IPR 98	0,68	-0,69	0,15	0,20	-0,67	-0,03	0,00	0,20	-0,34
IAPAR 59	0,73	-0,37	-0,29	0,41	-1,06	-0,57	0,00	0,22	0,00
Bourbon	0,74	0,40	-0,29	1,73	-0,70	-0,75	-0,39	1,20	0,52
E038/CAF553	-0,69	0,25	-0,73	-0,59	-1,19	-0,50	-0,47	0,16	-1,01
Catuaí Vermelho	0,76	-0,18	1,21	0,00	0,26	0,27	1,25	-0,02	-0,04
E272/CAF175	0,31	0,15	0,24	0,12	0,13	1,26	-0,40	-0,39	0,65
E287/CAF234	0,57	0,23	1,26	0,06	-0,22	-0,16	-0,42	-0,07	0,07
E327/CAF626	0,15	-0,16	0,42	-0,07	1,07	0,08	-0,16	-0,14	-0,02
E037/CAF676	-0,25	-0,20	-0,11	-0,16	0,07	-0,26	0,66	-0,06	-0,25
E124/CAF426	-0,47	0,31	-0,34	-0,50	-0,81	-0,34	-0,59	-0,28	-0,43
E261/CAF299	-1,02	0,03	-0,20	-0,13	0,85	-0,05	-0,45	-0,13	-0,21
E007/CAF087	-0,59	0,40	-0,51	-0,04	0,62	0,06	-0,36	-0,01	-0,31
E237/CAF032	-0,61	-0,29	-0,34	-0,03	1,46	-0,22	-0,23	-0,17	-0,39
Mundo Novo	-1,17	-0,57	0,15	-0,40	-0,21	0,79	-0,15	-0,35	-0,43
E386/CAF131	-0,56	-0,46	-0,87	-0,39	0,03	1,48	1,56	0,07	0,96
E332/CAF023	-0,29	0,20	-0,51	-0,08	-0,11	-0,62	-0,16	-0,09	1,56
E565/CAF009	1,72	0,95	0,77	-0,13	0,47	-0,44	0,32	-0,15	-0,35

Os valores representados referem-se ao "z-score", que indica o número de desvios-padrão em relação à média geral de cada nutriente nas folhas. * Valores em negrito representam z-score acima de +1,5 e abaixo de -1,5.

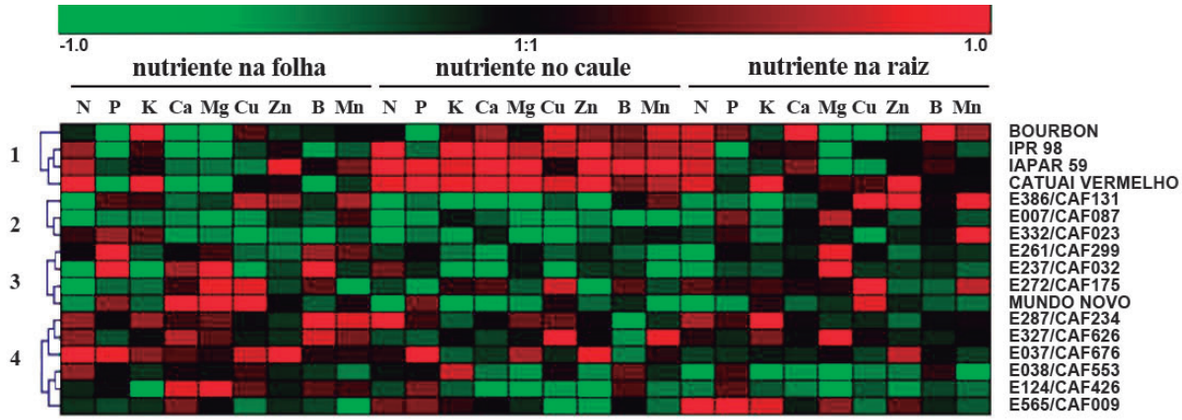

FIGURA 1 - Clusterização hierárquica da concentração de nutrientes em folhas, caule e raiz de genótipos de cafeeiros cultivados em casa de vegetação.

Os acessos da Etiópia subdividiram-se em três grupos (Figura 1). No grupo 2 estão os acessos E386/CAF131 e E332/CAF023, que possuem acúmulo diferenciado de nutrientes em raiz. Já no grupo 3 está o acesso E327/CAF032, que apresentou acúmulo diferencial de P em folhas. No grupo 4, o acesso E565/CAF009 apresenta acúmulo diferencial de N em raízes.

O acesso E272/CAF175 foi o que apresentou perfil mais semelhante a Mundo Novo, já que faz parte do mesmo subgrupo.

4 CONCLUSÕES

- O acesso E237/CAF032, é um material de interesse para plantas mais eficientes no acúmulo de P em folhas, e os acessos E565/CAF009, E386/CAF131 e E332/CAF023 são de interesse para acúmulo de N, Zn e Mn em raízes, respectivamente.

- O presente estudo traz bases para a identificação dos componentes moleculares envolvidos no acúmulo diferencial de nutrientes em cafeeiro, bem como aponta materiais potenciais para programas de melhoramento ,visando maior desempenho de cultivares de cafeeiro em solos de baixa fertilidade.

5 AGRADECIMENTOS

Ao Consórcio Pesquisa Café e Fundação Araucária, pelo apoio financeiro ao projeto, à CAPES e CNPq pela concessão de bolsas. L.F.P. Pereira e L.G.E. Vieira receberam bolsa de produtividade do CNPq.

6 REFERÊNCIAS

ALVIM, M. J.; BOTREL, M. A. Efeitos de doses de nitrogênio na produção de leite em pastagem de coast-cross. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, n. 3, p. 577-583, mar. 2001.

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.

ANZUETO, F. et al. Resistance to *Meloidogyne incognita* in Ethiopian *Coffea arabica* accessions. **Euphytica**, Wageningen, v. 118, p. 1-8, 2001.

BAXTER, I. et al. Biodiversity of mineral nutrient and trace element accumulation in *Arabidopsis thaliana*. **PLoS One**, San Francisco, v. 7, p. 1-12, 2012.

BERTRAND, B. et al. Comparison of bean biochemical composition and beverage quality of Arabica hybrids involving Sudanese-Ethiopian origins with traditional varieties at various elevations in Central America. **Tree Physiology**, Victoria, v. 26, p. 1239-1248, 2006.

BOISSEAU, M. et al. Resistance to *Meloidogyne paranaensis* in wild *Coffea arabica*. **Tropical Plant Pathology**, Brasília, v. 34, n. 1, p. 38-41, 2009.

BUESCHER, E. et al. Natural genetic variation in selected populations of *Arabidopsis thaliana* is associated with ionomic differences. **Plos One**, San Francisco, v. 5, p. 1-10, 2010.

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.

FEHR, L. C. F. et al. Análise temporal das variáveis de custos da cultura do café arábica nas principais regiões produtoras do Brasil. **Custos e @gronegócio Online**, São Paulo, v. 8, n. 1, jan./mar. 2012. Disponível em: <http://www.custoseagronegocioonline.com.br>. Acesso em: 10 mar. 2013.

FERNANDES, M. S. **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa, MG: UFV, 2006. 432 p.

GONÇALVES, M. S. **Faixas críticas de teores foliares de nutrientes em mudas de cafeeiro (*Coffea arabica* L.) produzidas em tubetes**. 2005. 82 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2005.

GONTIJO, R. A. N. et al. Faixas críticas de teores foliares de micronutrientes em mudas de cafeeiro. **Coffee Science**, Lavras, v. 2, p. 135-141, 2007.

GUIMARÃES, R. J.; MENDES, A. N. G. **Nutrição mineral do cafeeiro**. Lavras: UFLA/FAEPE, 1997.

KERBAUY, G. B. **Fisiologia vegetal**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2004.

KIRKBY, E. A.; RÖMHELD, V. Micronutrientes na fisiologia de plantas: funções, absorção e mobilidade. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, v. 118, n. 2, p. 1-24, 2007.

HORST, W. J.; MARSCHNER, H. Effect of silicon on manganese tolerance of bean plants (*Phaseolus vulgaris* L.). **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 50, p. 287-303, 1978.

KROUK, G. et al. Nitrate-regulated auxin transport by NRT1.1 defines a mechanism for nutrient sensing in plants. **Developmental Cell**, Cambridge, v. 18, p. 927-937, 2010.

LAHNER, B. et al. Genomic scale profiling of nutrient and trace elements in *Arabidopsis thaliana*. **Nature Biotechnology**, New York, v. 21, n. 10, p. 1215-1221, 2003.

LAVIOLA, B. 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, n. 6, p. 1451-1462, 2007.

LIMA, F. S. et al. Earthworm compound and rock biofertilizer enriched in nitrogen by inoculation with free living diazotrophic bacteria. **World Journal of Microbiology Biotechnology**, Berlin, v. 27, p. 1-7, 2010.

MAATHUIS, F. J. M. Physiological functions of mineral macronutrients. **Current Opinion in Plant Biology**, Oxford, v. 12, p. 250-258, 2009.

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

MARRACCINI, P. et al. Differentially expressed genes and proteins upon drought acclimation in tolerant and sensitive genotypes of *Coffea canephora*. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 63, p. 1-22, 2012.

MARSCHNER, H. et al. Manganese availability and microbial populations in the rhizosphere of genotypes differing in tolerance to Mn deficiency. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, Weinheim, v. 166, p. 712-718, 2003.

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

_____. Translocação e compartimentalização de Zn em função de doses aplicadas em feijoeiro e cafeeiro via radicular. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 35, n. 3, p. 491-497, maio/jun. 2005.

MASCLAUX-DAUBRESSE, C. et al. Nitrogen uptake, assimilation and remobilization in plants: challenges for sustainable and productive agriculture. Annals of Botany, Weinheim, v. 105, p. 1141-1157, 2010.

MIOTTO, A. et al. Suprimento de cálcio, magnésio e potássio às raízes de soja cutivada em solo com saturações de magnésio na CTC. In: FERTILIDADE E BIOLOGIA DO SOLO: DESAFIOS PARA O USO DO SOLO COM EFICIÊNCIA E QUALIDADE AMBIENTAL, 2008, Londrina. **Resumos Expandidos...** Londrina: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2008. 1 CD-ROM.

MIYAZAWA, M. et al. Análise química de tecido vegetal. In: SILVA, F. C. da (Org.). **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília: EMBRAPA, 1999. p. 171-223.

NEGREIROS, M. Z. et al. Cultivo do melão no pólo Rio Grande do Norte/Ceará. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 21, n. 3, p. 1, 2003.

PAIVA, H. N. et al. Teor, conteúdo e índice de translocão de nutrientes em mudas de cedro (*Cedrela fissilis* Vell.) submetidas a doses crescentes de zinco. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 13, n. 1, p. 1-10, 2003.

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.

PREZOTTI, L. C. Fertilização do cafeeiro. In: ZAMBOLIM, L. (Ed.). **Tecnologias de produção de café com qualidade**. Viçosa, MG: UFV, 2001. p. 607-615.

QUAGGIO, J. A. et al. Fertilização com boro e zinco no solo em complementação à aplicação via foliar em laranjeira Pêra. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, p. 627-634, 2003.

RAGHOTHAMA, K. G.; KARTHIKEYAN, A. S. Phosphate acquisition. **Plant and Soil**, The Hague, v. 274, p. 37-49, 2005.

RAPOSO JÚNIOR, J. L. et al. Avaliação da concentração de alguns íons metálicos em diferentes espécies de líquens do cerrado sul-mato-grossense. **Química Nova**, São Paulo, v. 30, p. 582-587, 2007.

REIS, A. R. Diagnóstico da exigência em nitrogênio pela utilização do medidor portátil de clorofila. **Bragantia**, Campinas, v. 65, p. 163-171, 2006.

REIS JÚNIOR, R. A.; MARTINEZ, H. E. P. Adição de Zn e absorção, translocação e utilização de Zn e P por cultivares de cafeeiro. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 59, n. 3, p. 537-542, 2002.

SALT, D. et al. Ionomics and the study of the plant ionome. **Annual Review in Plant Biology**, Palo Alto, v. 59, n. 1, p. 709-733, 2008.

SANDIM, A. et al. Avaliação de altura de plantas e número de gemas por metro da cultivar RB 83-5486 de cana-de-açúcar (*Saccharum officiarum*) em diferentes 48 fontes fosfotadas na adubação de base em Campo Grande, MS. In: FERTILIDADE E BIOLOGIA DO SOLO: DESAFIOS PARA O USO DO SOLO COM EFICIÊNCIA E QUALIDADE AMBIENTAL, 2008, Londrina. **Resumos Expandidos...** Londrina: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2008. 1 CD-ROM.

SANTOS, C. L. et al. Desempenho de cultivares de alface tipo crespa sob altas temperaturas em Cáceres-MT. **Revista Agrarian**, Dourados, v. 23, p. 87-98, 2009.

SILVAROLLA, M. B. et al. Caffeine content of Ethiopian *Coffea arabica* beans. **Genetics and Molecular Biology**, Ribeirão Preto, v. 23, p. 213-215, 2000.

SILVESTRINI, M. et al. Genetic diversity and structure of Ethiopian, Yemen and Brazilian *Coffea arabica* L. accessions using microsatellites markers. **Genetic Resources and Crop Evolution**, Dordrecht, v. 54, p. 1367-1379, 2007.

SINGH, U. M. et al. Plant ionomics: a newer approach to study mineral transport and its regulation. **Acta Physiologiae Plantarum**, Poland, v. 35, p. 2641-2653, 2013.

SOARES, C. R. F. S. et al. Toxidez de zinco no crescimento e nutrição *de Eucalyptus maculata* e *Eucalyptus urophylla* em solução nutritiva. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, n. 2, p. 339-348, fev. 2001.

SOUZA, C. A. S. et al. Efeitos de doses de zinco via solo em três cultivares de cafeeiro (*Coffea arabica* L.). **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 25, n. 4, p. 890-899, jul./ago. 2001.

STURN, A. **Cluster analysis for large scale gene expression studies**. 2001. 71 p. Thesis (Master in Bioinformatic) - Graz University of Technology, Graz, 2001.

TOMAZ, M. A. et al. Absorção, translocação e utilização de zinco, cobre e manganês por mudas enxertadas de *Coffea arabica*. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, p. 377-384, 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.

WILLSON, K. C. Mineral nutrition and fertilizer needs. In: CLIFFORD, M. M. N.; WILLSON, K. C. (Ed.). **Coffee:** botany, biochemistry and productions of beans and beverage. London: Croom Helm, 1987. p. 135-156.

ZABINI, A. V. et al. Concentração de micronutrientes e características bioquímicas de progênies de cafeeiros (*Coffea arabica* L.) eficientes no uso de zinco. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 23, n. 4, p. 95-103, 2007.

VARIABILIDADE GENÉTICA ENTRE GENÓTIPOS DE CAFÉ ROBUSTA NO ESTADO DE MINAS GERAIS

Felipe Lopes da Silva[1], David Carlos Ferreira Baffa[2], Juliana Costa de Rezende[3], Antonio Carlos Baião de Oliveira[4], Antonio Alves Pereira[5], Cosme Damião Cruz[6]

(Recebido: 01 de dezembro de 2013; aceito: 26 de maio de 2014)

RESUMO: A caracterização e o estudo da divergência genética entre os acessos de um banco de germoplasma contribuem para o aumento da eficiência na seleção de genitores a serem utilizados em um programa de melhoramento genético. Objetivou-se, neste trabalho, avaliar a divergência genética, por meio de procedimentos multivariados, entre 71 genótipos de *Coffea canephora kouilouensis* e entre 56 genótipos de *Coffea canephora* var. *robusta*, pertencentes ao Banco de Germoplasma do programa de melhoramento genético da Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG), em parceria com a Universidade Federal de Viçosa. Paralelamente, indicar genótipos superiores e mais divergentes a serem utilizados em cruzamentos intrapopulacionais, visando explorar maior variabilidade genética dentro das populações segregantes. Em julho de 2009, dois ensaios envolvendo os genótipos de *C. canephora* var. *kouilouensis* e dois ensaios, envolvendo os genótipos de *C. canephora* var. *robusta* foram implantados na Fazenda Experimental da EPAMIG em Oratórios, Minas Gerais; sob o delineamento experimental de blocos completos com tratamentos casualizados, em cinco repetições e parcelas experimentais constituídas de uma planta. O estudo baseou-se na avaliação de seis características morfo-agronômicas, em julho de 2010 e 2011. A indicação de genótipos superiores foi determinada, utilizando o índice de seleção baseado na soma de rank. Cruzamentos intrapopulacionais entre genótipos superiores e divergentes foram indicados para a geração de maior variabilidade genética a ser explorada na descendência, visando o aumento da probabilidade de obtenção de indivíduos superiores.

Termos para indexação: Melhoramento do cafeeiro, *Coffea canephora*, germoplasma, analise multivariada.

GENETIC VARIABILITY AMONG ROBUSTA COFFEE GENOTYPES IN THE STATE OF MINAS GERAIS

ABSTRACT: *The characterization and study of genetic diversity between accessions of the germplasm bank contribute to increased efficiency in selecting parents to be used in a breeding program. Thus, the objective of this work was to evalute genetic divergence by means of multivariate procedures among 71 genotypes of Coffea canephora var. kouilouensis and 56 genotypes of Coffea canephora var. robusta of the Germplasm Bank of the breeding program of Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG) in a partnership with Universidade Federal de Viçosa. Together with this work, it was also aimed to indicating higher and more divergent genotypes to be used in intrapopulation crossings aiming at exploring greater genetic variability within segregating families. In July 2009, two experiments involving the genotypes of C. canephora var. kouilouensis and two experiments involving the genotypes of C. canephora var. robusta were deployed at the Experimental Farm EPAMIG in Oratorios, Minas Gerais, in an experimental randomized complete block design with five replicates and experimental plots consisting of a plant. The study was based on an evaluation of six morpho-agronomic traits in July 2010 and 2011. The indication of superior genotypes was determined using the selection index based on the sum of rank. Intrapopulation crossings between higher and divergent genotypes were indicated for creating greater genetic variability to be used in the offspring aiming at increasing the probability of obtaining higher individuals.*

Index terms*: Coffee tree breeding, Coffea canephora, germplasm, multivariate analysis.*

1 INTRODUÇÃO

O estado de Minas Gerais figura como potencial produtor brasileiro de *Coffea canephora* Pierre ex Frohener, visto que grande parte das regiões do Vale do Rio Doce, da Zona da Mata, do Vale do Jequitinhonha e do Vale do Mucuri é apta ao cultivo dessa espécie. Assim, o melhoramento genético torna-se um grande aliado nas buscas de genótipos que sejam adequados às condições de cultivo do Estado.

Para alcançar os objetivos desejáveis com o melhoramento genético de *C. canephora*, Ferrão et al. (2007) relatam que é necessário utilizar inúmeras estratégias. As principais são: identificação e seleção fenotípica de indivíduos possuidores de características de interesse em populações naturais segregantes; multiplicação assexuada dos indivíduos selecionados na etapa anterior e sua avaliação em ensaios de competição, com seleção dos superiores por meio de características de interesse, para a composição

[1,2]Universidade Federal de Viçosa/UFV - Departamento de Fitotecnia - Avenida P.H. Rolfs, s/n - 36570-900 - Viçosa - MG felipe.silva@ufv.br, davidbaffa@yahoo.com.br
[3]Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais - Campus UFLA - Cx. P 176 - Lavras - MG - julianacr@eapmig.ufla.br
[4,5]Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais - UREZM - Vila Gianetti - casas 46 e 47 - 36570-900 - Viçosa - MG antonio.baiao@embrapa.br, pereira@epamig.ufv.br
[6]Universidade Federal de Viçosa/UFV - Departamento de Biologia Geral -Avenida P.H. Rolfs, s/n -36570-900 - Viçosa - MG cdcruz@ufv.br

e formação de variedades clonais; hibridações intraespecíficas para o desenvolvimento de cultivares híbridas sintéticas, além da obtenção de importantes informações básicas sobre a estrutura genética da espécie; seleção recorrente intra e interpopulacional, visando o aumento da frequência de alelos favoráveis nas gerações futuras; e, manutenção e caracterização da variabilidade genética em Bancos de Germoplasma. O uso do germoplasma local como fonte de matéria-prima para o melhoramento da espécie é uma alternativa promissora, sobretudo para a obtenção de genótipos produtivos, adaptados e resistentes aos principais estresses bióticos da cultura (SOUZA, 2005). Assim, a caracterização e o estudo da divergência genética entre os acessos do Banco de Germoplasma contribuem para o aumento da eficiência na seleção de genitores no programa de melhoramento genético.

O estudo da divergência genética por meio de técnicas multivariadas é de grande importância, principalmente no planejamento de programas e na definição de estratégias de trabalho e tem sido empregado em populações de *C. canephora* (CECON, 2008; FERRÃO et al., 2009; MISTRO et al., 2003).

A estatística multivariada, por se tratar de uma análise que permite integrar as múltiplas informações de um conjunto de caracteres, extraídas das unidades experimentais, tem sido amplamente utilizada para quantificar a divergência genética, oferecendo maior oportunidade de escolha de genitores divergentes, em programas de melhoramento (FONSECA et al., 2006). Vários métodos multivariados podem ser aplicados na predição da divergência genética e a escolha do método mais adequado deve ser realizada em função da precisão desejada, da facilidade de análise e da forma com que os dados foram obtidos (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2004).

Da mesma forma, as estimativas das variabilidades genotípicas são extremamente importantes em um programa de melhoramento. Quanto maior seu valor, mais heterogêneos são os genótipos avaliados e, portanto, maior será a possibilidade de selecionar materiais superiores (RODRIGUES et al., 2012b).

Diante do exposto, objetivou-se, neste trabalho, avaliar a divergência genética, por meio de procedimentos multivariados, entre genótipos do Banco de Germoplasma de *Coffea canephora* Pierre ex Frohener do programa de melhoramento genético de Minas Gerais, indicando genótipos divergentes a serem utilizados em cruzamentos intrapopulacionais.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Em julho de 2009, quatro ensaios foram implantados na Fazenda Experimental da EPAMIG em Oratórios, Minas Gerais, sendo dois ensaios envolvendo, ao todo, 68 genótipos de *C. canephora* var. *kouilouensis De Wild.* e três testemunhas comuns; e dois ensaios envolvendo, ao todo, 54 genótipos de *C. canephora* var. *robusta (L.Linden) A. Chev.* e duas testemunhas comuns. Os ensaios foram implantados sob o delineamento experimental de blocos completos com tratamentos casualizados, em cinco repetições e parcelas experimentais constituídas de uma planta, implantada no espaçamento de 3,0 x 1,5 m.

As características foram avaliadas em julho de 2010 e 2011, sendo elas: vigor vegetativo (VV) médio das plantas - avaliado pelo aspecto geral da planta, observando-se o enfolhamento, o número de ramos ortotrópicos e plagiotrópicos, o estado nutricional e a sanidade dos cafeeiros, adotando-se notas de 1 (planta totalmente depauperada) a 10 (planta altamente vigorosa); reação à ferrugem do cafeeiro (RF) - avaliada nos meses de pico da doença no campo (entre março e julho), considerando notas de 1 a 5, sendo: 1 - plantas imunes, sem qualquer sinal de infecção; 2 - plantas com reação de hipersensibilidade visível macroscopicamente, lesões cloróticas, pequenas tumefações, sem ocorrência de esporulação; 3 - plantas com reação de hipersensibilidade visível macroscopicamente, lesões cloróticas geralmente esporulando na borda e pequenas tumefações; 4 - plantas com reação de hipersensibilidade visível macroscopicamente, lesões cloróticas, tumefações, ocorrência de média esporulação; e, 5 – plantas com lesões com esporulação intensa e presença de muitas pústulas grandes; reação à cercospora (RC)– avaliada pela escala de notas de 1 a 3, sendo que a nota 1 refere-se a plantas que não apresentaram incidência da doença e nota 3 para as plantas com grande incidência da doença; número médio de ramos ortotrópicos por planta (NROrt); número médio de ramos plagiotrópicos por planta (NRPla); e, diâmetro médio da copa das plantas (DCo)- determinado em centímetros (cm).

O programa utilizado para estimação dos parâmetros e predição dos valores genéticos foi o SELEGEN- REML/BLUP (Restricted Maximum Likelihood/ Best Linear Unbiased Prediction), sendo o procedimento adotado pelo programa para a predição dos valores genéticos o BLUP (melhor predição linear não viciada) ou modelos mistos, que utiliza estimativas de variância obtidas pelo

método REML (máxima verossimilhança restrita), descritos por Resende (2007). As equações de modelo misto (RESENDE, 2002) foram utilizadas para predizer os valores genotípicos dos genótipos dentro de cada grupo de *C. canephora*, kouillou ou robusta. Como os genótipos (exceto as testemunhas) não eram comuns aos dois ensaios de cada grupo, os blocos experimentais caracterizam-se como incompletos e, portanto, foram analisados como tal. Assim, o modelo usado foi:

$$y = Xm + Zg + Wb + Ti + Qp + e,$$

em que: y: vetor de dados; m: vetor dos efeitos fixos das combinações medição-repetição (assumidos como fixos) somados a média geral; g: vetor dos efeitos genotípicos $g \sim N(0, A\sigma^2_g)$; sendo A a matriz de parentescos e σ^2_g a variância genotípica; b: vetor dos efeitos de blocos $b \sim N(0, I\sigma^2_b)$ sendo I a matriz identidade e σ^2_b a variância ambiental entre blocos; i: vetor dos efeitos da interação genótipos x medições $i \sim N(0, A\sigma^2_i)$; sendo σ^2_i a variância da interação genótipos x medições; p: vetor dos efeitos de ambiente permanente $p \sim N(0, I\sigma^2_p)$, sendo $I\sigma^2_p$ a variância de ambiente permanente; e: vetor de erros ou resíduos $e \sim N(0, I\sigma^2_e)$, sendo $I\sigma^2_e$ a variância residual, X, Z, W, T e Q: matrizes de incidência para os efeitos m, g, b, i e p, respectivamente (RESENDE, 2007).

Os valores genotípicos, preditos para cada genótipo dentro de cada grupo, foram utilizados para estimar as matrizes de distâncias genéticas de Mahalanobis e, para delimitação dos grupos, utilizou-se a técnica de otimização proposta por Tocher (RAO, 1952).

O processo de seleção foi também realizado com base no índice de seleção proposto por Mulamba e Mock (1978), em que são somados os "ranks" de cada material genético em relação a cada um dos caracteres em ordem favorável ao melhoramento (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2004; SANTOS et al., 2007).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

População de kouillou

Os resultados referentes às estimativas dos parâmetros genéticos para os genótipos de kouillou (Tabela 1) apresentam significância da herdabilidade de parcelas individuais no sentido amplo para as características VV, RF e RC, indicando excelente possibilidade de seleção, pois as características apresentaram valores expressivos de coeficiente de herdabilidade média entre genótipos (56, 77 e 72%, respectivamente). Dessa forma, as estimativas obtidas para essas características indicam variabilidade genética e poderão maximizar os ganhos genéticos com seleção.

Por outro lado, a caracterização de NROrt, NRPla e DCo foram muito influenciadas pelo ambiente e, em ambos os níveis, os valores de herdabilidade foram baixos, podendo-se inferir que genótipos que evidenciaram maior número de ramos ortotrópicos, plagiotrópicos e maior diâmetro da copa tendem a menor estabilidade de expressão frente às alterações de ambiente.

Observa-se, para a maioria das características (com exceção de NROrt), valores de acurácia satisfatórios (0,61 e 0,88,) indicando que os valores genéticos preditos estão medianamente próximos dos verdadeiros, corroborando a facilidade de selecionar plantas superiores partindo-se dessas características, aos 24 meses após o plantio. A correlação genotípica através das medições apresentam o mesmo comportamento da acurácia, variando entre 0,81 a 0,97, a exceção de NROrt. (Tabela 1).

As medidas das dissimilaridades genéticas, estimadas pelas distâncias genéticas de Mahalanobis entre os pares de genótipos (dados não apresentados), identificaram, para o grupo kouillou, os genótipos 3628-52 e 3629-15, como sendo os mais similares e os genótipos 3628-2 e 3629-16, como sendo os mais dissimilares. O genótipo 3628-16 destacou-se como o mais dissimilar de todos, pois foi o de maior distância média entre os pares de distâncias nos quais esse genótipo fazia parte. Por outro lado, o genótipo 3629-24 foi o mais similar de todos, em razão da menor distância média entre os pares de distâncias nos quais esse genótipo fazia parte.

A análise de agrupamento, pelo método Tocher (RAO, 1952), utilizando como medida de dissimilaridade as distâncias genéticas de Mahalanobis, demonstrou que os genótipos pertencentes ao grupo kouillou foram agrupados em 13 grupos, sendo que a maior concentração de genótipos (50 no total) ficou alocada no primeiro grupo (Tabela 2).

Da mesma forma, Ivoglo et al. (2008), utilizando o método Tocher, reuniu 21 progênies de meios-irmãos de *C. canephora,* em quatro grupos distintos. O agrupamento de 32 clones de kouillou, componentes de três variedades clonais melhoradas, se fez em três grupos distintos (FONSECA et al., 2006).

TABELA 1 - Média, componentes de variância e parâmetros genéticos para as características vigor vegetativo (VV), reação à ferrugem (RF) e à cercóspora (RC), número de ramos ortotrópicos (NROrt), número de ramos plagiotrópicos (NRPla) e diâmetro da copa (DCo), avaliadas em 71 genótipos do grupo kouillou do Banco de Germoplasma da EPAMIG/UFV.

Parâmetros[1]	VV	RF	RC	NROrt	NRPla	DCo
h_g^2	0,07±0,03	0,14±0,04	0,15±0,04	0,00±0,01	0,04±0,02	0,05±0,03
h_m^2	0,56	0,77	0,72	0,06	0,37	0,53
AC_g	0,75	0,88	0,85	0,25	0,61	0,73
c_{bl}^2	0,31	0,05	0,03	0,06	0,19	0,17
c_{gm}^2	0,00	0,00	0,04	0,05	0,03	0,01
c_{perm}^2	0,43	0,01	0,09	0,15	0,19	0,10
r_{med}	0,97	0,97	0,81	0,10	0,57	0,91
Média	4,40	1,73	2,40	3,81	32,78	51,78

1h_g^2: herdabilidade de parcelas individuais no sentido amplo; $h_m^2 h_m^2$: herdabilidade ao nível de média de genótipos,AC_g: acurácia da predição de valores genotípicos; $c_{bl}^2 c_{bl}^2$: coeficiente de determinação dos efeitos de blocos; c_{gm}^2: coeficiente de determinação dos efeitos da interação genótipos x medições; $c_{perm}^2 c_{perm}^2$: coeficiente de determinação dos efeitos de ambiente permanente; $r_{med} r_{med}$: correlação genotípica através das medições; Média: média geral do experimento.

Genótipos de grupos distintos podem ser cruzados, visando à obtenção de maior variabilidade genética na descendência ou para obtenção de uma possível heterose na descendência, para caracteres que exibem dominância alélica (RESENDE, 2007). Assim, os cruzamentos intrapopulacionais entre os genótipos mais dissimilares de cada grupo favoreceria a obtenção de maior variabilidade genética dentro das progênies, em relação à variabilidade contida dentro das populações originais, considerando-se as características avaliadas.

Pelos resultados do presente trabalho, baseado no agrupamento de Tocher, com base na dissimilaridade expressa pela distância genética de Mahalanobis, estimada a partir das seis características estudadas (Tabela 2), foi possível identificar os principais cruzamentos intrapopulacionais para obter maior variabilidade genética, destacando-se entre eles: 3628-2 x 3628-23; 3628-23 x 3628-40; 3628-2 x 3629-34; 3628-2 x 3628-4; 3628-2 x 3627-24; e, 3628-2 x 3628-40, aumentando assim, a probabilidade de obter indivíduos superiores na descendência.

A escolha das características vigor vegetativo, reação à ferrugem e à cercospora, para seleção de indivíduos, baseou-se no fato de terem apresentado maiores magnitudes para a herdabilidade, acurácia e correlação genotípica através das medições, sendo a reação à ferrugem um dos principais objetivos dos programas de melhoramento do cafeeiro (BRITO et al., 2007; SILVA et al., 2006). Visando aumentar a confiabilidade dos resultados obtidos, foi utilizado também o índice de seleção com base na soma de "ranks" (MULAMBA; MOCK, 1978), o qual tem sido indicado na literatura por proporcionar melhores ganhos simultâneos em várias situações (COSTA et al., 2010; SANTOS et al., 2007).

O ganho genético é inversamente proporcional à intensidade de seleção, a qual quantifica o número de indivíduos selecionados. Dessa forma, no presente trabalho, foi considerada a necessidade de se trabalhar com maior número de indivíduos (intensidade de seleção de 10%) para assegurar um número efetivo mínimo que, de acordo com Rocha et al. (2009), permite maior eficiência nas etapas seguintes de seleção.

A nova média prevista com a seleção dos sete genótipos (Tabela 3), baseada na reação à ferrugem foi de 1,58, valor 8,67% inferior à média geral de todas as plantas avaliadas no experimento.

TABELA 2 - Agrupamento, pelo método de Tocher, de 71 genótipos do grupo kouillou, pertencentes ao Banco de Germoplasma de *Coffea canephora* da EPAMIG/UFV, com base na dissimilaridade expressa pela distância genética de Mahalanobis, estimada a partir de seis características.

Grupos	Genótipos do grupo kouillou						
1	3629-4	3629-23	3628-46	3629-1	3628-32	3629-30	3627-27
	3628-20	3629-17	3629-x	3627-30	3629-15	3629-32	3628-44
	3629-8	3628-39	3629-11	3628-3	3629-36	3628-28	3629-25
	3629-28	3629-29	3638-49	3629-37	3628-51	3629-9	3627-31
	3629-12	3628-10	3629-31	3628-36	3628-33	3629-20	3628-43
	3628-17	3628-47	3628-22	3627-24	3628-27	3629-10	3628-26
	3628-24	3629-24	3629-26	3628-35	3628-48	3628-52	3627-29
	3627-8						
2	3628-37	513	3628-4				
3	3629-39	3629-7					
4	3628-42	3628-38	3628-1				
5	3627-25	3628-5	3628-29				
6	3628-45	3629-34					
7	3627-20	3628-40					
8	3629-27						
9	3629-38						
10	3629-16						
11	3628-2						
12	3628-23						
13	3628-16						

TABELA 3 - Valores genotípicos preditos (Vg), classificação (R) de sete genótipos de Conilon e valores relativos ao índice de Mulamba e Mock (1978) (Ij), para as características vigor vegetativo (VV), reação à ferrugem (RF) e à cercóspora (RC).

Genótipos	VV		RF		RC		Ij
	Vg	R	Vg	R	Vg	R	
3627-29	4,63	14	1,49	2	2,04	3	19
3628-42	5,25	1	1,56	5	2,21	15	21
3629-34	4,61	15	1,58	8	2,04	2	25
3628-40	4,7	9	1,51	4	2,21	14	27
3627-30	5,04	3	1,66	19	2,13	6	28
3628-45	4,59	17	1,62	13	1,98	1	31
3628-46	5,14	2	1,67	21	2,16	8	31
[1]Nova média	4,85		1,58		2,1		
[2]Ganho predito (%)	10,23		- 8,67		- 4,98		
Média das progênies	4,40		1,73		2,40		

[1]Média de plantas selecionadas, [2]Ganho genético aditivo predito (%)

Da mesma forma, a reação à cercospora apresentou uma redução de 4,98% com a seleção, e o vigor vegetativo das plantas (escala de nota) foi 10,23% superior à média geral.

População de robusta

As herdabilidades de parcelas individuais no sentido amplo foram significativas para as características VV, RC, NROrt, DCo, conduzindo a valores de elevada magnitude para as herdabilidades médias dos genótipos e acurácias das características RC, NROrt, DCo, avaliadas na população de conilon (Tabela 4). Por meio das elevadas estimativas de h2, são verificadas as confiabilidades, no que se refere a como os valores fenotípicos representam os valores genotípicos dos materiais genéticos estudados (Ferrão et al., 2008).

Considerando essas características, observam-se valores de 0,83, 0,82 e 0,74, respectivamente, para herdabilidade, e de 0,91, 0,85 e 0,86 para acurácia, o que indica um expressivo controle genético.

A acurácia da predição dos valores genótipos refere-se à correlação entre o valor genotípico verdadeiro do tratamento genético e aquele estimado ou predito a partir das informações dos experimentos, sendo importante parâmetro para a prática da seleção genotípica (RESENDE; DUARTE, 2007).

Corroborando esses resultados, as características VV, RC, NROrt, DCo apresentam alta magnitude de correlação genotípica, favorecendo a seleção precoce dos melhores genótipos, uma vez que há alta coincidência dos ranks ao longo das medições.

As medidas das dissimilaridades genéticas identificaram os genótipos 3360-173 e 3365-144 como mais similares, sendo esse último o mais similar de todos os genótipos avaliados. Por outro lado, os mais dissimilares foram os genótipos 514 e 3631-6 (dados não apresentados).

A análise de agrupamento pelo método Tocher (RAO, 1952), utilizando como medida de dissimilaridade as distâncias genéticas de Mahalanobis, classificou os genótipos em cinco grupos, associando, no primeiro grupo, 51 dos 56 genótipos avaliados (Tabela 5).

TABELA 4 - Média, componentes de variância e parâmetros genéticos para as características vigor vegetativo (VV), reação à ferrugem (RF) e à cercóspora (RC), número de ramos ortotrópicos (NROrt), número de ramos plagiotrópicos (NRPla) e diâmetro da copa (DCo), avaliadas em 56 genótipos do grupo Robusta do Banco de Germoplasma da EPAMIG/UFV.

Parâmetros[1]	VV	RF	RC	NROrt	NRPla	DCo
h_g^2	0,11±0,05	0,04±0,03	0,28±0,08	0,15±0,06	0,08±0,05	0,18±0,07
h_m^2	0,59	0,00	0,83	0,72	0,47	0,74
AC_g	0,77	0,00	0,91	0,85	0,69	0,86
c_{bl}^2	0,00	0,02	0,03	0,02	0,01	0,10
c_{gm}^2	0,01	0,14	0,05	0,03	0,07	0,01
c_{perm}^2	0,56	0,01	0,06	0,08	0,33	0,43
r_{med}	0,93	0,23	0,84	0,82	0,54	0,95
Média	4,18	1,46	2,43	2,35	17,83	47,39

[1]h_g^2: herdabilidade de parcelas individuais no sentido amplo; $h_m^2 h_m^2$: herdabilidade ao nível de média de genótipos, AC_g: acurácia da predição de valores genotípicos; *r*: repetibilidade de parcelas individuais; $c_{bl}^2 c_{bl}^2$: coeficiente de determinação dos efeitos de blocos; c_{gm}^2: coeficiente de determinação dos efeitos da interação genótipos x medições; $c_{perm}^2 c_{perm}^2$: coeficiente de determinação dos efeitos de ambiente permanente; r_{med} r_{med}: correlação genotípica através das medições; *Média*: média geral do experimento.

TABELA 5 - Agrupamento, pelo método de Tocher, de 56 genótipos do grupo Robusta pertencentes ao Banco de Germoplasma de *Coffea canephora* da EPAMIG/UFV, com base na dissimilaridade expressa pela distância genética de Mahalanobis, estimada a partir de seis características.

Grupos	Genótipos do grupo Robusta						
1	3360-169	3357-91	3371-22	3375-65	3371-19	3631-1	3631-13
	3631-9	3631-8	3356-76	3367-105	3370-50	3376-8	3368-52
	3367-98	3360-173	3631-5	3631-11	3356-71	3370-47	3366-139
	3366-134	3367-101	3630-6	3366-138	3375-66	3631-10	3357-93
	3377-12	3373-43	3630-2	3374-29	3363-125	3360-171	3630-10
	3371-20	3356-74	3367-96	3358-88	3376-9	3365-144	3361-151
	3362-118	3631-12	3630-7	3373-36	3631-3	3363-122	3367-97
	3631-4	3370-49					
2	3630-5	3631-2					
3	3631-6						
4	514						
5	3368-58						

De acordo com esses resultados, foi possível identificar como promissores os seguintes cruzamentos: 514 x 3630-5; 3630-6 x 3374-29; 514 x 3630-6; 514 x 3367-101; e, 3631-2 x 3360-169, os quais serão realizados pelo programa de melhoramento de *C. canephora* de Minas Gerais.

Com base nos parâmetros genéticos estimados, as características VV, RC, NROrt, DCo foram escolhidas para a seleção dos seis genótipos (intensidade de seleção de 10%) da população de Robusta. Visando aumentar a eficiência na seleção de cafeeiros, essas quatro características morfológicas foram correlacionadas positivamente com produtividade em conilon (RODRIGUES et al., 2012a).

Baseado na soma dos ranks das quatro características, foram selecionados os genótipos 3631-1, 514, 3360-169, 3631-3, 3631-2, 3630-6, os quais apresentaram ganhos preditos de 8,61% para VV, 10,69% para RC (seleção no sentido de decréscimo), 10,69% para NROrt e 11,19% para DCo. Esses resultados denotam que a seleção de plantas nessa população é bastante promissora.

4 CONCLUSÕES

No grupo kouilouensis, os genótipos 3628-52 e 3629-15 são considerados os mais similares e os 3628-2 e 3629-16 os mais dissimilares, enquanto que na população de robusta, os genótipos 3360-173 e 3365-144 são considerados os mais similares e 514 e 3631-6 os mais dissimilares.

Os principais cruzamentos intrapopulacionais para obter maior variabilidade genética dentro de cada grupo e aumentar a probabilidade de obter indivíduos superiores na descendência são: 3628-2 x 3628-23; 3628-23 x 3628-40; 3628-2 x 3629-34; 3628-2 x 3628-4; 3628-2 x 3627-24; e, 3628-2 x 3628-40, para o grupo kouilouensis; e, 514 x 3630-5; 3630-6 x 3374-29; 514 x 3630-6; 514 x 3367-101; e, 3631-2 x 3360-169, para o grupo Robusta.

5 AGRADECIMENTOS

Ao Consórcio Pesquisa Café, à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico,

pelo aporte financeiro ao programa de melhoramento genético do cafeeiro da EPAMIG e pela concessão de bolsas de doutorado (DCFB), de PNPD (JCR) e de produtividade em pesquisa (AAP).

6 REFERÊNCIAS

BRITO, G. G. de et al. Inheritance of coffee leaf rust resistance and identification of AFLP markers linked to the resistance gene. **Euphytica**, Wageningen, v. 173, n. 2, p. 255-264, 2010.

CECON, P. R. Análise de medidas repetidas na avaliação de clones de café 'Conilon'. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, p. 1171-1176, 2008.

COSTA, R. B. da et al. Predição de parâmetros e valores genéticos para caracteres de crescimento e produção de látex em progênies de seringueira. **Bragantia**, Campinas, v. 69, n. 1, p. 49-56, 2010.

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

FERRÃO, M. A. G. et al. Genetic divergence in Conilon coffee revealed by RAPD markers. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Viçosa, v. 9, p. 67-74, 2009.

FERRÃO, R. G. et al. **Café conilon**. Vitória: Incaper, 2007. 702 p.

_____. Parâmetros genéticos em café Conilon. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, p. 61-69, 2008.

FONSECA, A. F. A. et al. Divergência genética em café conilon. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, p. 599-605, 2006.

IVOGLO, M. G. et al. Divergência genética entre progênies de café robusta. **Bragantia**, Campinas, v. 67, p. 823-831, 2008.

MISTRO, J. C. et al. Estimates of genetic parameters and expected genetic gains with selection in robust coffee. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Viçosa, v. 4, p. 86-91, 2004.

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

RAO, C. R. **Advanced statistical methods in biometric research**. New York: J. Wiley, 1952. 390 p.

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

_____. **Selegen-REML/BLUP:** sistema estatístico e seleção genética computadorizada via modelos lineares mistos. Curitiba: EMBRAPA Florestas, 2007. 359 p.

RESENDE, M. D. V.; DUARTE, J. B. Precisão e controle de qualidade em experimentos de avaliação de cultivares. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 37, p. 182-194, 2007.

ROCHA, R. B. et al. Avaliação genética de procedências de bandarra (*Schizolobium amazonicum*) utilizando REML/BLUP: máxima verossimilhança restrita/Melhor predição linear não viciada. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 37, n. 84, p. 351-358, dez. 2009.

RODRIGUES, W. N. et al. Crop yield of conilon coffee plants of different levels of vegetative vigor and rust severity. **Nucleus**, Ituverava, v. 9, p. 1-6, 2012a.

_____. Estimativa de parâmetros genéticos de grupos de clones de café conilon. **Coffee Science**, Lavras, v. 7, n. 2, p. 177-186, 2012b.

SANTOS, F. S. et al. Predição de ganhos genéticos por índice de seleção na população de milho-pipoca UNB-2U sob seleção recorrente. **Bragantia**, Campinas, v. 66, n. 3, p. 389-396, 2007.

SILVA, M. do C. et al. Coffee resistance to the main diseases: leaf rust and coffee berry disease Braz. **Journal of Plant Physiology**, Irvine, v. 18, p. 119-147, 2006.

SOUZA, F. F. **Divergência genética em clones de café conilon (*Coffea canephora* Pierre.) coletados em Rondônia**. Porto Velho: EMBRAPA Rondônia, 2005. 3 p. (Comunicado Técnico, 289).

MOSCAS-DAS-FRUTAS (*Diptera: Tephritidae*) EM CAFEZAIS IRRIGADOS NO NORTE DE MINAS GERAIS

Maria Gisely Camargos[1], Clarice Diniz Alvarenga[2], Teresinha Augusta Giustolin[3], Patrícia Cristina do Carmo Oliveira[4], Marcelo Mendes Rabelo[5]

(Recebido: 04 de dezembro de 2013; aceito: 01 de setembro de 2014)

RESUMO: Objetivou-se, neste trabalho, conhecer as espécies de moscas-das-frutas associadas ao cafeeiro, bem como a ocorrência sazonal da espécie mais frequente e os índices de infestação nas condições de semiárido do norte de Minas Gerais. O estudo foi realizado entre abril de 2009 e abril de 2010, em dois cafezais de 0,5 ha cada, irrigados e cultivados a pleno sol com a cultivar Catuaí Vermelho, localizados no município de Jaíba, MG. Semanalmente, foram realizadas coletas de moscas-das-frutas, por meio de frascos caça-moscas tipo McPhail e de frutos maduros. Foram obtidos 106.233 indivíduos nas armadilhas, sendo 106.031 de *Ceratitis capitata* (Wied.) e 202 de *Anastrepha* Schiner, pertencentes às espécies *A. dissimilis* Stone, *A. fraterculus* (Wied.), *A. manihoti* Lima, *A. obliqua* (Macq.), *A. pickeli* Lima, *A. zenildae* Zucchi, *A. hadropickeli* Canal, Uramoto & Zucchi e *A. entodonta* Canal, Uramoto & Zucchi. Nos frutos foram obtidos 783 espécimes, sendo 779 de *C. capitata* e quatro machos de *Anastrepha* spp. Nos meses com maior disponibilidade de frutos foram observados índices de até 83 MAD (moscas/armadilha/dia) na Área 1 e de 132 MAD na Área 2. Os maiores picos populacionais ocorreram no final do período de maturação dos frutos (abril/junho), com um decréscimo após a colheita. Os índices médios de infestação variaram de 0,005 a 0,415 pupários/fruto e 8,0 a 366,76 pupários/kg de fruto. Os cafezais estudados apresentaram altos índices de infestação por moscas-das-frutas e altos índices MAD. Constatou-se a presença do parasitoide *Doryctobracon areolatus* (Szépligeti) nos frutos coletados, ocorrendo baixas taxas de parasitismo natural.

Termos para indexação: *Anastrepha* spp, *Ceratitis capitata*, *Coffea arabica*, índice de infestação.

FRUIT FLIES (*Diptera: Tephritidae*) IN IRRIGATED COFFEE PLANTATIONS IN THE NORTH OF MINAS GERAIS

ABSTRACT: *The objective of this study was to identify the species of fruit flies associated with coffee plants, as well as the seasonal occurrence of the most frequent species and infestation rates in the semiarid region, north of Minas Gerais. The survey was conducted from April 2009 to April 2010 in two coffee plantations of 0.5 ha each one, irrigated and grown under full sun with Red Catuaí cultivar, located in Jaíba, MG. Weekly, there were collections of ripe fruit and for a survey of adult flies were used McPhail traps containing as food bait hydrolyzed protein to 5%. Were obtained 106.233 individuals collected in McPhail traps. From this total, 106,031 belong to Ceratitis capitata (Wied.) and 202 to Anastrepha Schiner: A. dissimilis Stone, A. fraterculus (Wied.), A. manihoti Lima, A. obliqua (Macq.), A. pickeli Lima, A. zenildae Zucchi, A. hadropickeli Canal, Uramoto & Zucchi and A. entodonta Canal, Uramoto & Zucchi.. In fruits were obtained 783 specimens, 779 of these belong to C. capitata and four Anastrepha males no identified. MAD (fly/trap/day) indices rates up to 83 in Area 1 and 132 MAD in Area 2 in the months with higher fruit availability. The highest population peak occurred at the end of the period of fruit maturation (April to June), decreasing after harvesting them. The mean infestation rates ranged 0.005 to 0.415 puparia/fruit and 8 to 366.76 puparia/kg of coffee fruit. The coffee plantations investigated showed high level of infestation of fruit flies and high indices MAD. It was found the presence of the parasitoid Doryctobracon areolatus (Szépligeti) in collected fruits, low rate of natural parasitism occurred.*

Index terms: *Anastrepha spp.,Ceratitis capitata, Coffea arabica, infestation rates.*

1 INTRODUÇÃO

O estado de Minas Gerais possui a maior área plantada de café do Brasil com 1.238.270 mil hectares, predominando a espécie arábica com 98,87%. Isso representa 54,25% da área cultivada com café no País, compreendendo duas principais regiões produtoras, o Sul e o Cerrado (região Noroeste do Estado). As regiões Norte de Minas, Jequitinhonha e Mucuri possuem 105 municípios produtores de café, perfazendo uma área de produção de 37.102 hectares, com produtividade média variando entre sete e 80 sacas, por hectare (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB, 2014).

O clima semiárido da região Norte de Minas é reconhecido por suas temperaturas elevadas e pela irregularidade das chuvas, com a ocorrência de até nove meses de seca (COSTA; RUAS; PEREIRA, 2010). Apesar do déficit hídrico característico da região, algumas áreas se caracterizam por lavouras de café de elevado nível tecnológico, irrigadas e bem conduzidas (CONAB, 2014). As condições climáticas favoráveis, semelhante a do Cerrado mineiro, aliado à irrigação têm corroborado para que o café cultivado nessa região seja considerado

[1,2,3,4,5]Universidade Estadual de Montes Claros, Departamento de Ciências Agrárias Rua Reinaldo Viana, 2630 - 39440-000 Janaúba- MG - mariagisely@hotmail.com, clarice.corsato@unimontes.br, tagiusto@yahoo.com.br, patricia-agronomia@hotmail.com, marcelomendes16@yahoo.com.br

de excelente qualidade, já que, na época de colheita, não existe risco de fermentação dos grãos colhidos causada por fungos, devido à baixa umidade do ar. Além disso, a temperatura e a maior incidência solar da região proporcionam condições ideais para que os grãos absorvam e retenham um aroma distinto e um sabor adocicado da polpa, considerado único no mundo, o que favorece a qualidade da bebida (EVANGELISTA; CARVALHO; SEDIYAMA, 2002).

No entanto, com o aumento das áreas cultivadas de café ocorrem, consequentemente, condições favoráveis para o crescimento populacional de insetos fitófagos que podem atingir o status de praga. Nesse sentido, o cafeeiro se destaca por apresentar frutos suscetíveis à infestação de moscas-das-frutas, pois esses ocorrem numa época com condições críticas de umidade e temperatura (baixa umidade e altas temperaturas) e reduzida disponibilidade de outros hospedeiros, sendo também importante sob o ponto de vista ecológico, pois possibilita à mosca persistir nas áreas rurais em que vive para depois infestar pomares adjacentes (RAGA et al., 2002).

Dentre as moscas-das-frutas (Diptera: Tephritoidea) que já foram relatadas infestando cafeeiro no Brasil, destacam-se várias espécies do gênero *Anastrepha*, Lonchaeidae e *Ceratitis capitata* (Wiedemann), sendo o cafeeiro tido como hospedeiro preferencial de *C. capitata*. Essas moscas são consideradas pragas de café em outros países e vêm assumindo grande importância econômica em cafezais em vários Estados do Brasil (CAMARGOS et al., 2011; MONTES et al., 2012; RAGA et al., 2002; SOUZA et al., 2005; TORRES et al., 2010).

O fruto de café quando atacado por *C. capitata*, passa muito rapidamente do estágio "cereja" para o estágio de "passa" e isso encurta o tempo disponível para o produtor beneficiar o grão na forma de "cereja descascado", com maior valor no mercado. Outro problema relacionado à presença de moscas-das-frutas em cafezais é que quando os grãos são espalhados em terreiros de solo nu, possibilita às moscas completarem seu ciclo e os adultos emergirem. Estes então podem migrar para os pomares comerciais de fruteiras. Nesse sentido, o café se destaca por ser uma cultura que funciona como reservatório natural das moscas, apresentando frutos suscetíveis à infestação durante um período com reduzida disponibilidade hospedeira, intensificando a dispersão de moscas-das-frutas para outras frutíferas (REIS, 2007; TORRES et al., 2010).

Conforme Bateman (1972), a abundância de moscas-das-frutas pode ser influenciada por vários fatores, tanto bióticos como abióticos. A umidade do ambiente e a temperatura podem ser determinantes na abundância de tefritídeos. A temperatura pode influenciar direta ou indiretamente os insetos, por meio de efeitos sobre as taxas de desenvolvimento, mortalidade e fecundidade. Entretanto, a importância específica das variáveis climáticas nas populações das espécies de moscas-das-frutas é difícil de ser determinada, considerando-se que, além de correlacionarem-se entre si, podem influenciar indiretamente na disponibilidade de hospedeiros (URAMOTO; WALDER; ZUCCHI, 2003). Portanto, a maior disponibilidade de moscas-das-frutas está relacionada à maior presença de frutos na área (CARVALHO, 2005; FEITOSA et al., 2008; RONCHI-TELES; SILVA, 2005).

A ocorrência de moscas-das-frutas tem sido um sério problema nos perímetros irrigados do norte de Minas Gerais. A região abriga um importante polo agrícola, com destaque para a fruticultura e, recentemente, para a cafeicultura. Esse fato embasa a necessidade de maior conhecimento sobre a bioecologia de moscas-das-frutas, visando subsidiar as ações de manejo dessas pragas. Desta forma, objetivou-se, neste trabalho, conhecer as espécies de moscas-das-frutas (Diptera: Tephritidae), a ocorrência sazonal do tefritídeo mais frequente e os índices de infestação em cafeeiros cultivados nas condições de semiárido, no norte de Minas Gerais.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido em duas áreas, denominadas de Área 1 (15º10'34.0"S 43º59'38.1"W) e Área 2 (15º10'42.6"S 43º59'24.1"W) de café irrigado, cultivar Catuaí vermelho, localizadas na Gleba A do Projeto de Irrigação do Jaíba, norte do estado de Minas Gerais.

Os levantamentos foram conduzidos em lavouras de pequenos produtores, de 0,5 ha cada, distantes 0,7 km entre si, com plantio adensado e cinco anos de idade, destinados à produção de sementes. As duas áreas eram cultivadas a pleno sol e irrigadas pelo sistema de aspersão. Durante o período do trabalho nenhuma pulverização foi realizada para controle de pragas. A área 1 era circundada por vegetação nativa e plantio de abóbora e área 2 circundada por plantio de mamão, maracujá, melancia e algumas plantas do pomar doméstico, como goiabeira e mangueira.

Em cada área foram instaladas sete armadilhas tipo McPhail, contendo 500 ml de uma solução atrativa a 5% de proteína hidrolisada de milho, distribuídas em pontos aleatórios dentro do plantio. Semanalmente, no período de abril de 2009 a abril de 2010 (13 meses), as armadilhas foram retiradas, procedendo-se à limpeza e à substituição do atrativo alimentar. Os insetos encontrados no frasco foram transportados até o laboratório de Entomologia da Universidade Estadual de Montes Claros (UNIMONTES), em Janaúba (MG). Os espécimes de moscas-das-frutas foram contados e fixados em álcool 70%, para posterior identificação.

Frutos maduros foram amostrados, semanalmente, durante os meses de março de 2009 a junho de 2009, março e abril de 2010, de acordo com a disponibilidade de frutos maduros. O método de coleta foi aleatório, em qualquer altura da copa das árvores, além dos frutos recém-caídos ao solo, que ainda estavam em boas condições de conservação e sem orifícios de saída das larvas. O tamanho das amostras foi variável e dependente da disponibilidade de frutos no campo. As amostras, devidamente identificadas, foram colocadas em bandejas plásticas e transportadas até o laboratório. Os frutos foram contados, pesados e acondicionados em recipientes plásticos, contendo vermiculita umedecida e fechados com tecido *voile,* para obtenção de larvas e pupas. As amostras foram mantidas em condições controladas de temperatura e umidade (27 ± 1º C, 65 ± 5% UR). Após 10 dias foi realizado o peneiramento da vermiculita, bem como o exame cuidadoso da polpa dos frutos. As larvas e os pupários foram contados e transferidos para frascos contendo nova vermiculita limpa e tampados com *voile*, para a emergência de moscas e/ou parasitoides por 15 dias. Os insetos obtidos foram mortos e fixados em álcool 70%, para posterior identificação.

As espécies de *Anastrepha* foram identificadas, baseando-se na chave de identificação de Zucchi (2000). A identificação dos parasitoides braconídeos foi realizada de acordo com a chave de identificação específica de Canal e Zucchi (2000). Os espécimes foram depositados na coleção do Departamento de Ciências Agrárias da UNIMONTES.

A ocorrência sazonal foi avaliada com base no número total mensal de espécimes coletados nas armadilhas, determinado a partir dos totais semanais obtidos durante o levantamento das espécies de moscas e parasitoides, sendo apresentada por meio do índice MAD (número de moscas/armadilha/número de dias de exposição das armadilhas no campo).

Para relacionar a ocorrência sazonal das populações dos tefritídeos com os fatores climáticos (temperatura média, precipitação pluviométrica e umidade relativa do ar) foram realizadas análises de correlação de Pearson (r) e de regressão linear para todas as variáveis, utilizando-se o programa Sigmaplot 12 (Systat Software Inc., California, USA). Os dados climáticos foram fornecidos pela estação climatológica da Usina de Bioenergia SADA, localizada no Projeto Jaíba, Jaíba, MG e distante 2 km das áreas de café.

Os índices de infestação de moscas-das-frutas em café foram expressos pelo número de pupários por fruto (pupário/fruto) e pelo número de pupários por kg de fruto fresco (pupários/kg) e calculados em tabela dinâmica do Microsoft Excel 2007.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram obtidos 107.016 tefritídeos, nas duas áreas de café, sendo 106.810 exemplares de *C. capitata* e 206 de *Anastrepha* spp. (Tabela 1). O número de *C. capitata* foi bem maior que o de *Anastrepha* spp., representando 99,8% do total de indivíduos coletados nas armadilhas e 99,4% dos indivíduos obtidos dos frutos.

Ceratitis capitata predominou nas duas áreas experimentais, principalmente na Área 2, onde essa espécie representou 99,9% do total dos espécimes coletados (71.661) (Tabela 2).

Alvarenga et al. (2009) comprovaram a predominância de espécies de *Anastrepha* sobre *C. capitata* em pomares comerciais da região. *Ceratitis capitata* tem sido citada em maiores proporções em relação à espécies de *Anastrepha,* principalmente em áreas urbanas, conforme observado por Alvarenga et al. (2010). Essa predominância da mosca-do-mediterrâneo, nas áreas de café, tem sido observada, tanto em coletas realizadas com armadilhas, como obtidas de frutos (MONTES et al., 2012; TORRES et al., 2010). Neste caso, o café pode ser considerado um hospedeiro preferencial para a mosca-do-mediterrâneo e ser um atrativo para essa espécie nas áreas rurais. *Ceratitis capitata* tem preferência como hospedeiros, espécies introduzidas, como o café e se destaca em ambientes mais urbanizados, já as espécies de *Anastrepha* tem preferência por plantas nativas (MALAVASI; MORGANTE; ZUCCHI, 1980).

Dos frutos, foram obtidos 783 tefritídeos, sendo 779 pertencentes a *C. capitata* e quatro machos de *Anastrepha* spp. (Tabela 1), sendo que o número de moscas emergidas de frutos retirados das plantas (408 indivíduos) foi próximo àquele de frutos caídos ao solo (47,9%) (Tabela 3).

TABELA 1 - Número total de moscas-das-frutas (Diptera: Tephritidae), coletadas em armadilhas e obtidas de frutos nas duas áreas de café irrigado. Jaíba, MG. (Março/2009 a abril/2010).

Gênero/ Espécie	Armadilhas			Frutos			Total geral
	Machos	Fêmeas	Total	Machos	Fêmeas	Total	
Ceratitis capitata	42.516	63.515	106.031	425	354	779	106.810
Anastrepha spp.	100	102	202	4	0	4	206
Total	42.616	63.617	106.233	429	354	783	107.016

TABELA 2 - Número total de moscas-das-frutas (Diptera: Tephritidae), coletadas em armadilhas e obtidas de frutos em duas áreas de café irrigado. Jaíba, MG. (Março/2009 a abril/2010).

Gênero/ espécie	Área 1			Área 2			Total geral
	Machos	Fêmeas	Total	Machos	Fêmeas	Total	
Ceratitis capitata	15.158	19.991	35.149	27.783	43.878	71.661	106.810
Anastrepha spp.	83	79	162	21	23	44	206
Total	15.241	20.070	35.311	27.804	43.901	71.705	107.016

TABELA 3 - Moscas-das-frutas e parasitoides obtidos de frutos coletados das plantas e do solo, em duas áreas de café irrigado. Jaíba, MG. (Março/2009 a junho/2009 e março a abril/2010).

Indivíduos	Área 1		Área 2		Total
	planta	solo	planta	solo	
Ceratitis capitata	72	93	333	281	779
Anastrepha spp.	3	1	0	0	4
Doryctobracon areolatus	0	0	1	0	1

Esse fato indica, provavelmente, que a queda desses frutos poderia ter sido causada pela presença das larvas da mosca nos frutos, visto que a alimentação da larva, dentro do grão, provoca uma fermentação excessiva no fruto, gerando sua queda e acelerando o processo de apodrecimento (SOUZA et al., 2005).

O parasitismo natural de moscas-das-frutas em cafeeiros no norte de Minas Gerais foi muito baixo, quase nulo. Dos 10.162 frutos de café coletados, foi obtido somente um espécime parasitoide, pertencente à espécie *Doryctobracon areolatus* (Szépligeti) (Hymenoptera: Braconidae, subfamília Opiinae) (Tabela 3). Fato semelhante já foi observado em pomares comerciais ou domésticos de goiaba e de outras fruteiras em áreas rurais nessa região (ALVARENGA et al., 2005, 2009). O cultivo de café na região é relativamente recente, e, por esse motivo, ainda não há relatos de inimigos naturais associados às moscas-das-frutas que ocorrem nos cafeeiros. De modo geral, o parasitismo em cafeeiro é considerado baixo. Raga et al. (2002) constataram baixas taxas de parasitismo natural (0,16% a 0,40%), em cafeeiros no estado de São Paulo. Entretanto, outros autores relataram maiores taxas de parasitismo natural em moscas-das-frutas, em frutos de café. Marinho et al. (2009) observaram que o parasitismo natural variou de <1% a 40% de parasitismo de moscas-das-frutas, infestando café em 71 municípios do estado de São Paulo. Para a mesma cultivar de café (Catuaí Vermelho) Torres et al. (2010) obtiveram na Bahia 2,34% de parasitismo da espécie *Utetes anastrephae* (Viereck).

A maior infestação de C. capitata na Área 2 pode ter ocorrido devido à maior quantidade e uniformidade de amadurecimento dos frutos nessa área, fato observado durante as coletas, e aos hospedeiros adjacentes. Segundo Raga et al. (1996), frutos de café maduros e de coloração vermelha atraem mais adultos de moscas-das-frutas do que aqueles de coloração amarela. Além disso, a fêmea de *C. capitata*, por apresentar ovipositor curto, só perfura frutos que se encontram

desenvolvidos e em início de maturação, já com algum amolecimento e, portanto, mais fáceis de serem perfurados. Outro fator a ser considerado é a presença de hospedeiros nas áreas adjacentes aos cafezais, os quais podem ter contribuído para um aumento da infestação da Área 2.

Alvarenga et al. (2009), realizando levantamento das moscas-das-frutas por meio de coleta de frutos em áreas rurais e urbanas de Jaíba, Janaúba e Nova Porteirinha, no norte de Minas Gerais, verificaram que *C. capitata* predomina em hospedeiros introduzidos e é predominante em áreas urbanas. O café é uma espécie introduzida e é considerado como hospedeiro preferencial dessa espécie de moscas-das-frutas (MONTES et al., 2012; RAGA et al., 2002), provocando uma elevada população desses insetos na cultura. Por isso, pelo fato do café ser uma espécie exótica e a mosca-do-mediterrâneo possuir alto poder de colonização, pode ocorrer o aumento da população desse tefritídeo em áreas comerciais do Projeto Jaíba, principalmente em áreas de produção comercial de fruteiras para exportação.

Quanto ao gênero *Anastrepha,* foram coletadas das armadilhas 102 fêmeas (Tabela 1), das quais 19 foram excluídas para efeitos de análises morfológicas, devido a danos ocorridos no ápice do acúleo, já que a identificação das espécies de *Anastrepha* é baseada principalmente no formato e nas características do ápice do acúleo (ZUCCHI, 2000). Das 83 fêmeas restantes, foram identificadas oito espécies de *Anastrepha* (Tabela 4).

Dos frutos, só emergiram machos (Tabela 1), assim não foi possível associar nenhuma espécie de *Anastrepha* aos frutos de café, na região norte de Minas Gerais. *Anastrepha fraterculus* foi a espécie mais frequente, totalizando 63% das fêmeas identificadas. Das espécies identificadas nas áreas de café, todas já haviam sido assinaladas na região (ALVARENGA et al., 2009). Montes et al. (2012) obtiveram somente duas espécies de *Anastrepha* em armadilhas, instaladas em cafezais de sete cultivares, em um município do estado de São Paulo: *Anastrepha fraterculus* Wiedemann e *A. montei* Lima.

Os autores relacionaram a presença de *A. montei* a um plantio de mandioca próximo ao cafezal e citaram *A. fraterculus* como uma espécie polífaga com estreita relação com cafeeiros. De acordo com Raga et al. (2002) *A. fraterculus* foi a única espécie encontrada atacando frutos de 12 variedades de café, em várias localidades do estado de São Paulo. Assim, as espécies de *Anastrepha* encontradas neste estudo podem estar relacionadas às plantas hospedeiras da região, indicando a necessidade de coletas nos diversos hospedeiros, cultivados e silvestres, no entorno das duas áreas de café, bem como a ampliação do tamanho da amostra de frutos de cafeeiro, visando conhecer as interações hospedeiros – mosca-das-frutas.

Das espécies de *Anastrepha* coletadas em armadilhas, somente *A. fraterculus, A. obliqua* e *A. zenildae* possuem hospedeiros conhecidos na região, sendo relacionadas à manga, umbú, seriguela, goiaba, pitanga, cajá, acerola e juá (ALVARENGA et al., 2009). As outras espécies foram coletadas somente em armadilhas e no

TABELA 4 - Espécies de *Anastrepha,* obtidas em armadilhas McPhail nas duas áreas café irrigado. Jaíba, MG (Abril/2009 a abril/2010).

Espécies	Exemplares (n)*		Total
	Área 1	Área 2	
Anastrepha dissimilis Stone	0 (0)	1(7,6)	1 (1,2)
Anastrepha fraterculus (Wiedemann)	52 (74)	1 (7,6)	53 (63)
Anastrepha manihoti Lima	1 (1,4)	1(7,6)	2 (2,4)
Anastrepha obliqua (Macq.)	1 (1,4)	0 (0)	1 (1,2)
Anastrepha pickeli Lima	8 (11,4)	8 (61)	16 (19,2)
Anastrepha zenildae Zucchi	7 (10)	1 (7,6)	8 (9,6)
Anastrepha hadropickeli Canal, Uramoto & Zucchi	0 (0)	1 (7,6)	1 (1,2)
Anastrepha entodonta Canal, Uramoto & Zucchi	1 (1,4)	0 (0)	1 (1,2)
Total	70	13	83

*Porcentagem (%)

Brasil estão relacionadas a frutos de maracujá (*A. dissimilis* Stone) e de mandioca (*A. manihoti* Lima, *A. pickeli* Lima, *A. hadropickeli* Canal, Uramoto & Zucchi e *A. entodonta* Canal, Uramoto & Zucchi) (ZUCCHI, 2014).

Torres et al. (2010) observaram, em levantamentos de tefritídeos, em diferentes cultivares de café, que as espécies de *Anastrepha* variaram na estrutura de suas comunidades em função da variedade, sendo *A. fraterculus* a mais frequente e dominante, independentemente da variedade de cafeeiro e hospedeiros presentes na área. Segundo Zucchi (2014), *A. fraterculus* é uma espécie que apresenta uma polifagia muito ampla, e está associada a 97 espécies de plantas hospedeiras em 20 famílias botânicas.

Foram observados valores elevados de índice MAD (moscas/armadilha/dia), durante o período de frutificação do café (Figura 1).

Os maiores picos populacionais de moscas-das-frutas nas armadilhas coincidiu com o final do período de maturação de frutos, com decréscimo após a colheita. Nos meses com maior disponibilidade de frutos, foram observados índices de até 83 MAD na Área 1 e de 132 MAD na Área 2, onde foi coletado o maior número de *C. capitata* durante o período avaliado. Para compor os valores de MAD não foram computados os espécimes do gênero *Anastrepha* devido à baixa frequência destes durante os meses de coleta (Tabela 1). A mesma tendência foi observada por Montes et al. (2012) que obtiveram picos populacionais de *C. capitata,* coincidindo com o período de maturação dos frutos de café no interior do estado de São Paulo. Os autores registraram o maior índice MAD para a cultivar Obatã (148,31 MAD) e, para a cultivar Catuaí Vermelho, o índice máximo alcançou 64,11 MAD.

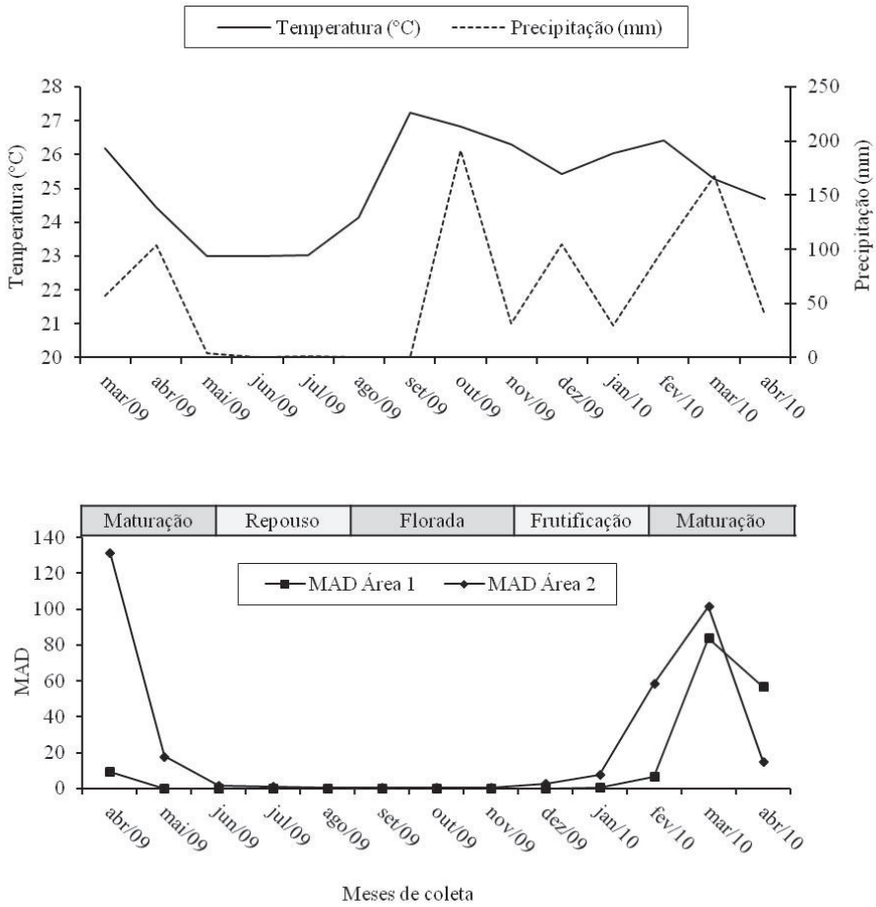

FIGURA 1 - Temperaturas médias (Cº) e precipitação (mm) e ocorrência sazonal de *Ceratitis capitata* em duas áreas de café irrigado. Jaíba, MG (Abril 2009 a Abril 2010). *MAD – Moscas/armadilha/dia.

Os índices MAD obtidos neste trabalho são considerados altíssimos para os padrões da fruticultura de exportação. Na cultura da manga, por exemplo, o índice de 0,5 MAD indica a necessidade de intervenção com controle químico em cobertura total. Para a cafeicultura, o nível de ação ainda não foi estabelecido, não havendo, contudo, bases científicas que permitam relacionar os níveis de infestação com as potenciais perdas que representam (TORRES et al., 2010). No entanto, apesar de não se conhecer ainda as perdas em café, a população presente nestas áreas pode ser um problema em fruteiras vizinhas. No Havaí, McQuate, Sylva e Jang (2005) avaliaram o controle de *C. capitata* em área de café adjacente a um pomar de caqui e observaram que a população destas pragas no café influencia na produção da fruteira, já que serve como reservatório durante a entressafra do caqui.

Não houve correlação significativa entre os dados populacionais e os fatores climáticos analisados (r^2= 0,72; P > 0,001). As maiores capturas ocorreram em razão da maior disponibilidade de frutos maduros nos cafezais.

Os índices de infestação nos frutos de café variaram de 0,005 pupários/fruto, nos frutos coletados no solo em junho de 2009, a 0,415 pupários/fruto, nos frutos coletados nas plantas em maio de 2009 (Tabela 5). Em geral, os índices de infestação (pupários/frutos) foram maiores nas coletas realizadas na área 2 e em frutos coletados na planta. Em junho de 2009 não foram coletados frutos na área 1, pois os mesmos já haviam sido colhidos.

Os valores encontrados no presente estudo foram próximos aos encontrados por Raga et al. (1996) que verificaram de 0,26 a 0,53 pupários/fruto em diferentes cultivares de *C. arabica* em Pindorama – SP. Em outro trabalho Raga et al. (2002) fizeram o levantamento em diversas cultivares de café em 26 municípios do estado de São Paulo. Os autores obtiveram, para a cultivar Catuaí Vermelho, 0,222 pupários/fruto em média, maior que a média observada neste trabalho (0,146 pupários/fruto) para a mesma variedade, embora, em algumas coletas, tenha-se atingido índices de infestação maiores que a média obtida em cafezais de São Paulo (Tabela 5). Mais recentemente Montes et al. (2012) obtiveram, em três anos de estudo em Presidente Prudente, SP, uma infestação média de 9,92 adultos de *C. capitata* por 250 frutos de café para a cultivar Catuaí Vermelho (0,04 moscas/fruto), com um máximo de infestação no terceiro ano de 27,5 moscas/250 frutos (0,11 moscas/fruto). Os autores avaliaram seis cultivares de café e não observaram diferenças nos índices de infestação entre elas.

Os índices de infestação obtidos a partir do número de pupários/kg de frutos variaram entre as áreas de café e as duas safras (2009 e 2010). Em média,a infestação foi de 115,72 e 26,48 pupários/kg de frutos na área 1 em 2009 e 2010, respectivamente (Tabela 5). Na área 2, os índices foram maiores, sendo observados uma média de 211,79 e 185,64 pupários/kg de frutos em 2009 e 2010, respectivamente. Tanto os índices pupários/kg de frutos como os índices pupário/fruto foram maiores nas coletas realizadas na área 2, embora nesta área tenham sido coletados menos frutos (3.757) em comparação com a área 1 (6.405 frutos). Isso também pode estar relacionado à maior uniformidade no amadurecimento dos frutos da área 2, e presença de hospedeiros como mamão e goiaba, concentrando-se assim o maior ataque. Alvarenga et al. (2007) registraram a presença de *C. capitata* infestando frutos de mamão na região norte de Minas Gerais.

Souza et al. (2005) encontraram cerca de 414 pupários/kg de frutos em sistema de cultivo sombreado e cerca de 225 pupários/kg de fruto em cultivo a pleno sol para a cultivar Icatu Amarelo no Rio de Janeiro. Silva et al. (2011), estudando os índices de infestação em seis cultivares de café no município de Bom Jesus do Itabapoana, RJ, obtiveram índice médio de infestação de 291,5 pupários/kg e 0,4 pupários/fruto. Torres et al. (2010) encontraram índices médios de infestação de 163,89 pupários/kg de frutos no sistema sombreado e 133,17 pupários/kg no sistema não sombreado, para a cultivar Catuaí Amarelo, e 112,79 pupários/kg para a cultivar Mundo Novo, em cafezal não sombreado no sudoeste da Bahia.

Considerando os altos índices de infestação encontrados em café neste trabalho, bem como por vários autores (MONTES et al., 2012; RAGA et al., 1996, 2002; SOUZA et al., 2005; TORRES et al., 2010), e comparando com outros trabalhos realizados na região (ALVARENGA et al., 2009), o cafeeiro pode ser considerado o hospedeiro preferencial de *C. capitata,* nas áreas rurais do semiárido de Minas Gerais.

Não foi observada correlação significativa (r^2= 0,64; P > 0,001) entre os índices de infestação e as variáveis climáticas: precipitação, temperatura e umidade relativa.

TABELA 5 - Índices de infestação de moscas-das-frutas em duas áreas (A1 e A2) de café irrigado. Jaíba, MG. (Março/2009 a junho/2009 e março a abril/2010).

Mês/ano	Origem	Número de frutos		Peso dos frutos (kg)		Índice de infestação (pupários/frutos)		Índice de infestação (pupários/kg de frutos)	
		A1	A2	A1	A2	A1	A2	A1	A2
mar/09	Planta	1.233	27	1,353	0,040	0,154	0,111	140,43	75,0
	Solo	637	20	0,440	0,010	0,053	0,15	77,27	300,0
abr/09	Planta	1.472	652	1,302	0,649	0,113	0,35	128,26	351,31
	Solo	1.406	399	1,532	0,420	0,203	0,276	186,68	261,91
mai/09	Planta	350	617	0,362	0,698	0,091	0,415	88,40	366,76
	Solo	378	611	0,382	0,591	0,074	0,267	73,30	275,80
jun/09	Planta	-	99	-	0,072	-	0,04	-	55,56
	Solo	-	187	-	0,125	-	0,005	-	8,0
mar/10	Planta	238	302	0,261	0,340	0,038	0,086	34,50	76,47
	Solo	173	175	0,182	0,208	0,04	0,131	38,46	110,58
abr/10	Planta	232	328	0,286	0,323	0,013	0,25	10,49	253,87
	Solo	286	340	0,267	0,368	0,021	0,326	22,47	301,63

Os parâmetros climáticos, principalmente a precipitação pluvial, são um dos fatores abióticos que mais interferem nas populações das moscas-das-frutas e, por conseguinte, nos seus níveis de infestação. Provavelmente, a influência da precipitação pluvial sobre as populações de moscas-das-frutas e, consequentemente, na infestação pode ter ocorrido principalmente de forma indireta, ou seja, a precipitação proporcionou condições favoráveis para a frutificação e, com isso, ocorreu o aumento da população das moscas-das-frutas (ARAUJO et al., 2008).

Ceratitis capitata foi a espécie que predominou nos cafezais estudados independentemente dos hospedeiros presentes nas áreas e apresentou altas taxas de infestação. Os períodos dos ataques coincidem com o período de maturação do café que pode funcionar como foco de infestação dessas moscas, que atacam fruteiras na região. O conhecimento sobre a bioecologia das moscas-das-frutas no cafeeiro é fundamental para subsidiar estratégias de manejo integrado dessas pragas na região.

4 CONCLUSÕES

As espécies *Ceratitis capitata*, *Anastrepha dissimilis*, *A. fraterculus*, *A. manihoti*, *A. obliqua*, *A. pickeli*, *A. zenildae*, *A. hadropickeli* e *A. entodonta* estão associadas a cafeeiros no semiárido do norte de Minas Gerais.

Ceratitis capitata é a principal espécie de tefritídeo que infesta frutos de cafeeiros no semiárido mineiro.

A ocorrência sazonal, bem como os índices

de infestação de tefritídeos em cafeeiros, está relacionada à disponibilidade de frutos de café maduros.

Doryctobracon areolatus é o único braconídeo parasitóide de moscas-das-frutas encontrado em frutos de café no norte de Minas Gerais, com parasitismo natural baixo.

5 AGRADECIMENTOS

À FAPEMIG, pelo financiamento da pesquisa (PROCESSO Nº: CAG - APQ-00977-09) e concessão de bolsas (IC e BIPDT). Ao CNPq, pela bolsa PQ ao segundo autor. À Usina de Bioenergia SADA, pelo fornecimento dos dados climáticos. Ao professor Sidney Tavares dos Reis, pelas análises estatísticas.

6 REFERÊNCIAS

ALVARENGA, C. D. et al. Introdução e recuperação do parasitoide exótico *Diachasmimorpha longicaudata* (Asmead) (Hymenoptera: Braconidae) em pomares comerciais de goiaba no norte de Minas Gerais. **Neotropical Entomology**, Londrina, v. 34, n. 1, p. 133-136, 2005.

ALVARENGA, C. D. et al. Moscas-das-frutas (Diptera: Tephritidae) e seus parasitoides em plantas hospedeiras de três municípios do Norte do estado de Minas Gerais. **Arquivos do Instituto Biológico**, São Paulo, v. 76, n. 2, p. 195-204, 2009.

ALVARENGA, C. D. et al. Moscas-das-frutas (Diptera: Tephritidae) em pomares da área urbana no norte de minas gerais. **Caatinga**, Mossoró, v. 23, n. 2, p. 25-31, 2010.

ALVARENGA, C. D. et al. Ocorrência de *Ceratitis capitata* Wied. (Diptera: Tephritidae) em frutos de mamoeiro em Minas Gerais. **Neotropical Entomology**, Londrina, v. 36, n. 5, p. 807-808, 2007.

ARAUJO, E. L. et al. Levantamento e flutuação populacional de moscas-das-frutas (Diptera: Tephritidae) em goiaba *Psidium guajava* L., no município de Russas, CE. **Caatinga**, Mossoró, v. 21, n. 1, p. 138-146, 2008.

BATEMAN, M. A. The ecology of fruit flies. **Annual Review of Entomology**, Palo Alto, v. 17, p. 493-581, 1972.

CAMARGOS, M. G. et al. Moscas frugívoras (Diptera: Lonchaeidae) em cafezais irrigados no Norte de Minas Gerais. **Arquivos do Instituto Biológico**, São Paulo, v. 78, n. 4, p. 615-617, 2011.

CANAL, N. A.; ZUCCHI, R. A. Parasitoides - Braconidae. In: MALAVASI, A.; ZUCCHI, R. A. (Ed.). **Moscas-das-frutas de importância econômica no Brasil:** conhecimento básico e aplicado. Ribeirão Preto: Holos, 2000. p. 119-126.

CARVALHO, R. da S. **Metodologia para monitoramento populacional de moscas-das-frutas em pomares comerciais**. Cruz das Almas: EMBRAPA Mandioca e Fruticultura Tropical, 2005. 17 p. (Circular Técnica, 75).

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira:** café, safra 2014: primeiro levantamento. Brasília, 2014. 21 p.

COSTA, D. S. M.; RUAS, K. F.; PEREIRA, A. M. As potencialidades da região semiárida do norte de Minas Gerais: análise do Centro de Estudos de Convivência com o Semiárido. In: ENCONTRO DE GEÓGRAFOS BRASILEIROS, 16., 2010, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: UFRGS, 2010. 1 CD-ROM.

EVANGELISTA, A. W. P.; CARVALHO, L. G. de; SEDIYAMA, G. C. Zoneamento climático associado ao potencial produtivo da cultura do café no estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola Ambiental**, Campina Grande, v. 6, n. 3, p. 445-452, 2002.

FEITOSA, S. S. et al. Flutuação populacional de moscas-das-frutas (Diptera: Tephritidae) associadas a variedades de manga no município de José de Freitas-Piauí. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 30, n. 1, p. 112-117, 2008.

MALAVASI, A.; MORGANTE, J. S.; ZUCCHI, R. A. Biologia de "moscas-das-frutas" (Diptera: Tephritidae): I., lista de hospedeiros e ocorrência. **Revista Brasileira de Biologia**, Rio de Janeiro, v. 40, n. 1, p. 9-16, 1980.

MARINHO, C. F. et al. Parasitoides (Hymenoptera: Braconidae) de moscas-das-frutas (Diptera: Tephritidae) no Estado de São Paulo: plantas associadas e parasitismo. **Neotropical Entomology**, Londrina, v. 38, n. 3, p. 321-326, 2009.

MONTES, S. N. M. N. et al. Moscas-das-frutas em cultivares de cafeeiros de Presidente Prudente, SP. **Coffee Science**, Lavras, v. 7, n. 2, p. 99-109, 2012.

MCQUATE, G. T.; SYLVA, C. D.; JANG, E. B. Mediterranean fruit fly (Dipt., Tephritidae) suppression in persimmon through bait sprays in adjacent coffee plantings. **Journal of Applied Entomology**, Berlin, v. 129, n. 2, p. 110-117, 2005.

RAGA, A. et al. Avaliação da infestação de moscas-das-frutas em variedades de café (*Coffea* spp.). **Arquivos do Instituto Biológico**, São Paulo, v. 63, n. 2, p. 59-63, 1996.

RAGA, A. et al. Occurrence of fruit flies in coffee varieties in the state of São Paulo, Brazil. **Boletín de Sanidad Vegetal de Plagas**, Madrid, v. 28, p. 519-524, 2002.

REIS, P. R. Reflexos da incidência de pragas na qualidade do café. In: SALVA, T. J. G. et al. (Ed.). **Cafés de qualidade:** aspectos tecnológicos, científicos e comerciais. Campinas: IAC, 2007. p. 107-111.

RONCHI-TELES, B.; SILVA, N. M. da. Flutuação populacional de espécies de *Anastrepha* Schiner (Diptera: Tephritidae) na região de Manaus, AM. **Neotropical Entomology**, Londrina, v. 34, n. 5, p. 733-741, 2005.

SILVA, P. S. et al. Diversidade e índices de infestação de moscas-das-frutas e seus parasitoides em seis cultivares de café no município de Bom Jesus do Itabapoana, RJ. **Vértices**, Campos dos Goytacazes, v. 13, n. 2, p. 193-203, 2011.

SOUZA, S. A. S. et al. Infestação natural de moscas frugívoras (Diptera: Tephritoidea) em café arábica, sob cultivo orgânico arborizado e a pleno sol, em Valença, RJ. **Neotropical Entomology**, Londrina, v. 34, n. 4, p. 639-648, 2005.

TORRES, C. A. S. et al. Infestação de cafeeiros por moscas-das-frutas (Diptera: Tephritidae): espécies associadas e parasitismo natural na região sudoeste da Bahia, Brasil. **Pesquisa Aplicada e Agrotecnologia**, Guarapuava, v. 3, n. 1, p. 135-142, 2010.

URAMOTO, K.; WALDER, J. M. M.; ZUCCHI, R. A. Flutuação populacional de moscas-das-frutas do gênero *Anastrepha Schiner*, 1868 (Díptera: Tephritidae) no Campus "Luiz de Queiroz", Piracicaba, São Paulo. **Arquivos do Instituto Biológico**, São Paulo, v. 70, n. 4, p. 459-465, 2003.

ZUCCHI, R. A. **Fruit flies in Brazil:** *Anastrepha* species their host plants and parasitoids. Disponível em: <http://www.lea.esalq.usp.br/anastrepha/>. Acesso em: 24 jul. 2014.

ZUCCHI, R. A. Taxonomia. In: MALAVASI, A.; ZUCCHI, R. A. (Ed.). **Moscas-das-frutas de importância econômica no Brasil:** conhecimento básico e aplicado. Ribeirão Preto: Holos, 2000. p. 13-24.

INCIDÊNCIA DA CERCOSPORIOSE EM FRUTOS DE CAFEEIRO: DIFERENTES DENSIDADES DE PLANTIO E MANEJOS DE IRRIGAÇÃO

Gabriel Brandão Vasco[1], Edson Ampélio Pozza[2], Myriane Stella Scalco[3], Leone Stabile Dias Santos[4], Adriano Augusto de Paiva Custódio[5], Mirian de Lourdes Oliveira e Silva[6]

(Recebido: 09 de dezembro de 2013; aceito: 22 de maio de 2014)

RESUMO: Objetivou-se, neste trabalho, avaliar a incidência da cercosporiose, em frutos de cafeeiro, sob diferentes manejos de irrigação e densidades de plantio. O estudo foi realizado na Universidade Federal de Lavras, no ano agrícola 2008/2009 e 2009/2010, sendo coletados 320 frutos por parcela. O delineamento experimental foi em blocos casualizados, com quatro repetições. Os tratamentos corresponderam pelas densidades de plantio de 2.500, 3.333, 5.000 e 10.000 plantas ha^{-1} e seis subparcelas: testemunha (T0), irrigações durante todo o ano, quando a tensão da água no solo atingiu valores de 20 e 60 kPa (T1 e T2), irrigações quando a tensão da água atingiu valores de 20 kPa e 60 kPa e suspensas durante os meses de julho e agosto ou quando o déficit hídrico foi superior a 100 mm (T3 e T4) e irrigações utilizando o software Irriplus (T5). A maior incidência da cercosporiose, na região de Lavras/MG, depende da pluviosidade e da distribuição de chuvas do ano agrícola. Na safra de 2009, a interação da irrigação com a densidade de plantio não foi significativa devido à boa pluviosidade nesse período. Houve maior incidência da doença nas densidades de plantio de 3.333 (19,58%) e 5.000 (18,06%) plantas ha^{-1}. Na safra 2010, ocorreu maior incidência da doença (35,50%) na testemunha, e a menor incidência nos tratamentos T4 (8,31%) e T5 (12,80%), na densidade de 2.500 plantas ha^{-1}.

Termos para indexação: *Cercospora coffeicola* Berk. & Cooke, manejos de irrigação, *Coffea arabica*.

BROWN EYE SPOT INCIDENCE IN FRUITS OF COFFEE: DIFFERENT DENSITY PLANTING AND WATER MANAGEMENTS

ABSTRACT: *The objective of this study was to evaluate the incidence of cercospora leaf spot, on coffee plant fruits, under different irrigation management and planting densities. The trial was carried out at the Federal University of Lavras in the agricultural year 2008/2009 and 2009/2010, and collected 320 fruits per plot. The experimental design was a randomized block with four replicates. The treatments correspond to the densities of 2,500, 3,333, 5,000 and 10,000 plants ha-1 and six subplots: control (T0), irrigation throughout the year when the soil water tension reached values of 20 and 60 kPa (T1 and T2), irrigation when water tension reached values of 20 kPa and 60 kPa and suspended during the months of July and August or when the water deficit was more than 100 mm (T3 and T4) and saw irrigation using software Irriplus (T5). The highest incidence of gray leaf spot, in Lavras/MG depends on the rainfall and rainfall distribution of the agricultural year. There was a significant interaction between irrigation management and planting density, only in the 2010 harvest. In the 2009 harvest, the interaction between irrigation and plant density was not significant due to good rainfall during this period. There was a higher incidence of the disease, on the densities of 3,333 (19.58%) and 5,000 (18.06%) plants ha-1. In the 2010, higher incidence (35.50%) of the disease in control (T0), and the lower incidence in treatments T4 (8.31%) and T5 (12.80%), on the density of 2.500 plants.ha-1.*

Index terms: *Cercospora coffeicola Berk. & Cooke, irrigation management, Coffea arabica.*

1 INTRODUÇÃO

A cafeicultura é uma das principais atividades agrícolas do Brasil, com produção estimada na safra 2013/2014 de 48 milhões de sacas de café (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB, 2014). Ela é plantada em todas as regiões do território brasileiro, devido entre outras inovações, ao uso da irrigação, responsável por possibilitar o plantio em regiões marginais ao seu cultivo e também por aumentar significativamente os ganhos de produção, até em áreas com disponibilidade de água (COELHO et al., 2009; LIMA et al., 2010).

Associa-se ao uso dessa tecnologia, o cultivo em reduzido espaçamento de plantio, com a finalidade de obter retornos econômicos mais rápidos e melhor utilização dos insumos agrícolas fornecidos via água de irrigação, reduzindo o custo de aplicação (PEREIRA et al., 2007, 2011).

[1]AGRICHEM do BRASIL S/A - Rua 14 n° 42 - 14.620-000 - Orlândia - SP - gabriel_b_vasco@hotmail.com
[2,6]Universidade Federal de Lavras/UFLA - Departamento de Fitopatologia/DFP - Cx. P. 3037 - 37.200-000 - Lavras - MG eapozza@dfp.ufla.br, misilva@deg.ufla.br
[3]Universidade Federal de Lavras/UFLA - Departamento de Engenharia/DEG - Cx. P. 3037 - 37.200-000 - Lavras - MG msscalco@dag.ufla.br
[4]DuPont do Brasil S/A - Rua Barbosa Lima n° 829, apto 404, bloco2 - 37.200-000 - Lavras - MG - leonesds@hotmail.com
[5]Instituto Agronômico do Paraná/IAPAR - Área de Proteção de Plantas/Fitopatologia Três Marcos - Rodovia Celso Garcia Cid, Km 375 - 86.047-902 - Londrina - PR - custodio@iapar.br

Como desvantagem, o uso da irrigação e do adensamento de plantio pode submeter a cultura a um microclima e também a desequíbrios nutricionais favoráveis a maior intensidade de doenças, entre elas a cercosporiose do cafeeiro, tanto nas folhas, quanto nos frutos (PAIVA et al., 2013).

Os sintomas da cercosporiose no fruto geralmente ocorrem quatro meses após a floração, causando lesões deprimidas de cor castanho-escuras, dispostas na direção do pedúnculo à coroa do fruto (POZZA; CARVALHO; CHALFOUN, 2010). Quando o patógeno infecta os frutos no estádio verde e verde-cana, ocorre amadurecimento precoce, favorecendo a perda de peso e sua queda prematura. Em frutos mais desenvolvidos, a casca adere ao pergaminho e isso dificulta o despolpamento (CARVALHO; CHALFOUN, 2000). Consequentemente, tais fatores podem ocasionar perdas na produtividade e na qualidade da bebida (LIMA et al., 2012).

A irrigação pode favorecer a absorção de nutrientes, que vão constituir-se em barreira de resistência contra a infecção de fitopatógenos, favorecendo maiores produtividades (MARSCHNER, 2012). Além disso, a associação da irrigação com o espaçamento de plantio pode proporcionar maior período de molhamento foliar e menor incidência solar, favorecendo a germinação de esporos de fungos (WAGGONER et al., 1987). Dessa forma, a interação da irrigação com o adensamento pode influenciar o hospedeiro e o ambiente, capazes de afetar tanto a infecção quanto a colonização do patógeno, podendo resultar em maior intensidade da doença.

Embora a cercosporiose seja importante para a cultura, poucos são os trabalhos que relacionam a influência da irrigação e da densidade de plantio no comportamento da cercosporiose nos frutos de café. Portanto, compreender os fatores ambientais favoráveis à ocorrência de doenças permitirá conhecer métodos alternativos de redução de perdas na lavoura, gerando informações relevantes sobre o manejo eficaz da água de irrigação e da densidade de plantio.

Sendo assim, objetivou-se, neste trabalho, avaliar a incidência da cercosporiose, em frutos de cafeeiro, sob diferentes manejos de irrigação e densidades de plantio.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado na área do Departamento de Agricultura, da Universidade Federal de Lavras, nas coordenadas latitude 21°14'S, longitude 45°00' W e altitude média de 918 m (DANTAS; CARVALHO; FERREIRA, 2007). As avaliações foram feitas em lavoura irrigada por gotejamento, em cultivar Rubi – MG 1192, de sete anos de idade, podada por método de esqueletamento e decote em 2007.

O delineamento experimental foi em blocos casualizados, com quatro repetições e os tratamentos dispostos em parcelas subdivididas. Cada subparcela foi composta por 10 plantas, sendo consideradas úteis as oito plantas centrais. As quatro densidades de plantio foram localizadas nas parcelas e as cinco técnicas de manejo de irrigação e a testemunha não irrigada foram distribuídas de modo aleatório nas subparcelas, totalizando 24 parcelas. Os tratamentos nas quatro parcelas corresponderam às densidades de plantio de 2.500, 3.333, 5.000 e 10.000 plantas ha^{-1}. Nas seis subparcelas foram dispostas: a testemunha (T0 - não irrigado); a irrigação durante todo o ano, quando a tensão da água no solo atingiu valores de 20 kPa (T1); a irrigação durante todo o ano, quando a tensão da água no solo atingiu valores de 60 kPa (T2); a irrigação quando a tensão da água no solo atingiu valores de 20 kPa, suspensas durante os meses de julho e agosto ou quando o déficit hídrico acumulado pelo balanço hídrico climatológico das áreas irrigadas atingiu valores superiores a 100 mm (T3); irrigação quando a tensão da água no solo atingiu valores de 60 kPa, suspensas durante os meses de julho e agosto ou quando o déficit hídrico acumulado pelo balanço hídrico climatológico das áreas irrigadas atingiu valores superiores a 100 mm (T4) e a irrigação utilizando o manejo do balanço hídrico climatológico – BHC (T5), calculado por meio do software Irriplus, com turnos de irrigação fixos de dois e três dias.

Foram coletados, em estação meteorológica automática µMetos®, instalada na área experimental, durante a condução do experimento, valores diários de temperatura máxima, média e mínima, umidade relativa do ar, radiação, precipitação, velocidade e direção do vento.

A cercosporiose em frutos de cafeeiro foi avaliada observando-se os sintomas e sinais da doença. A época de coleta foi no final do mês de maio dos anos agrícolas de 2008/2009 e 2009/2010, quando os frutos atingiram o estádio próximo à maturação fisiológica, correspondente ao fruto "cereja", utilizando o método destrutivo. Os frutos foram coletados aleatoriamente, em ramos plagiotrópicos do terço superior e médio da planta, totalizando 320 frutos por parcela, sendo

160 frutos por terço da planta. A incidência da cercosporiose foi obtida, a partir da relação do número de frutos com sintomas e o número total de frutos amostrados.

A análise dos resultados da incidência da cercosporiose em frutos de cafeeiro foi realizada no programa Sisvar® (FERREIRA, 2008) versão 4.0. O esquema adotado para análise de variância, de acordo com o delineamento experimental, foi em parcelas subdivididas. As análises foram feitas por ano agrícola, 2008/2009 e 2009/2010. Com a interação significativa entre as variáveis, realizaram-se os desdobramentos. Em seguida, as variáveis significativas no teste F foram comparadas, a 5% de probabilidade (p<0,05), utilizando-se o teste de agrupamento de Scott-Knott e Regressão.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

No ano agrícola 2008/2009, não houve interação significativa entre os manejos de irrigação e a densidade de plantio na incidência da cercosporiose em frutos. Somente foi significativa a variável densidade de plantio de maneira isolada. A alta precipitação registrada (922 mm), entre os meses de janeiro a julho de 2009 (Figura 1) além de suprir as necessidades hídricas da planta, reduziu o efeito da irrigação. Tendo suas necessidades hídricas supridas, consequentemente houve absorção de nutrientes, o que resultou no estabelecimento de barreiras de resistência ao fungo (MARSCHNER, 2012).

Estes resultados contrastam com os observados por Santos, Souza e Pozza (2004) e Talamini et al. (2001). Esses autores, estudando a incidência da cercosporiose em folhas e frutos em cafeeiros irrigados por gotejamento, com lâminas de irrigação de 0, 40, 60, 80 e 100% Evapotranspiração de Tanque Classe A (ECA), observaram maiores intensidades da cercosporiose, no tratamento não irrigado, comparado aos irrigados, devido ao fato da deficiência hídrica dificultar a absorção de nutrientes pelas plantas.

Para a variável densidade de plantio, houve diferença significativa e a maior incidência da doença ocorreu em 3.333 e 5.000 plantas ha^{-1} (Figura 2), com índices de 19,6 e 18,1% de frutos infectados, respectivamente. Provavelmente, nessas densidades ocorreu microclima favorável ao maior progresso da doença. A média da temperatura e da umidade relativa, externas à copa das árvores registradas na área experimental foram de 19,8°C e 83,7%, respectivamente (Figura 1), condições favoráveis à ocorrência da doença, segundo Pozza et al. (2010) e Zambolim, Vale e Zambolim (2005). Na menor densidade de plantio, provavelmente houve menor período de molhamento nos grãos, devido ao arejamento da copa, enquanto na maior densidade o maior enfolhamento não possibilitou a incidência do sol nos frutos, condição necessária para ativar a toxina cercosporina, fator ligado à maior intensidade da doença.

No ano agrícola 2009/2010, observou-se comportamento diferente do patossistema em relação ao ano anterior. Nesse ano agrícola (Figura 3), observou-se precipitação de 409,6 mm, no período de Janeiro a Julho de 2010, sendo 44,4% menor em relação ao ano agrícola 2008/2009. Essa redução tornou mais evidente o efeito da irrigação.

Neste ano agrícola, ocorreu interação significativa entre manejo de irrigação e densidade de plantio (Tabela 1). No desdobramento da densidade de plantio, ocorreu maior incidência da cercosporiose em frutos, com diferença significativa, somente na menor densidade de plantio, de 2.500 plantas ha^{-1}, em relação aos demais adensamentos.

Nesta densidade houve maior incidência da doença (35,50%) na testemunha (não irrigado) (Tabela 1), onde a quantidade de água aplicada foi dependente das precipitações e com isso, o efeito da irregularidade pode ter influenciado a incidência da doença (Tabela 2), devido à menor disponibilidade de nutrientes. Já a menor incidência ocorreu nos tratamentos T4 (8,31%) e T5 (12,88%) (Tabela 1), na qual a quantidade de água aplicada, 203,2 e 565,07 mm respectivamente (Tabela 2), favoreceu uma maior umidade no solo. Consequentemente, ocorreu uma maior absorção de nutrientes, influenciando na resistência das plantas. Esses resultados estão de acordo com os encontrados por Santos, Souza e Pozza (2004) e Talamini et al. (2001) que, trabalhando com a incidência da cercosporiose em plantas de cafeeiro irrigado por gotejamento, com lâminas de irrigação de 0, 40, 60, 80 e 100% ECA, observaram redução da área abaixo da curva de progresso da cercosporiose, em frutos de cafeeiro, com o aumento do fornecimento da lâmina de irrigação até 100% ECA, devido ao fato de a alta umidade do solo tornar os nutrientes disponíveis às plantas, constituindo barreiras de resistência (TAIZ; ZIEGER, 2013) e assim dificultando a infecção do patógeno.

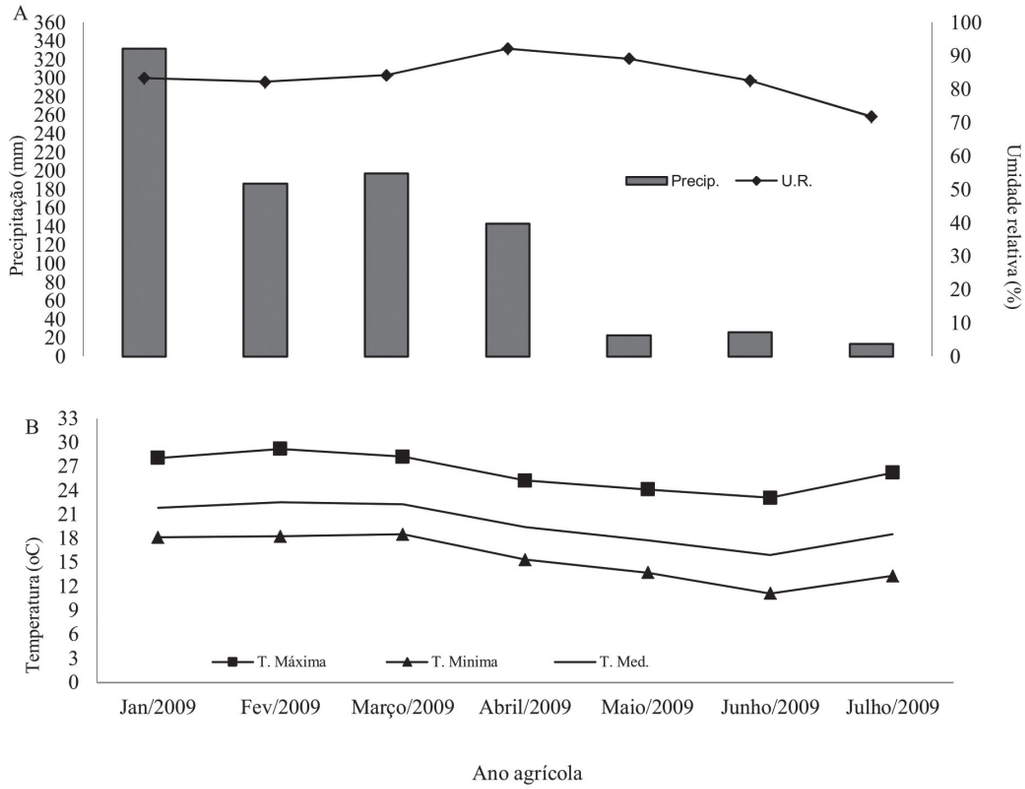

FIGURA 1 - Variáveis climatológicas mensais, entre os meses de janeiro a julho de 2009. UFLA, Lavras, MG, 2012.

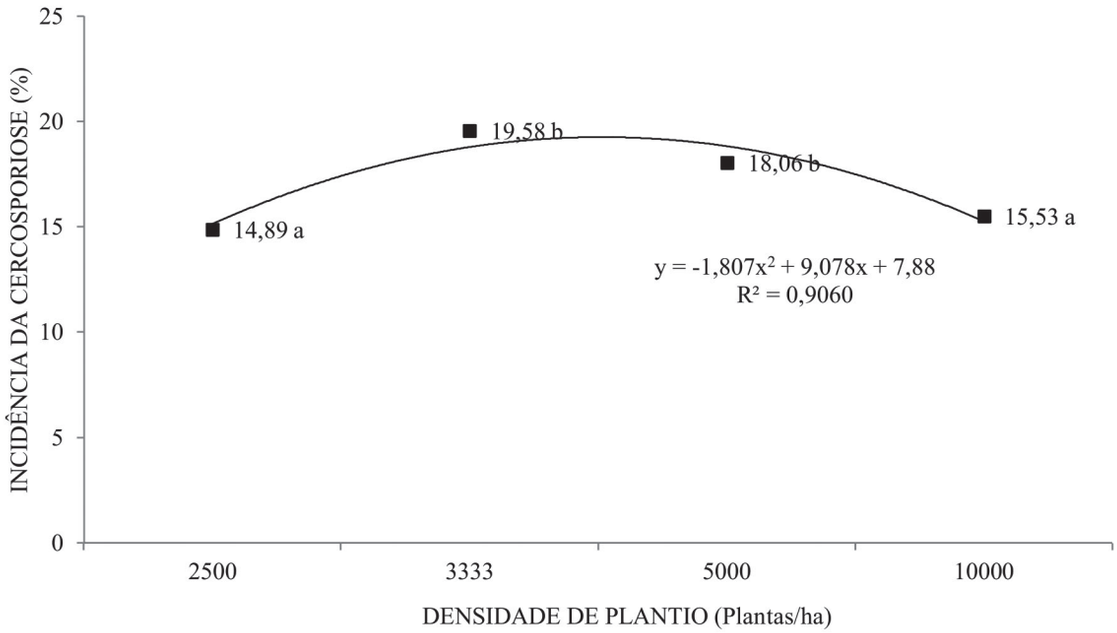

FIGURA 2 - Incidência (%) da cercosporiose em frutos de cafeeiro, em cada densidade de plantio, referente ao ano agrícola 2008/2009. UFLA, Lavras, MG, 2012.

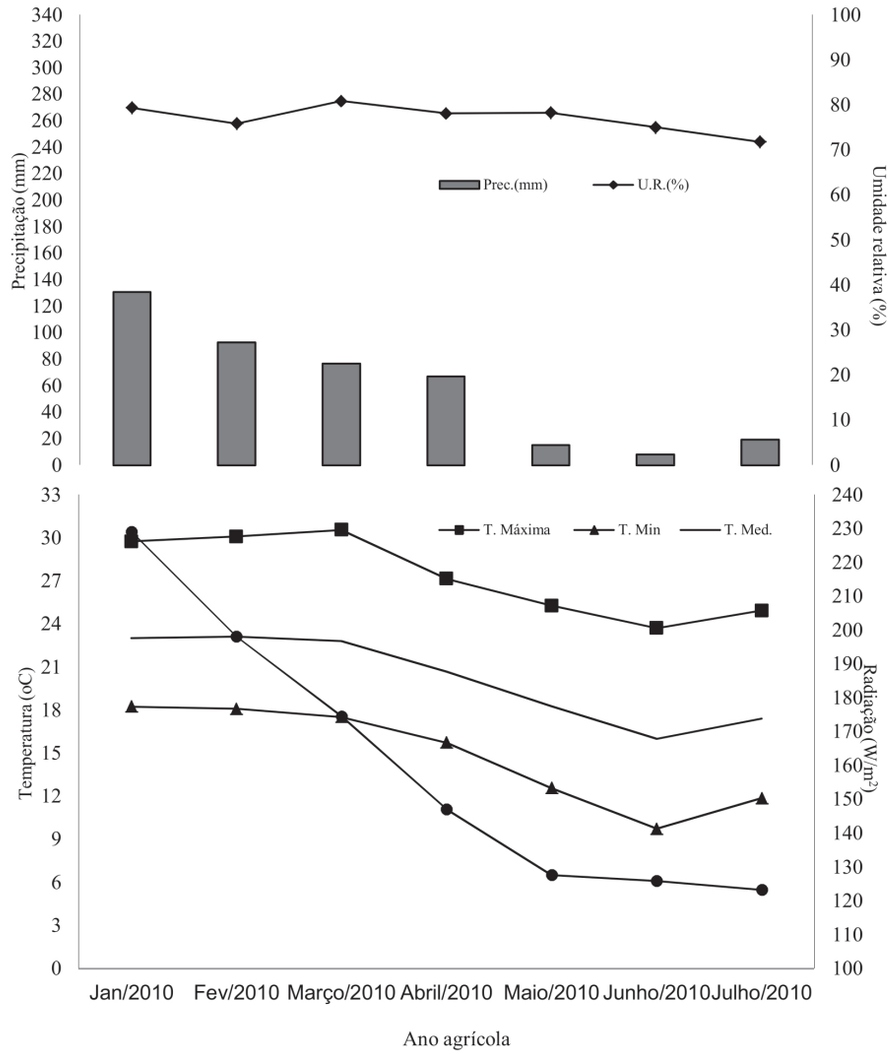

FIGURA 3 - Variáveis climatológicas mensais, entre os meses de janeiro a julho de 2010. UFLA, Lavras, MG, 2012.

TABELA 1 - Incidência em porcentagem (%) da cercosporiose, em frutos, na cultura do cafeeiro (*Coffea arabica*), nas diferentes densidades de plantio. UFLA, Lavras, MG, 2012.

MANEJO DE IRRIGAÇÃO	DENSIDADE DE PLANTIO (Plantas ha^{-1})			
	2500	3333	5000	10000
T0	35,50 a	16,63 a	13,81 a	9,75 a
T1	23,00 b	10,63 a	09,69 a	5,94 a
T2	17,06 b	12,44 a	14,31 a	5,94 a
T3	16,00 b	10,88 a	11,69 a	5,43 a
T4	08,31c	12,75 a	13,38 a	6,88 a
T5	12,88 c	07,63a	13,75 a	4,63 a

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

A menor incidência da doença nas densidades de plantio de 3.333, 5.000 e 10.000 plantas.ha^{-1} e em todos os manejos de irrigação (Figura 4), deve-se, provavelmente, à menor exposição dos frutos ao sol e ao melhor aproveitamento do solo, tanto de água quanto de nutrientes, pelas raízes no sistema com maior adensamento (BALIZA et al., 2012; PAVAN et al., 1994). Portanto, desequilíbrios nutricionais ou a deficiência de nutrientes nas plantas de cafeeiro favorecem a incidência da doença, estando de acordo com Baliza et al. (2012), Pavan et al. (1994) e Pozza et al. (2001).

Além dos desequilíbrios nutricionais ou da deficiência nas plantas, outro fator importante para ocorrência da doença é a insolação, menor nos cafeeiros mais adensados. Com isso, Echandi (1959) descreveu a relação existente entre *C. coffeicola* e a intensidade luminosa e, de acordo com Daub, Herrero e Chung (2005) e Salgado et al. (2007), espécies do gênero *Cercospora* produzem a toxina cercosporina, a qual é ativada na presença de alta intensidade luminosa. Essa toxina resulta em necrose da célula vegetal (DAUB; EHRENSHAFT, 2000). Segundo Paiva et al. (2013), o sombreamento de uma planta sobre a outra desfavorece a ocorrência da cercosporiose, devido à interceptação da energia luminosa. Observa-se, portanto, que a insolação é uma variável ambiental determinante para a ocorrência da cercosporiose em frutos de cafeeiro.

TABELA 2 - Lâmina de irrigação (mm) aplicada de acordo com o manejo de irrigação e densidade de plantio.

Manejo de Irrigação	Densidade de Plantio (Plantas ha^{-1})								Total
	2.500	3.333	5.000	10.000	2.500	3.333	5.000	10.000	
	2008/2009				2009/2010				
T0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
T1	265,3	345,2	511,8	587,5	392,6	305,9	511,8	669,2	3.589,3
T2	213,5	216,5	237,5	274,2	265,7	223,8	432,1	372,8	2.236,1
T3	222,2	246,5	378,0	465,0	312,2	235,1	407,3	522,1	2.788,4
T4	152,1	127,8	147,3	176,7	203,2	137,9	343,2	274,9	1.563,1
T5	246,8	269,8	292,8	427,9	565,7	645,2	738,3	741,0	3.927,5
Total	1.099,9	1.205,8	1.567,4	1.931,3	1.739,4	1.547,9	2.432,7	2.580,0	

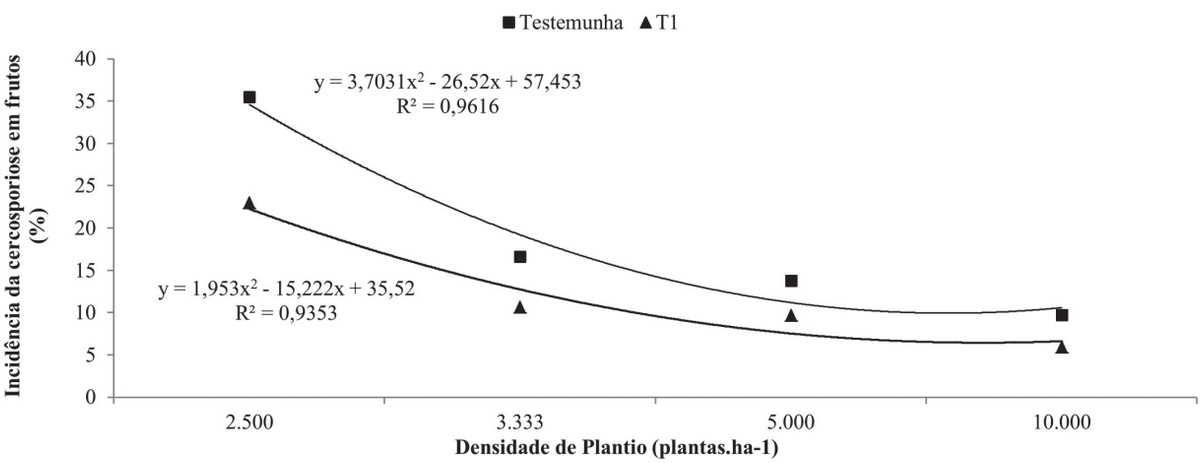

FIGURA 4 - Incidência (%) da cercosporiose em frutos de cafeeiro, na testemunha e no tratamento T1, nas diferentes densidades de plantio, referente ao ano agrícola 2009/2010. UFLA, Lavras, MG, 2012.

4 CONCLUSÕES

A maior incidência da cercosporiose em lavouras irrigadas na região de Lavras/MG depende da pluviosidade e da distribuição de chuvas do ano agrícola.

No ano agrícola 2008/2009, as densidades de plantio de 3.333 e 5.000 plantas.ha^{-1} possuem maior incidência da cercosporiose em frutos de café.

No ano agrícola 2009/2010, o tratamento não irrigado (testemunha) da densidade de plantio de 2.500 plantas.ha^{-1} possui maior incidência da cercosporiose em frutos de cafeeiro.

5 AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais – FAPEMIG e ao Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia do Café – INCT-Café, pelo auxílio financeiro e concessão de bolsas.

6 REFERÊNCIAS

BALIZA, D. P. et al. Physiological characteristics and development of coffee plants under different shading levels. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 7, n. 1, p. 37-43, 2012.

CARVALHO, V. L. de; CHALFOUN, S. M. **Doenças do cafeeiro:** diagnose e controle. Belo Horizonte: EPAMIG, 2000. 44 p.

COELHO, G. et al. Efeito de épocas de irrigação e de parcelamentos de adubação sobre a produtividade do cafeeiro 'Catuaí'. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 33, n. 1, p. 67-73, jan./fev. 2009.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira:** café, primeira estimativa, janeiro/2014. Brasília, 2014. 23 p.

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

DAUB, M. E.; EHRENSHAFT, M. The photo activated *Cercospora*toxin cercosporin: contributions to plant disease and fundamental biology. **Annual Review of Phytopathology**, Palo Alto, v. 38, n. 1, p. 461-490, 2000.

DAUB, M. E.; HERRERO, S.; CHUNG, K. Photo activated perylene quinone toxins in fungal pathogenesis of plants. **FEMS Microbiology Letters**, London, v. 252, n. 1, p. 197-206, 2005.

ECHANDI, E. La chasparria de los cafetos causada por El hongo *Cercospora coffeicola* Berk. & Cooke. **Turrialba**, San José, v. 9, n. 2, p. 54-67, 1959.

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

LIMA, L. M. et al. Relação nitrogênio/potássio com mancha de phoma e nutrição de mudas de cafeeiro em solução nutritiva. **Tropical Plant Pathology**, Lavras, v. 35, n. 4, p. 223-228, 2010.

LIMA, L. M. et al. Relationship between incidence of brown eve spot of coffee cherries and chemical composition of coffee beans. **Journal of Phytopathology**, Berlin, v. 160, p. 209-211, 2012.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 3rd ed. New York: Academic, 2012. 651 p.

PAIVA, B. R. T. L. et al. Progresso da cercosporiose do cafeeiro sob diferentes manejos de irrigação e de densidades de plantio. **Coffee Science**, Lavras, v. 8, n. 2, p. 166-175, 2013.

PAVAN, M. A. et al. Produção de café em função da densidade de plantio, adubação e tratamentos fitossanitários. **Turrialba**, San José, v. 44, n. 3, p. 227-231, 1994.

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

PEREIRA, S. P. et al. Growth, productivity and bienniality of coffee plants according to cultivation spacing. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 46, n. 1, p. 152-160, jan. 2011.

POZZA, A. A. A. et al. Influência da nutrição mineral na intensidade da mancha-de-olho-pardo em mudas de cafeeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, n. 1, p. 53-60, jan. 2001.

POZZA, E. A.; CARVALHO, V. L.; CHALFOUN, S. M. Sintomas de injúrias causadas por doenças em cafeeiro. In: GUIMARÃES, R. J. et al. (Ed.). **Semiologia do cafeeiro:** sintomas de desordens nutricionais, fitossanitárias e fisiológicas. Lavras: UFLA, 2010. p. 69-101.

SALGADO, B. G. et al. Progresso da ferrugem e da cercosporiose do cafeeiro consorciado com grevílea, com ingazeiro e a pleno sol em Lavras, MG. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 3, p. 1067-1074, maio/jun. 2007.

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

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2013. 954 p.

TALAMINI, V. et al. Progresso da ferrugem e da cercosporiose do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) em diferentes lâminas de irrigação e diferentes parcelamentos de adubação. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 25, n. 1, p. 55-62, jan./fev. 2001.

WAGGONER, P. E. et al. Defoliation, disease, and growth. Phytopathology, Saint Paul, v. 77, p. 393-398, 1987.

ZAMBOLIM, L.; VALE, F. X. R. do; ZAMBOLIM, E. M. Doenças do cafeeiro (*Coffea arabica* e C. canephora). In: KIMATI, H. et al. (Ed.). **Manual de fitopatologia:** doenças de plantas cultivadas. 4. ed. São Paulo: Agronomica Ceres, 2005. v. 2, p. 165-180.

DISPONIBILIDADE HÍDRICA NO SOLO NO DESENVOLVIMENTO INICIAL DO CAFEEIRO CONILON

Rogério Rangel Rodrigues[1], Samuel Cola Pizetta[2], Edvaldo Fialho dos Reis[3], Giovanni de Oliveira Garcia[4]

(Recebido: 20 de dezembro de 2013; aceito: 02 de julho de 2014)

RESUMO: Estresses abióticos como a seca podem reduzir significativamente o rendimento do cafeeiro conilon (*Coffea canephora* Pierre ex Froehner). Assim, objetivou-se avaliar a influência da fração de água disponível no solo sobre o desenvolvimento inicial do cafeeiro conilon, trabalhando com diferentes disponibilidades hídricas. O experimento foi conduzido em casa de vegetação do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo, em Alegre, ES, em esquema de parcelas subdivididas 4 x 5, havendo nas parcelas quatro níveis de déficit hídrico (100, 50, 30 e 10% da água disponível no solo), e nas subparcelas cinco épocas de avaliações (1º, 30º, 60º, 90º e 120º dia, após o início do déficit hídrico), em um delineamento inteiramente casualizado, com quatro repetições. As variáveis avaliadas foram: matéria da parte aérea seca, matéria do sistema radicular seco, altura das plantas e área foliar. Objetivando-se avaliar a recuperação das plantas após déficit hídrico, as mesmas foram mantidas, por 30 dias, com umidade do solo próxima à capacidade de campo. Os melhores resultados de desenvolvimento inicial do cafeeiro conilon foram encontrados quando se utilizaram os níveis de 100 e 50% da água disponível no solo, não diferindo entre si, porém diferindo dos níveis de 30 e 10% da água disponível. O cafeeiro submetido a maiores períodos de déficit hídrico apresentou perdas significativas no desenvolvimento inicial, comprometendo o processo de recuperação das plantas após déficit.

Termo para indexação: *Coffea canephora*, irrigação, estresse hídrico.

AVAILABILITY SOIL WATER IN THE INITIAL CONILON COFFEE DEVELOPMENT

ABSTRACT: *Abiotic stresses such as drought can significantly reduce the yield conilon coffee (Coffea canephora Pierre ex Froehner). The objective was to evaluate the influence of the fraction of available soil water on the initial development conilon coffee, evaluating with different water availability. The trial was carried out in the greenhouse of the Agricultural Science Center, Federal University of Espírito Santo, Alegre, ES, in a split-plot 4 x 5, and the plots with four levels of water deficit (100, 50, 30 and 10 % of available water in the soil), and the subplot with five assessment times (1, 30, 60, 90 and 120 days after onset of drought) in a completely randomized design with four replicates. The parameters evaluated were: matter of shoot dry, matter of the root system dry, plant height and leaf area. To evaluate the recovery of plants after drought, they are kept for 30 days with soil moisture close to field capacity. The best results of initial development conilon coffee were found when using the levels of 100 and 50% of available water in the soil there were no differences among them, however, differing from 30 to 10% of available water. Coffee subjected to longer periods of drought, significant losses in the initial development, undermining the recovery process after the plants deficit.*

Index terms: *Coffea canephora, irrigation, water stress.*

1 INTRODUÇÃO

O estado do Espírito Santo é o segundo maior produtor brasileiro de café e o maior produtor de café Conilon (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB, 2013). Porém, a produção de café poderia ser mais expressiva, caso condições desfavoráveis ao cultivo não ocorressem, particularmente o suprimento de água.

Assim, torna-se necessário estudar quando e quanto aplicar de água durante o cultivo do cafeeiro, proporcionando condições para que as plantas não sofram estresse ou excesso hídrico. No entanto, um dos problemas na irrigação do cafeeiro é quantificar adequadamente o volume de água a ser aplicado, por determinado método de irrigação, nos períodos críticos da cultura.

Alguns índices, que expressam a quantidade de água armazenada no solo, têm sido utilizados para estudar o efeito do déficit hídrico sobre as plantas, tais como: a quantidade total de água armazenada (QTA), a capacidade de armazenamento de água disponível (CAD), a fração de água disponível (FAD) e a fração de água transpirável no solo (FATS) (MARTINS et al., 2008).

O conceito de FAD, por depender basicamente da taxa de uso da água e das propriedades do solo, as quais podem ser determinadas com maior facilidade nas culturas a campo, apresenta vantagem em relação aos demais índices (SANTOS; CARLESSO, 1998).

[1]Rua Wilson Rangel da Silva, n° 86 - Bairro Alto Universitário - 29.500-000 - Alegre - ES - rogeriorr7@hotmail.com
[2]Rua Isaias Gomes de Oliveira, nº 238, apto201 - Bairro Jardim Fabiana - 37.2200-000- Lavras - MG - scpizetta@hotmail.com
[3,4]Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo/CCA-UFES- Departamento de Engenharia Rural/DER Cx. P. 16 - Alegre- ES- edreis@cca.ufes.br, giovanni.garcia@ufes.br

Sendo a umidade do solo um dos fatores que limitam a produtividade agrícola, é preciso intensificar os estudos sobre a melhor época de irrigação, o método mais eficiente, bem como a quantidade de água efetiva que proporciona melhor desenvolvimento da cultura, racionalizando tanto o recurso hídrico, quanto o custo de produção. O comportamento do cafeeiro submetido ao déficit hídrico tem sido estudado (DAMATTA; RAMALHO, 2006; FREIRE et al., 2013; REZENDE; FARIA; MIRANDA, 2009; SILVA et al., 2010) em diversas regiões, buscando entender as relações dessa cultura com o estresse hídrico.

Levando em consideração esses aspectos, objetivou-se, com este trabalho, quantificar o impacto do manejo da água disponível no solo sobre o desenvolvimento inicial do cafeeiro Conilon, variedade Robusta Tropical.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido em casa de vegetação, instalada na área experimental do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo (CCA-UFES), localizada no município de Alegre-ES, latitude 20º45'48" Sul, longitude 41º29' 27" Oeste e altitude de 123 m.

Foram utilizadas mudas de *Coffea canephora* var. *robusta* (L. Linden) A. Chev. -Tropical (EMCAPER 8151 – Robusta Tropical).

O solo utilizado foi um Latossolo Vermelho-Amarelo Eutrófico, sendo destorroado, passado em peneira de 4 mm e homogeneizado. A aplicação de adubos químicos foi realizada seguindo as recomendações básicas para a cultura do café. Foram realizadas análises química e físico-hídrica do solo utilizado no experimento. Na análise físico-hídrica do solo determinou-se: a umidade do solo na capacidade de campo (CC), na tensão de 0,01 MPa (28,57%); o ponto de murcha permanente (PMP) , na tensão de 1,5 MPa (13,24%); granulometria (areia, silte e argila), densidade do solo (1,03 Kg dm^{-3}), densidade de partícula (2,63 Kg dm^{-3}) e porosidade total (0,608 m^{-3} m^{-3}).

O experimento foi montado num esquema de parcelas subdivididas 4 x 5, sendo nas parcelas quatro níveis de água disponível (100, 50, 30 e 10% da água disponível), e nas subparcelas cinco épocas de avaliações (1º, 30º, 60º, 90º e 120º dia após início do déficit hídrico), em um delineamento inteiramente casualizado, com quatro repetições. O déficit hídrico foi iniciado 30 dias após plantio, para permitir o estabelecimento das plantas. Objetivando avaliar a recuperação das plantas após déficit hídrico, foram mantidas quatro plantas, por tratamento. Após período de déficit hídrico, as mesmas foram irrigadas diariamente por mais trinta dias, sendo avaliadas no final desse período.

Para a realização das irrigações, foi necessário determinar o peso de cada parcela experimental na capacidade de campo, sendo o peso na capacidade de campo inicial (P_{cci}). Após o plantio, todos os vasos foram saturados com água e deixados em drenagem livre até atingirem a umidade na capacidade de campo.

Após a determinação do P_{cci} de cada parcela experimental, foi calculada a lâmina de irrigação (L_I) correspondente às águas disponíveis ($AD_{50\%}$, $AD_{30\%}$ e $AD_{10\%}$). Para isso, foi determinada a água disponível do solo (AD), considerando os valores de umidade volumétrica na capacidade de campo (CC = 0,01 MPa) e no ponto de murcha permanente (PMP = 1,5 MPa), utilizando-se a Equação 1 (CENTURION; ANDREOLI, 2000).

$$AD = CC - PMP$$

Em que: AD – água disponível, % em peso; CC – Capacidade de campo, % em peso; e PMP – Ponto de murcha permanente, % em peso.

A partir da água disponível, foram estabelecidas as umidades do solo correspondentes às águas disponíveis de 50%, 30% e 10% ($AD_{50\%}$, $AD_{30\%}$ e $AD_{10\%}$), sendo utilizadas no cálculo da lâmina de irrigação (L_I). No tratamento sem déficit ($AD_{100\%}$), ou seja, umidade do solo mantida próxima à capacidade de campo, a irrigação foi realizada diariamente.

As lâminas de irrigação (L_I), que foram aplicadas para elevar o teor de umidade do solo (Ua) à capacidade de campo nos níveis de água disponível de 50%, 30% e 10%, foram calculadas pela Equação 2 (HASSANLI; AHMADIRAD;

$$L_I = \left(\frac{\theta_{CC} - \theta_{atual}}{10} \right) * Ds * h$$

Em que: L_I - lâmina de irrigação em mm; θ_{cc} – umidade na capacidade de campo, % em em peso; θ_{atual} – umidade atual do solo relativo às águas disponíveis ($AD_{50\%}$, $AD_{30\%}$ e $AD_{10\%}$), % em peso; Ds – densidade do solo, em g/cm^3; e h – altura de solo utilizado no vaso, em cm.

Para transformar a lâmina de irrigação (L_I) em volume (mL/vaso), foi multiplicada a L_I pela área útil do vaso (0,058 m²).

Ao final da tarde de cada dia, todas as parcelas foram pesadas em balança eletrônica, repondo a água ao peso inicial (peso na capacidade de campo - P_{cci}) diariamente para as plantas mantidas com umidade do solo de 100% da AD e repondo a água sempre que a umidade do solo atingisse a umidade correspondente a 50, 30 e 10% da água disponível no solo.

Cada vaso foi revestido com papel branco para reduzir a absorção de radiação solar para minimizar o aquecimento do solo, a fim de reduzir o erro experimental.

As variáveis avaliadas foram: matéria da parte aérea seca, matéria do sistema radicular seco; altura das plantas e área foliar. A área foliar foi determinada pelo método de Barros et al. (1973), sendo essas medições realizadas a cada sete dias, medindo-se as folhas que apresentavam, pelo menos, 1cm de comprimento.

As avaliações destrutivas foram realizadas a cada 30 dias, sendo: no 1° dia (para identificar o início do experimento), 30º, 60°, 90° e 120° dia após início do déficit hídrico. A biomassa foi obtida em estufa a 65 ~ 70 °C, por 72 horas.

Os tratamentos foram estudados mediante análises de variância, aplicando-se regressão para os tratamentos a 5% de probabilidade. Para avaliar a resposta das plantas após déficit hídrico, foi aplicado teste de Dunnett, a 5% de probabilidade. Todas as análises foram realizadas com o auxílio de software estatístico.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ao se estudar o fator época de avaliação dentro de cada nível do fator déficit hídrico, para a variável matéria da parte aérea seca (Figura 1A), observa-se que, na primeira época de avaliação (EA1), em que todas as plantas ainda não haviam sido submetidas à redução da disponibilidade hídrica no solo, essa variável foi, em média, 0,93g ($\overline{Y} = 0{,}9$ g) para todos os níveis de déficit.

No entanto, ao se avaliarem as plantas no 30º, 60º, 90º e 120º dia após início do déficit, observa-se um ganho de matéria seca do cafeeiro, porém, ocorreu perda de matéria seca à medida que a disponibilidade de água no solo foi reduzida, observando uma maior diferença no 120º dia de avaliação, quando as plantas foram avaliadas ao passarem por esse período. No 120º dia de avaliação, houve redução de 37,96% da matéria seca, quando se utilizou disponibilidade hídrica até 10%, em relação à de 100% da AD.

Ao se avaliarem as disponibilidades hídricas nas épocas de avaliação (Figura 1B), nota-se um comportamento quadrático para essa variável. Contudo, percebe-se maior diferença no ganho final de matéria seca.

Oliveira, Pizetta e Reis (2012), ao avaliarem a influência de diferentes disponibilidades hídricas no desenvolvimento inicial do cafeeiro conilon Robusta Tropical, observaram que o ganho de matéria fresca e seca da parte aérea apresentou resultados não significativos, quando se utilizou até 40% da água disponível no solo. Porém, apresentaram redução drástica da biomassa, quando se utilizou até 10% da água disponível. Para a variável matéria do sistema radicular seco, observa-se na Figura 2A e B, que o comportamento dessa variável foi quadrático, nos diferentes níveis de água disponível e nas diferentes épocas de avaliações.

Na primeira época de avaliação (EA1), as plantas apresentaram, em média, 0,55g ($\overline{Y} = 0{,}5$ g) de matéria do sistema radicular seco (Figura 2A). Contudo, é observada uma redução dessa variável com a diminuição da água disponível no solo, atingindo valor médio máximo de 16,20g no 120º dia de avaliação, no nível de 100% e reduzindo até o nível de 10% da água disponível, em que se obteve ganho de matéria seca de raiz de 8,84g, ou seja, 45,43% inferior ao nível 100% da água disponível.

Porém, observa-se que, em todas as épocas de avaliações, os níveis de 100 e 50% da água disponível apresentaram resultados semelhantes para essa variável, demonstrando eficiência no uso da água pelo sistema radicular do cafeeiro conilon, variedade Robusta Tropical.

A matéria do sistema radicular seco do cafeeiro aumentou com o aumento das épocas de avaliações, apresentando maior ganho no 120º dia, quando se utilizou 100% da água disponível (Figura 2B). Esse comportamento era de se esperar, pois as plantas estão em fase de crescimento, e mesmo com certa restrição hídrica, há incremento no crescimento do cafeeiro, porém, inferior naquelas submetidas às maiores restrições hídricas.

A menor produção de raízes pelo cafeeiro sob déficit hídrico influenciará o volume de solo explorado, pois segundo Shao et al. (2008), o déficit hídrico provoca alterações na distribuição e atividade do sistema radicular, variando assim a disponibilidade de água para as plantas de acordo com as habilidades das mesmas em expandir ou aprofundar o sistema radicular para explorar um volume maior de solo.

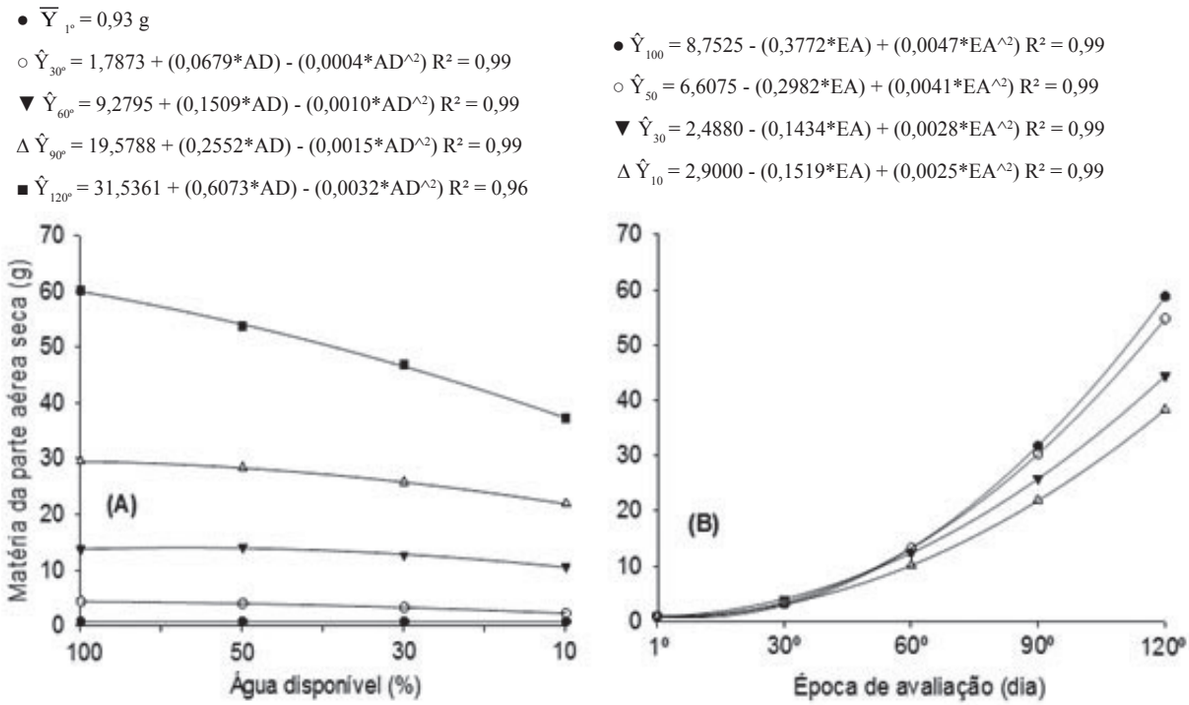

FIGURA 1 - A - Matéria da parte aérea seca, em função da água disponível no solo (100, 50, 30 e 10%), para cada época de avaliação e B - em função das épocas de avaliações (1º; 30º; 60º; 90º e 120º dia após início do déficit), para cada nível de água disponível em estudo.

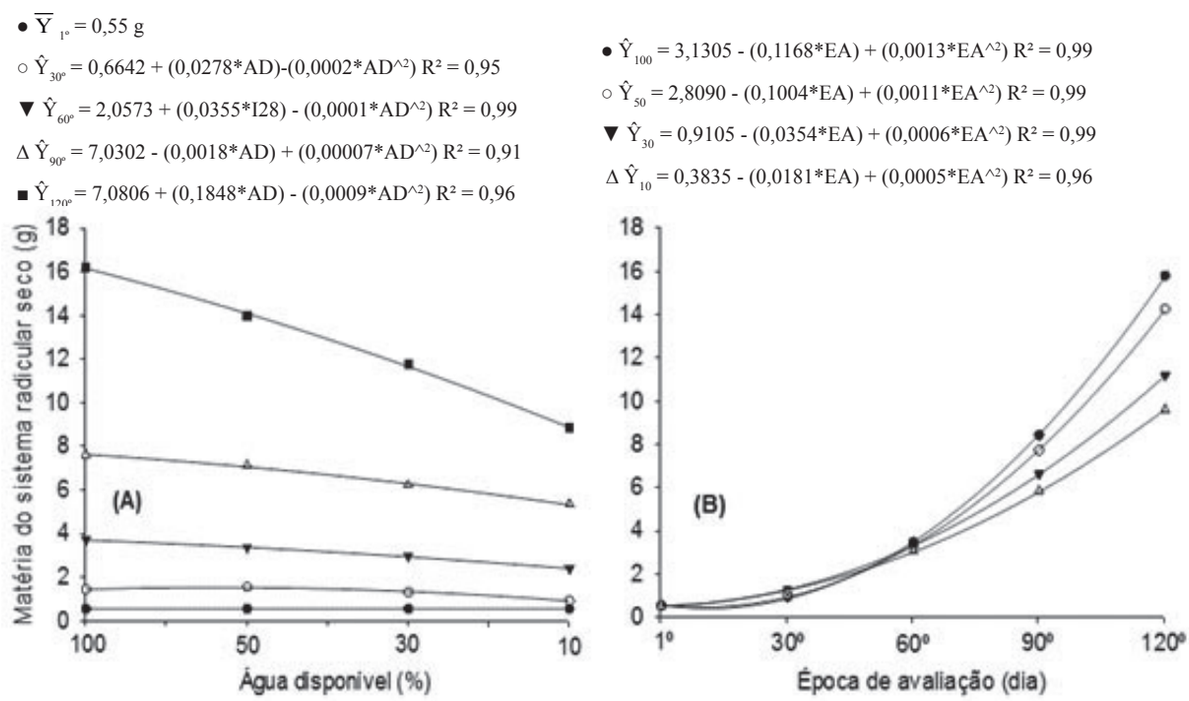

FIGURA 2 - A - Matéria do sistema radicular seco em função da água disponível no solo (100, 50, 30 e 10%), para cada época de avaliação e B - em função das épocas de avaliações (1º; 30º; 60º; 90º e 120º dia após início do déficit), para cada nível de água disponível em estudo.

A altura do cafeeiro conilon, apresentado na Figura 3A e B, foi comprometida com a redução da disponibilidade hídrica nas diferentes épocas de avaliações.

Na primeira época de avaliação (EA1), as plantas de todos os tratamentos apresentaram altura média de 11,7cm ($\overline{Y} = 11,7g$) (Figura 3A). A altura foi sendo comprometida com o aumento da restrição hídrica até 10% da água disponível, apresentando um comportamento quadrático para a variável altura.

No entanto, as disponibilidades hídricas de 100 e de 50% apresentaram resultado semelhante para ganho de altura, sendo a diferença entre os tratamentos mais expressiva nos níveis de 30% e de 10% da água disponível. Assim, com a redução do fator de disponibilidade hídrica, houve uma maior redução na altura do cafeeiro conilon, demonstrando sensibilidade da cultura a níveis mais baixos de água disponível no solo.

A altura do cafeeiro apresentou um comportamento linear com o aumento das épocas de avaliação (Figura 3B). Porém, percebe-se que, logo no 30º dia de avaliação, a altura começou a ser reduzida para os déficits de 30 e 10% da água disponível, tendo essa diferença aumentada com o aumento das épocas de avaliação, ou seja, com a restrição hídrica prolongada. No 30º dia, a diferença de ganho de altura foi de 10,26% menor no déficit de 10%, em relação ao de 100%, e essa diferença foi aumentando até no 120º dia de avaliação, em que pode ser observada uma diferença de 27,35% entre eles.A área foliar do cafeeiro conilon, na primeira época de avaliação (EA1), foi, em média, de 106,57cm² ($\overline{Y} = 106,57\ cm^2$) (Figura 4 A). Porém, há redução da área foliar à medida que a disponibilidade hídrica é reduzida, observando-se maiores reduções com o prolongamento da diminuição da água disponível no solo, sendo que, no 120º dia de avaliação (EA120 – relativo a 120 dias de déficit), a redução foi de 62,59% para a disponibilidade hídrica de 10%, em relação ao de 100% da água disponível.

A importância da irrigação no desenvolvimento inicial do cafeeiro também foi observado por Santana, Oliveira e Quadros (2004), que, estudando o desenvolvimento inicial do cafeeiro arábica, cultivares IAPAR-59 e obatã, constataram que as plantas submetidas ao tratamento com irrigação apresentaram valores da altura significativamente superior às plantas submetidas aos tratamentos sem uso de irrigação.

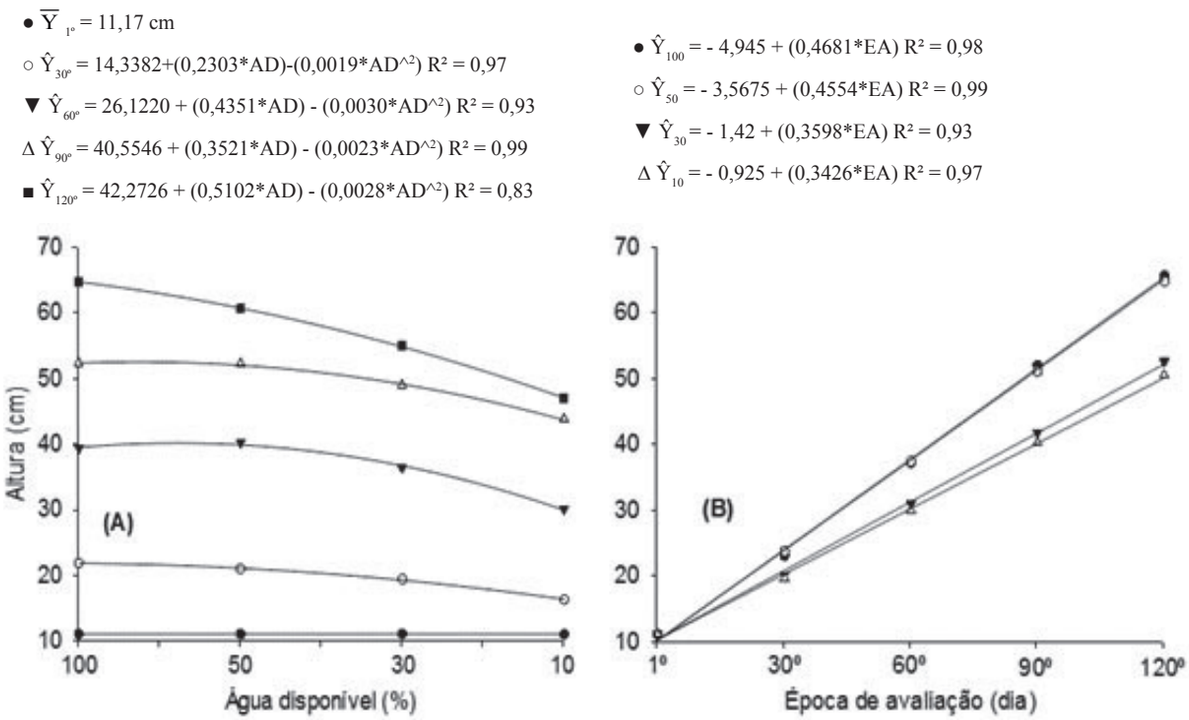

FIGURA 3 - A - Altura em função da água disponível no solo (100, 50, 30 e 10%), para cada época de avaliação e B - em função das épocas de avaliações (1º; 30º; 60º; 90º e 120º dia após início do déficit), para cada nível de água disponível em estudo.

Na Figura 4B, pode-se observar um crescimento quadrático para as disponibilidades hídricas de 100% e 50% e um crescimento linear para as de 30% e 10% da água disponível. As maiores diferenças de área foliar ocorreram após o 60º dia de avaliação.

No entanto, nas épocas de avaliações, é observado que os níveis de 100 e 50% da água disponível apresentaram resultados semelhantes para ganho em área foliar.

Dardengo, Reis e Passos (2009), estudando a influência da disponibilidade hídrica no crescimento inicial do cafeeiro conilon, também encontraram menores valores de área foliar com a redução da água disponível no solo. Fialho et al. (2010), estudando o comportamento de plantas de café arábica submetido ao déficit hídrico aos 30, 60, 90 e 120 dias após plantio, observaram que a área foliar foi comprometida, quando o déficit hídrico foi aplicado aos 30, 60 e 90 dias, não sendo significativo aos 120 dias após plantio.

3.1 Período de Recuperação Após o Déficit Hídrico

A matéria da parte aérea seca (Figura 5) do cafeeiro teve resposta satisfatória de recuperação, em que os tratamentos não diferiram no 30º e 60º dia de avaliação, apresentando média geral de 13,20g e de 26,18g, respectivamente. Entretanto, no 90º dia de avaliação, o cafeeiro conilon teve essa variável comprometida na disponibilidade hídrica de 10% da água disponível. Essa resposta fica ainda mais comprometida no 120º dia de avaliação, tendo o cafeeiro conilon a recuperação dessa variável comprometida na disponibilidade hídrica de 30 e 10%, em relação ao déficit de 100% da água disponível.

A disponibilidade hídrica de 50% da água disponível não comprometeu o desenvolvimento do cafeeiro, sendo estatisticamente igual ao déficit de 100% da água disponível.

Araujo et al. (2011), ao estudarem a influência do déficit hídrico no desenvolvimento de duas cultivares de café conilon, observaram que, plantas mais desenvolvidas apresentaram melhores respostas ao déficit hídrico, em relação às mais novas.

Observa-se na Figura 6, que no 30º e 60º dia de avaliação houve recuperação da matéria do sistema radicular seco, à semelhança da disponibilidade hídrica de 100%, não diferindo entre os tratamentos. Porém, no 90º e 120º dia de avaliação, essa variável é comprometida, não se recuperando para os níveis de 30 e 10%, em relação ao de 100% da água disponível.

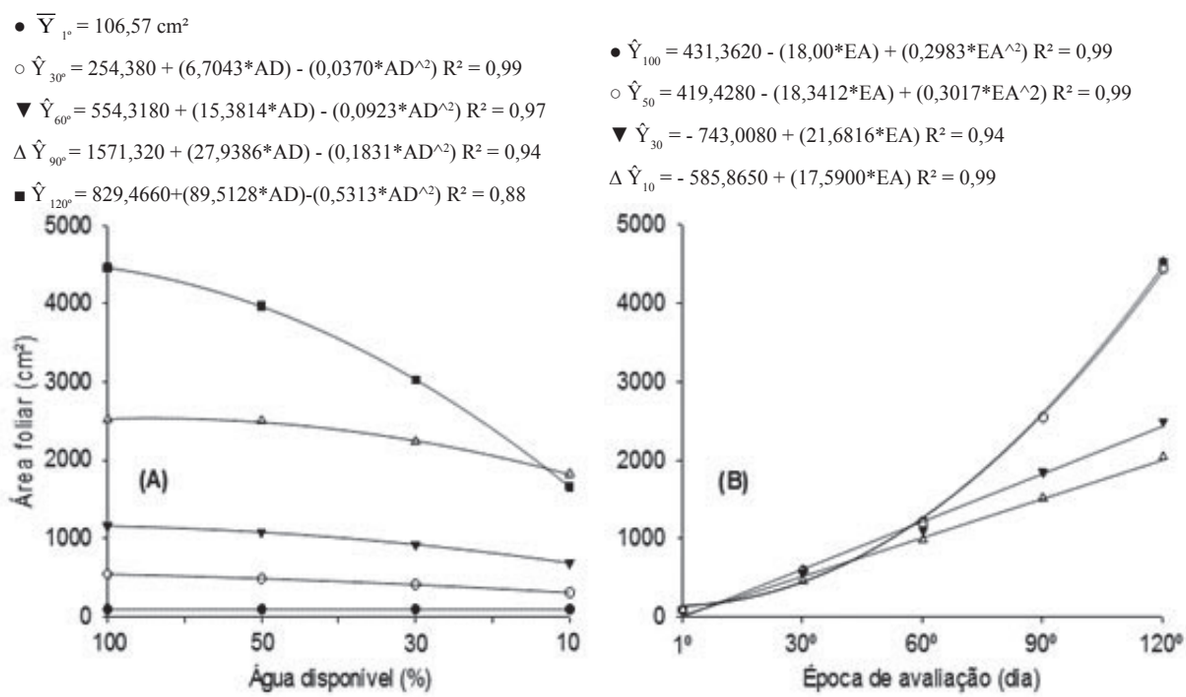

FIGURA 4 - A) Área foliar em função da água disponível no solo (100, 50, 30 e 10%), para cada época de avaliação e B) em função das épocas de avaliações (1º; 30º; 60º; 90º e 120º dia após início do déficit), para cada nível de água disponível em estudo.

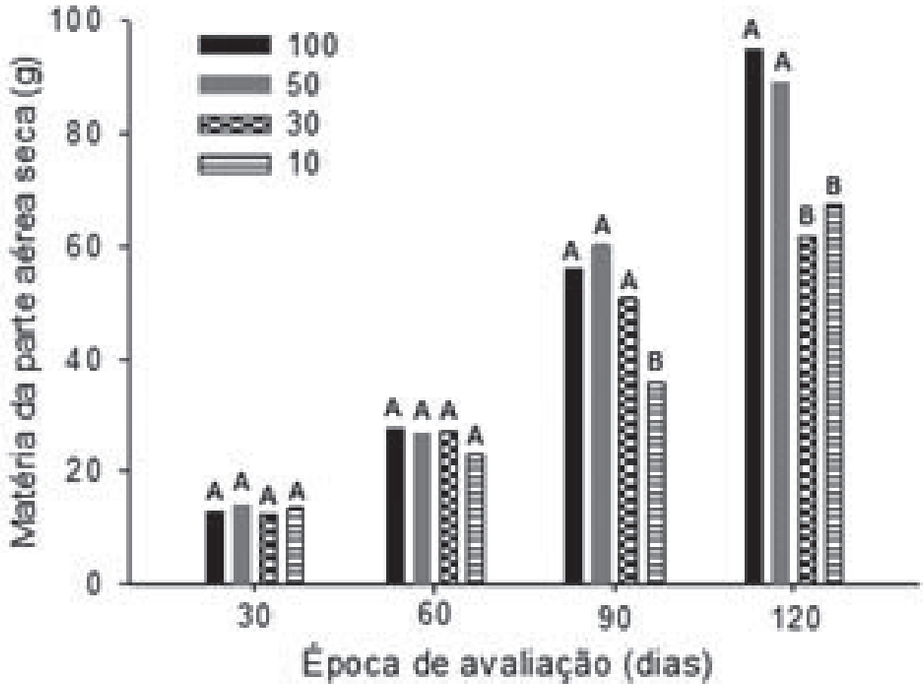

FIGURA 5 - Matéria da parte aérea seca em função da água disponível no solo (100, 50, 30 e 10%), para cada época de avaliação (30º, 60º, 90º e 120º dia após déficit hídrico).Médias seguidas da mesma letra não diferem significativamente entre si, pelo teste de Dunnett (p<0,05).

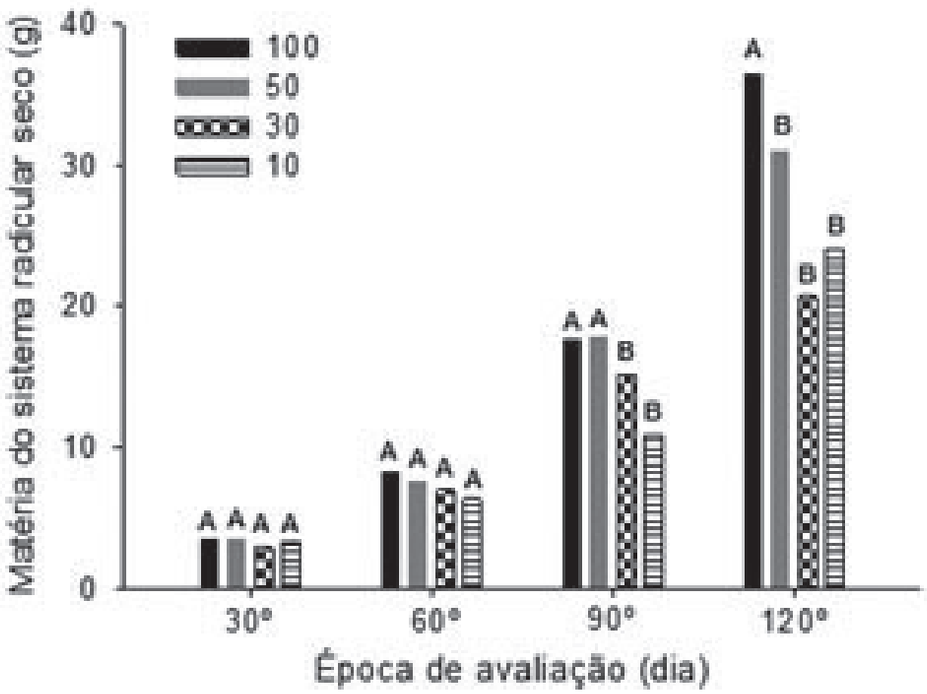

FIGURA 6 - Matéria do sistema radicular seco, em função da água disponível no solo (100, 50, 30 e 10%), para cada época de avaliação (30º, 60º, 90º e 120º dia, após déficit hídrico).Médias seguidas da mesma letra não diferem significativamente entre si, pelo teste de Dunnett (p<0,05).

Diferentemente da matéria da parte aérea seca, o nível de 50% da água disponível, no 120º dia de avaliação, comprometeu significativamente a produção da matéria do sistema radicular seco, em relação ao de 100% da água disponível. Com isso, é preciso verificar as reais necessidades hídricas do cafeeiro conilon, visando entender melhor os diferentes níveis de água disponíveis, necessários ao desenvolvimento inicial da cultura.

Fialho et al. (2010), ao estudarem o comportamento do cafeeiro arábica, submetido ao déficit hídrico durante o desenvolvimento inicial, trabalhando com diferentes épocas de aplicação de estresse hídrico, observaram que plantas mais desenvolvidas apresentaram resposta superior àquelas menos desenvolvidas, corroborando com os dados encontrados neste trabalho.

A altura do cafeeiro conilon (Figura 7) teve recuperação satisfatória no 30º e 60º dia de avaliação, não diferindo estatisticamente para todos os níveis de água disponível no solo, apresentando resultados estatisticamente não significativos, tendo como média geral 33,56 cm e 50,82 cm de altura, respectivamente.

Porém, no 90º dia de avaliação, as plantas submetidas à disponibilidade hídrica de 10% da água disponível tiveram resultado significativo, não conseguindo se recuperar, quando comparadas àquelas mantidas com umidade do solo próxima a 100% da água disponível.

No 120º dia de avaliação, os níveis de 30% e de 10% da água disponível tiveram a altura comprometida significativamente, não se recuperando quando comparados a 100% da água disponível.

Busato et al. (2007) encontraram menores alturas para o cafeeiro conilon quando submetidos a menores níveis de água disponível no solo, ressaltando a influência negativa do estresse hídrico sobre o desenvolvimento inicial do cafeeiro.

A área foliar do cafeeiro conilon apresentou total recuperação, entre os tratamentos, no 30º dia de avaliação (Figura 8). Porém, no 60º e 90º dia de avaliação, a recuperação foi comprometida, apresentando resultado significativo para o nível de 10% da água disponível no 60º e 90º dia. No entanto, no 120º dia a recuperação das plantas submetidas aos níveis de 30% e de 10% da água disponível apresentaram resultados significativos, desfavorecendo, ainda mais, o processo de recuperação do cafeeiro após período de déficit hídrico.

Pizetta et al. (2012) encontraram menores valores para área foliar, em plantas submetidas à déficit hídrico prolongado, demonstrando assim, maiores danos no desenvolvimento inicial do cafeeiro conilon em períodos prolongados de estresse hídrico e, consequentemente, dificultando a recuperação da mesma com o retorno da irrigação.

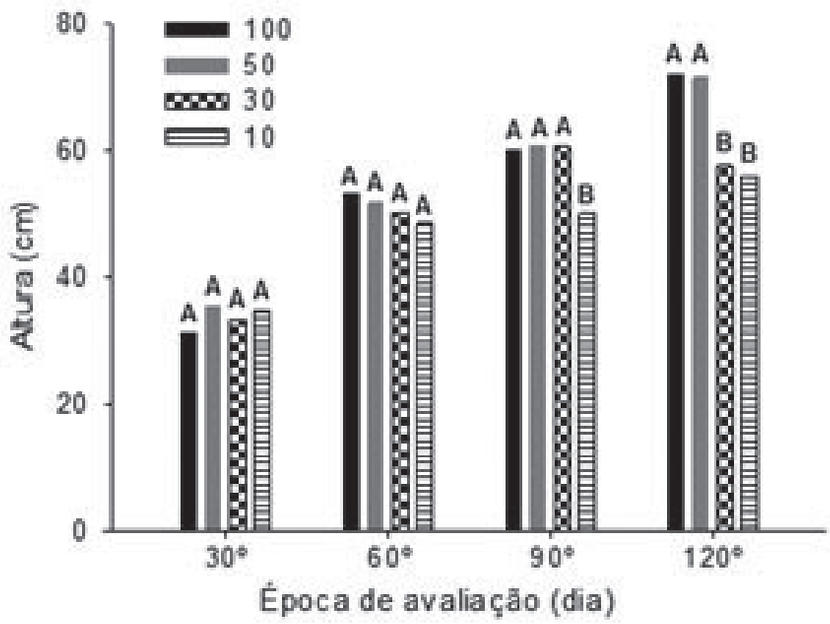

FIGURA 7 - Altura em função da água disponível no solo (100, 50, 30 e 10%) para cada época de avaliação (30º, 60º, 90º e 120º dia após déficit hídrico). Médias seguidas da mesma letra não diferem, significativamente entre si, pelo teste de Dunnett ($p<0,05$).

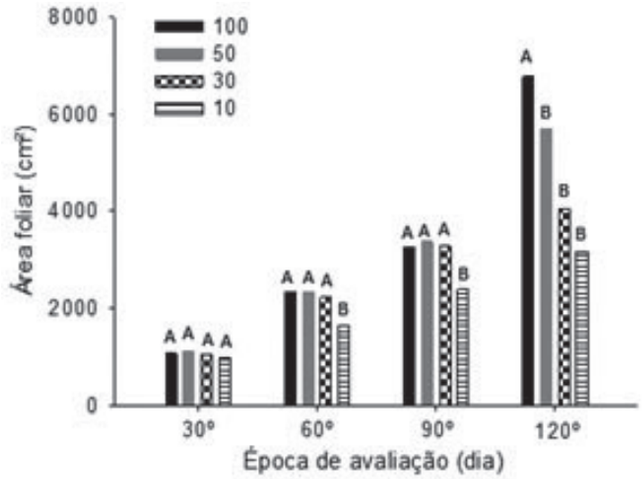

FIGURA 8 - Área foliar em função da água disponível no solo (100, 50, 30 e 10%), para cada época de avaliação (30º, 60º, 90º e 120º dia após déficit hídrico). Médias seguidas da mesma letra não diferem significativamente entre si, pelo teste de Dunnett (p<0,05).

4 CONCLUSÕES

O desenvolvimento inicial do cafeeiro conilon Robusta Tropical foi comprometido com a redução da disponibilidade hídrica do solo. A restrição hídrica prolongada influenciou, significativamente, o desenvolvimento inicial do cafeeiro conilon.

As plantas submetidas a um período de 30 dias de restrição hídrica apresentaram total recuperação, quando comparadas àquelas mantidas com umidade do solo próximo de 100% da água disponível.

5 REFERÊNCIAS

ARAUJO, G. L. et al. Influência do déficit hídrico no desenvolvimento inicial de duas cultivares de café conilon. **Irriga**, Botucatu, v. 16, n. 2, p. 115-124, abr./jun. 2011.

BARROS, R. S. et al. Determinação de área de folhas do café (*Coffea arabica* L. cv. 'Bourbon Amarelo'). **Revista Ceres**, Viçosa, v. 20, n. 107, p. 44-52, jan. 1973.

BUSATO, C. et al. Lâminas de irrigação aplicadas ao café conilon na fase inicial de desenvolvimento. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 54, n. 314, p. 351-357, jul./ago. 2007.

CENTURIN, J. F.; ANDREOLI, I. Regime hídrico de alguns solos de Jaboticabal. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, p. 701-709, 2000.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira:** café. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/.../11_05_10_09_04_16_boletim_ccafe_portugu...>. Acesso em: 15 maio 2013.

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**, Piracicaba, v. 18, p. 55-81, 2006.

DARDENGO, M. C. J. D.; REIS, E. F.; PASSOS, R. R. Influência da disponibilidade hídrica no crescimento inicial do cafeeiro Conilon. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 25, n. 6, p. 1-14, nov./dez. 2009.

FIALHO, G. S. et al. Comportamento de plantas de café arábica submetidas a déficit hídrico durante o desenvolvimento inicial. **Idesia**, Arica, v. 28, n. 3, p. 35-39, 2010.

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

HASSANLI, A. M.; AHMADIRAD, S.; BEECHAM, S. Evaluation of the influence of irrigation methods and water quality on sugar beet yield and water use efficiency. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 97, p. 357-362, 2010.

MARTINS, F. B. et al. Deficiência hídrica no solo e seu efeito sobre transpiração, crescimento e desenvolvimento de mudas de duas espécies de eucalipto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 3, p. 1297-1306, 2008.

OLIVEIRA, A. C. R.; PIZETTA, S. C.; REIS, E. F. dos. Análise do desenvolvimento inicial do cafeeiro conilon Cultivar robusta tropical submetido a déficit hídrico. **Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer**, Goiânia, v. 8, n. 15, p. 90-100, nov. 2012.

PIZETTA, S. C. et al. Influência do déficit hídrico no desenvolvimento inicial do cafeeiro conilon. **Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer**, Goiânia, v. 8, n. 15, p. 1090-1101, 2012.

REZENDE, F. C.; FARIA, M. A.; MIRANDA, W. L. Efeitos do potencial de água da folha na indução da floração e produção do cafeeiro (*Coffea arabica*, L.). **Coffee Science**, Lavras, v. 4, n. 2, p. 126-135, jul./dez. 2009.

SANTANA, M. S.; OLIVEIRA, C. A. S.; QUADROS, M. Crescimento inicial de duas cultivares de cafeeiro adensado influenciado por níveis de irrigação localizada. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 24, n. 3, p. 644-653, 2004.

SANTOS, R. F.; CARLESSO, R. Déficit hídrico e os processos morfológico e fisiológico das plantas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 2, n. 3, p. 287-294, 1998.

SHAO, H. B. et al. Water-deficit stress-induced anatomical changes in higher plants. **Comptes Rendus Biologies**, Paris, v. 331, n. 3, p. 215-225, 2008.

SILVA, V. A. et al. Resposta fisiológica de clone de café Conilon sensível à deficiência hídrica enxertado em porta-enxerto tolerante. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 45, n. 5, p. 457-464, maio 2010.

EFFICIENCY OF COFFEE MECHANICAL AND SELECTIVE HARVESTING IN DIFFERENT VIBRATION DURING HARVEST TIME

Flávio Castro da Silva[1], Fábio Moreira da Silva[2], Marcelo de Carvalho Alves[3], Gabriel Araújo e Silva Ferraz[4], Ronan Souza Sales[5]

(Recebido: 06 de fevereiro de 2014; aceito: 07 de julho de 2014)

ABSTRACT: The aim of the present work was to assess the operating performance of mechanical harvesting of the fruit of coffee trees (*Coffea arabica* L.) with a KTR® Advance harvester using a "neuro-fuzzy" system which considered the variation of the vibration of the rods and the maturation index of the fruit. The evaluations were carried out fortnightly for 70 days in treatments with vibration levels of 13.33, 15.00 and 16.66 Hz. The volume collected was recorded in each period according to the maturation of the crop as well as determining the percentage of fruit in their maturation according to the used vibration. Based on the "neuro-fuzzy" system, it was possible infer with 92% the harvest efficiency using the KTR® harvester, noting an increase in harvest efficiency by increasing the vibration of the harvester shakers and the coffee fruit maturation index. It was also concluded that with increased vibration, there was an increased percentage of green and selective fruit harvested. Mechanical harvesting was easier when the rate of crop maturation increased. Analyzing the average volume harvested during the entire period, we observed no significant difference in the vibrations of 13.33 and 15.00 Hz, but there were increases of 30.90% and 37.45% when used at higher vibration.

Index Terms: Coffee crop, operational performance, maturation.

EFICIÊNCIA DA COLHEITA MECÂNICA E SELETIVA DO CAFÉ EM DIFERENTES VIBRAÇÕES, AO LONGO DO PERÍODO DE COLHEITA

RESUMO: *Objetivou-se, com o presente trabalho, avaliar o desempenho operacional da colheita mecânica dos frutos de cafeeiros (Coffea arabica L.) com uma colhedora KTR® Advance por meio de um sistema 'neuro-fuzzy' considerando-se a variação da vibração das varetas e do índice de maturação dos frutos. As avaliações foram realizadas quinzenalmente, durante 70 dias, em tratamentos com níveis de vibração de 13,33; 15,00 e 16,66 Hz. Foi contabilizado o volume colhido em cada período de acordo com a maturação da cultura, bem como a determinação da porcentagem de frutos colhidos em seus respectivos estádios de maturação em cada vibração utilizada. Com base no sistema 'neuro-fuzzy', foi possível inferir com 92% da eficiência de colheita da colhedora KTR®, constatando-se aumento de eficiência de colheita com o aumento da vibração das varetas da colhedora e do índice de maturação dos frutos de café. Concluiu-se também que, com o aumento da vibração, há um aumento na porcentagem de frutos verdes colhidos e que a colheita mecânica seletiva é facilitada com o aumento do índice de maturação da cultura. Analisando o volume médio colhido durante todo o período, foi possível verificar que não houve diferença significativa nas vibrações de 13,33 e 15,00 Hz, mas houve incrementos de 30,90% e 37,45%, quando utilizada a maior vibração.*

Termos para Indexação: *Cafeicultura, desempenho operacional, maturação.*

1 INTRODUCTION

In the Brazilian agribusiness the coffee crop stands out as a product that generates great volumes of earnings to the country and also could be considered, according to Trabaquini et al. (2010), the economical base to many municipalities and regions. Since this crops is so important to Brazil and due to its high production cost (OLIVEIRA et al., 2007a; RIBEIRO et al., 2009), the mechanization of the production process could be considered as a practice that reduces these costs.

In recent decades, due to the significant increase in area available being occupied with coffee plantations, and the increasing reduction of manpower for harvesting, also coupled with economic factors, coffee producers began to opt for mechanical harvesting (ROSA et al., 2010). This technological breakthrough was only possible due to the development of the first harvester in Brazil, in 1974, with the "Jacto" project, whose goal was to better understand the detachment of coffee (SILVA et al., 2008). Since then, there is a growing

[1]Universidade Federal Fluminense/UFF - Departamento de Engenharia Agrícola e Meio Ambiente (TER) - Niterói -RJ - 24210-240 - flavio-ter@vm.uff.br
[2,5]Universidade Federal de Lavras/UFLA - Departamento de Engenharia Agrícola/DEG - Cx. P. 3037- Lavras -MG- 37200-000 famsilva@deg.ufla.br, ronan_sales@hotmail.com
[3]Universidade Federal de Mato Grosso/ UFMT - Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária - FAMEV - Cuiabá - MT 78060-900 - mdecalves@ufmt.br
[4]Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro/UFRRJ - Departamento de Engenharia Agrícola Seropédica- RJ - 23.890-000 gaferraz1@yahoo.com.br

of research related to mechanical harvesting by the principle of vibration. Moreover, in recent years, from the work by Silva et al. (2007) and Silva, Teodoro e Melo (2008) evaluating the behavior of the force of detachment during the crop cycle, this parameter has to be correlated with the operational performance of mechanical and selective harvesting, with the purpose of harvesting the plant mechanically, specially the mature fruit, since this is the stage that makes the best drink out of the fruit.

According to Silva et al. (2008), this technological development has been favorable, especially for mechanized harvesting, contributing to more stable coffee production able to provide sustainable productivity in order to make it competitive, and provide improvements to the life of those people involved in the production process.

Mechanical harvesting of coffee is based on the principle of vibration in shaker fingers that intermingle with the coffee tree canopy and cause the detachment of the fruit. Green fruit comes off with higher levels of vibration or by direct impact with the fingers, while mature, withered, and dry fruit come off with lower vibrations (SILVA et al., 2007). Because of this, three adjustments can be done in the harvester in order to have a more effective harvest. They are: vibration, operating speed, and the distribution of shaker fingers. However, it is necessary to study the interaction between these factors, to enable better adjustment of the harvester seeking to increase the efficiency of harvesting according to the maturation of the fruit in the crop. According to Santos et al. (2010) the major frequencies and amplitudes provides the highest values of mature fruits ripening and the ripening efficiency by vibration was higher in the Mundo Novo cultivar than in the Catuaí Vermelho cultivar.

According to Läderach et al. (2011) and Silva et al. (2010), different fruit maturity show detachment strength statistically different and it's different for every cultivar. But, according to Ferraz et al. (2012) the coffee harvest is more difficult to study than crops such as cereals because of features such as plant shape, non-uniform maturation of the fruit and high humidity of fruits. Coffee is a perennial bush and each plant can have a different shape with differences in plant height, length and width, even with plants that are close together within a field. This feature makes harvesting and the design of coffee harvesters difficult because they involve removing the fruit by vibration. According to Oliveira et al. (2007a), the efficiency of harvest is directly influenced by the vibration of the shakers of the harvester KTR® and of reverse speed variation.

Alves et al. (2009, 2011) concluded that it was possible to validate and implement a system of fuzzy logic to estimate the process monocyclic Asian soybean rust. According to the author, it was observed that there was a greater correlation of estimates of the fuzzy logic system with the observed data than with the methods of nonlinear regression. When it is related to the soil fertility, Malta et al. (2008) concluded the small values of pH and the disequilibrium of the relationship among K, Ca and Mg could affect the coffee plant growing, development and yield when it was submitted to the organic management in the south of Minas Gerais state.

The aim of the present work was to assess the operating performance of mechanical harvesting of the fruit of coffee trees with a KTR® Advance harvester using a "neuro-fuzzy" system which considered the variation of the vibration of the finger shakers and the maturation index of the fruit.

2 MATERIAL AND METHODS

The tests were conducted in Capetinga Farm, Municipality of Boa Esperança, the state of Minas Gerais, whose geographical coordinates are 21°13'S and 45°34 W of Greenwich, with an average altitude of 930 m. The climate, according to Köppen, is classified as subtropical with a dry winter. The cultivar evaluated in the experiment was the Mundo Novo IAC 376/4, planted on land with slope average of 10%, spaced 4.0 x 1.0 m, with an average population of 2,500 plants per hectare.

The tests were conducted using completely randomized design (CRD) with five repetitions in random plots containing at least 40 plants on line in each plot. The parcels were properly characterized by determining the average pending charge of berry fruits (L plant-1) and the percentage of green, withered and dry coffee in the plant. The methodology used to determine the detachment average force was proposed by Silva et al. (2010).

All the tests were conducted using the Jacto KTR® Advance harvester pulled by a 55,16 kW front wheel drive coffee tractor. A rider works the harvester on one row of plants. Two harvester cylinders, equipped with shaker fingers which work horizontally and laterally, surround the

coffee, harvesting the fruit through vibration effect which fall into the collection system and, after being cleaned, are transferred to a truck, or are bagged.

The speed of 1,600 m h-1 was established for the experimental trials as reference Oliveira et al. (2007b). This speed was kept constant for all treatments that had a variation of shaker fingers vibration, being used 800, 900 and 1000 cycles minute-1 (13.34, 15.00 e 16.50 Hz).

The experimental data was organized in tables and charts, using Microsoft Office Excel® and analyzed using Matlab R2006b®.

During mechanical harvesting with the KTR® Advance harvester the volume collected in L h-1 was determined from the percentage of fruit in different maturation stages (green, mature, withered and dry) for the different shaker fingers vibrations: 13.34, 15.00 and 16.50 Hz

The percentage of fruit in different maturation stages was made, after counting fruit from five samples of 0.50 L for each shaker fingers vibration. The total volume of the fruits harvested was determined using a graduated measure of 20.00 L and by measuring the time required for it to reach maximum volume.

The maturation index (MI) was determined based on the percentage of green fruit (equation 1). Therefore, it was necessary to count the fruit obtained from five samples of 0.50 L of total volume of pending charge found in plants of each plot. The final maturation index was obtained by averaging the five values of MI found in each repetition, where the maturation index is the sum of the mature fruit, withered and dry (equation 1)

$$\text{Harvest Ef.} = \frac{\text{Pending load}}{\text{harvested vol.+groud vol.}} \text{ x } 100$$

To obtain the total maturation degree (MD), the weighted average of the fruits in each stage of maturation was made, represented by its weight and the percentage of fruit in their maturation stages, as follows according to Silva et al. (2010) (equation 2):

$$\text{MD} = \frac{4\cdot(\%dry)+3.8\cdot(\%withered)+2\cdot(\%mature)+1\cdot(\%green)}{(\%dry+\%withered+\%mature+\%green)}$$

where:
MD - is the maturation degree of the parcel;
% - Is the percentage of fruit in each stage of maturation, expressed in decimal.

The efficiency of the harvest in three periods was evaluated, characterizing the beginning, middle and the end of harvest period. These periods were characterized based on the percentage of mature fruits as described by Souza, Queiroz e Rafull (2006); the ability to detachment of the fruits is directly proportional to the percentage of ripe fruit on plant. The tests were done with mechanized harvesting using vibration levels of 13.33, 15.00 and 16.66 Hz, and the resulting volume harvested was compared to determine harvest efficiency with respect to the amount of fruit on the plant.

For the use of the "neuro-fuzzy" system relevancy functions and rules of inference were set up by neural networks. The system used the Sugeno (1985) implication operator because it is easier to adapt the technique of using neural networks in the construction of "Fuzzy" logic systems, and is the best application of this method in modeling nonlinear systems (TSOUKALAS; UHRIG, 1997).

The fuzzy logic system was subdivided in five parts: fuzzification of the input variables, application of the fuzzy operator (and, or) in the antecedent, implication from the antecedent to the consequent, aggregation of the consequents across the rules, and defuzzification. The fuzzy system was configured as follows: 'And' method using algebraic product (prod), or method using a probabilistic method (probor) also known as the algebraic sum like: probor (a,b) = a + b - a * b, implication method (imp method) using minimum operator (min), aggregation method using maximum operator (max) and defuzzification method using weighted average method (wtaver). The 'and' operator was used as an inference basic step T-norm, related to a two-input function that describes a superset of fuzzy intersection (and) operators, including minimum (min) and algebraic product (prod). The 'or' operator was used as an inference basic step T-conorm in fuzzy implication process, also known as S-norm. It consisted in a two-input function describing a superset of fuzzy union (or) operators using algebraic sum. The implication method used the degree of support for the entire rule to shape the output fuzzy set. The aggregation combined the consequents of each rule in a single fuzzy set. Defuzzification was used to transform a fuzzy output of a fuzzy inference system into a crisp output. Sugeno (1985) fuzzy inference was adopted as a systematic approach to generate fuzzy rules from a given input-output data set due to its less time-consuming and mathematically tractable defuzzification operation.

The observed and predicted values by the 'neuro-fuzzy' system were compared using linear regression in order to observe the performance of the model to describe the operational performance of the harvest (Figure 1).

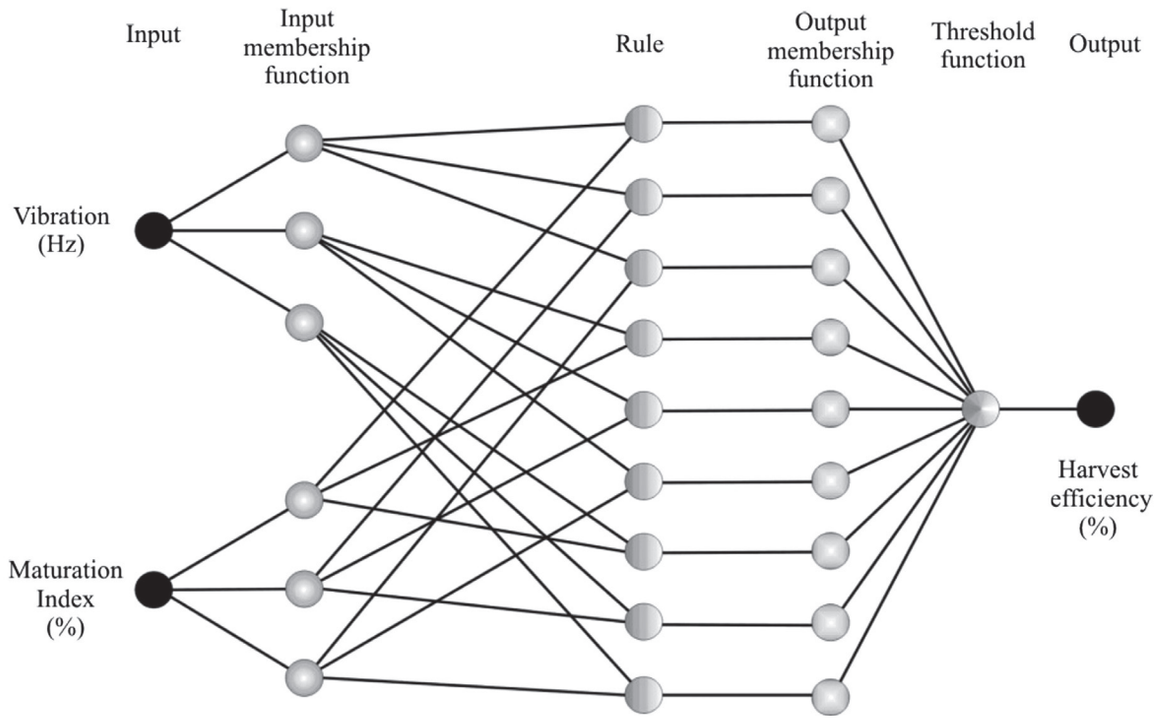

FIGURE 1 - Architecture of neural network system used to define the "neuro-fuzzy" system to estimate the efficiency of the harvest of the KTR® harvester.

3 RESULTS AND DISCUSSION

The satisfactory implementation of the 'neuro-fuzzy' system to describe the operational performance of the harvester KTR® was obtained. An increase in the harvest efficiency was found by increasing the vibration of the harvester shakers and of the cultivation maturation index (Figure 2), in order to describe 91.00% of the harvest efficiency by comparing the observed values to those estimated by the developed model (Figure 3).

Oliveira et al. (2007b) also found greater efficiency of harvest under increased vibration. According to the author, there was an increase of 29.25% in the harvest efficiency, and 31.12% in defoliation, comparing the lowest to the highest vibration.

As seen in Figure 2 and 3, the efficiency of mechanical harvesting is directly proportional to the fruit maturation index and the level of mechanical vibration applied to the coffee fruits. Bigger vibrations favor a higher loosening of the fruit, however, it contributes to a greater amount of green fruit present in the total mass collected.

As described previously the maturation index is the sum of mature, wither and dry fruit, it is important to note that the maturation index and degree of maturation are correlated, since the degree of maturation depends on the percentages of fruit in those maturation stages and on the weight in each maturation degree (Figure 4). However, the larger the maturation degree is, the more mature fruits are in the plant, since the biggest possible maturation degree is 4.0, and the smaller the maturation degree is, more green fruit will be present in the plant, considering that the minimum degree of maturation is 1.0.

We can see in the Figure 5, where the linear model of the detachment average force is represented for detachment of coffee fruit at different stages of maturation, the greater the degree of maturation is, the lowest average force of detachment of the fruits (Table 1). It is concluded that the force of detachment and efficiency of mechanical harvesting are correlated. That is, the smaller the force for detachment of the fruit, the greater the efficiency of mechanical harvesting will be.

The data in Tables 2, 3 and 4 shows, for three different harvest times, the results of volume and percentage of fruit harvested at different stages of maturation to the three levels of vibration used. It was observed that with increased vibration, the volume collected increased however, it also resulted in a greater removal of green fruit from the plant.

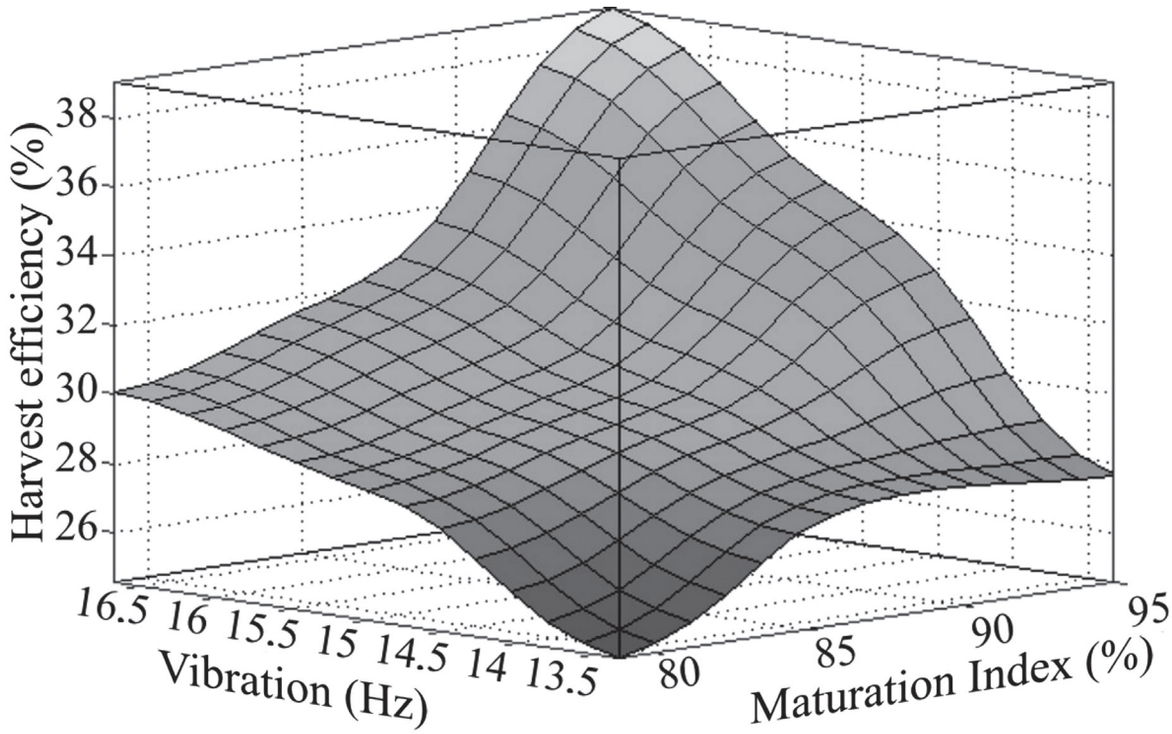

FIGURE 2 - Control Surface of the "neuro-fuzzy" System (NFS) used to describe the efficiency of harvest with the KTR harvester.

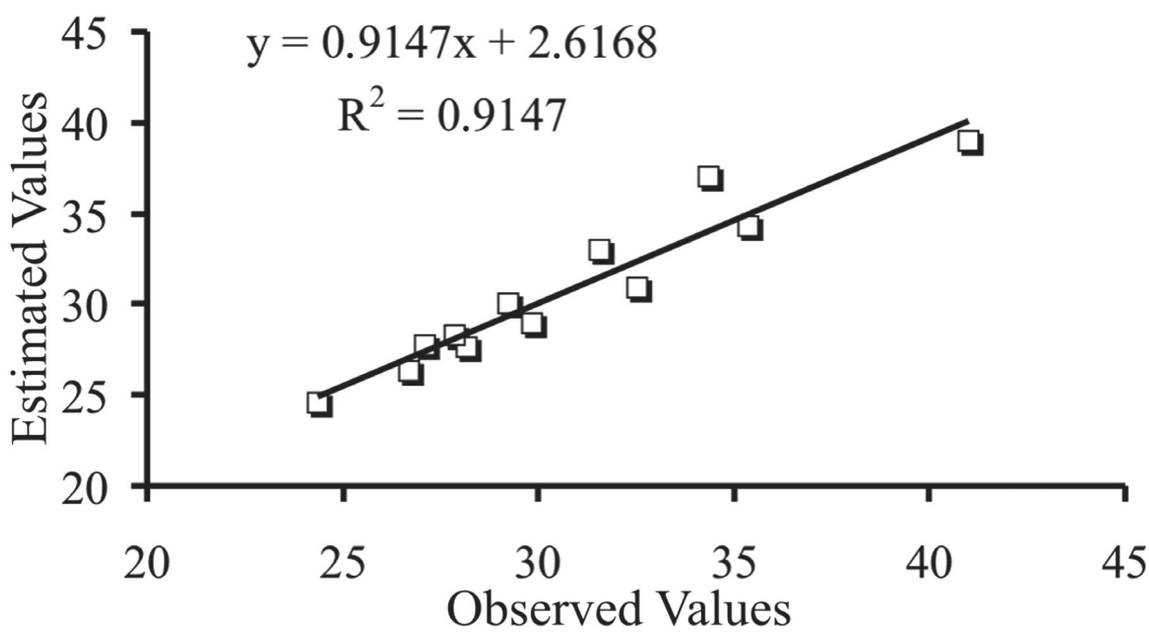

FIGURE 3 - Linear relationship between values observed and estimated by the "neuro-fuzzy" model used to describe the efficiency of harvesting with KTR harvester.

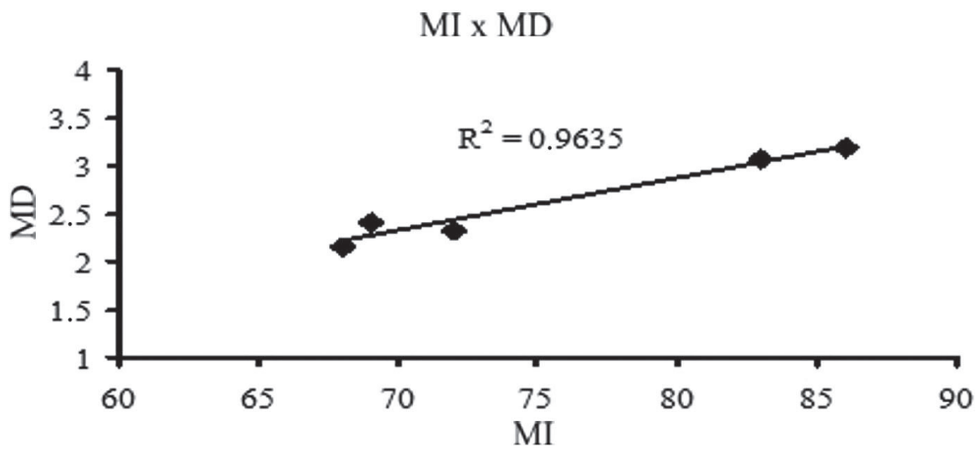

FIGURE 4 - Linear relationship between the maturation index (MI) and the maturation degree (MD).

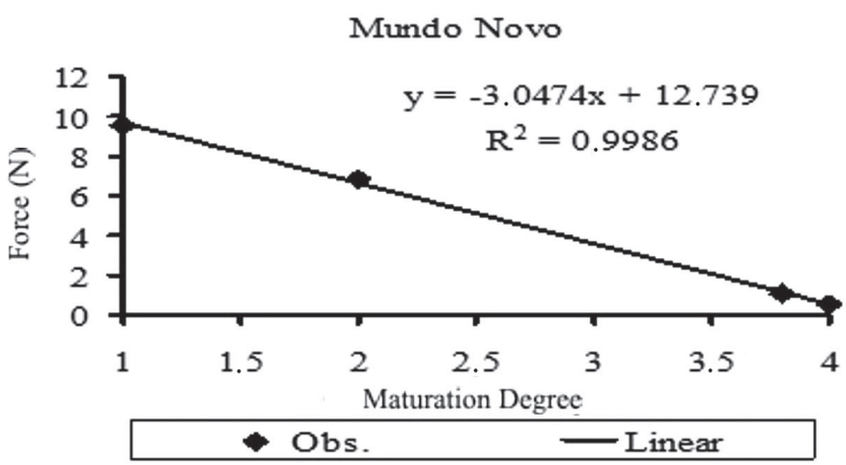

FIGURE 5 - Linear model for Mundo Novo cultivar, throughout the evaluation period.

TABLE 1 - Detachment average force (N) of the fruits in the maturation green and mature throughout the evaluation period.

Maturation*	Evaluation period		
	May 30	June 13	June 22
Green	7.61 D	11.22 C	10.34 C
Mature	6.08 C	7.21 B	7.00 B
Difference	1.53	4.01	3.34
Wither	0.89 B	1.25 A	1.26 A
Dry	0.42 A	0.83 A	0.79 A

Averages followed by same uppercase letters in the columms do not differ according to the Scott-Knott test.

* Significant by test f ($p<0.05$).

TABLE 2 - Volume and percentage of the fruits harvested in different stages of maturation, for levels of the finger shaker vibration used in the first assessment in May 30.

Mundo Novo Cultivar	MI = 69.06% and MD =2.70		
Hz vibration (cycles.min^{-1})*	13.33 (800)	15.00 (900)	16.66 (1000)
Volume harvested (Measures.h^{-1})	29.25 a	36.64 a	45.22 a
Harvest efficiency (%)	18.60	23.29	28.75
Fruits harvested in different stages of maturation (%)			
Green	2.55 A a	5.16 A a	6.77 A a
Mature	38.27 C a	41.52 C a	42.62 C a
Wither	35.64 C a	29.69 B a	26.51 B a
Dry	23.53 B a	23.63 B a	24.10 B a
	cv = 18.07%		

Averages followed by same uppercase letters in the columms and lowercase in the lines do not differ according to the Scott-Knott test.

* Significant by test f ($p<0.05$).

TABLE 3 - Volume and percentage of the fruits harvested in their different stages of maturation, for levels of the finger shaker vibration used in the second assessment in June 13.

Mundo Novo Cultivar	MI = 83.76% and DM =2.78		
Hz vibration (cycles min^{-1})*	13.33 (800)	15.00 (900)	16.66 (1000)
Volume harvested (Measures.h^{-1})	92.41 a	93.40 a	124.48 b
Harvest efficiency (%)	31.63	31.97	42.61
Fruits harvested in their different stages of maturation (%)			
Green	12.21 A a	16.25 B a	19.98 A a
Mature	15.87 A a	8.75 A a	11.98 A a
Wither	14.20 A a	19.57 B a	15.85 A a
Dry	57.70 B a	55.42 C a	52.18 B a
	cv = 15.41%		

Averages followed by same uppercase letters in the columms and lowercase in the lines do not differ according to the Scott-Knott test.
* Significant by test f ($p<0.05$).

By the results in Table 2, regarding the harvest made on May 30, one can observe that the volume of fruit has a tendency to increase with higher levels of vibration of the harvester finger shaker, however, it did not differ significantly. Note that the larger volume collected 45.22 measurements.h-1 (1.0 measurement equal to 60 liters) occurred with vibration of 16.66 Hz and the lowest volume 29.25 measurements.h-1 occurred at 13.33 Hz, which is an expected behavior and was confirmed by Oliveira et al. (2007a) and Silva et al. (1997). In this case, the percentage of mature fruit harvested was high for the three vibrations employed, with lower percentages of green, up to 6.77%, which reflects the principle of selective harvesting, reaping a greater volume of mature fruit, even though a high percentage of green fruit in the plant on that date was 31%. Observed that in the beginning of the harvest, the harvested volumes were low, nearly 37 measurements h-1, with maximum efficiency harvest of 28.75%, within the vibrations used. However, the average percentage of mature fruit harvested is high, 40.80%, even with the vibration of 16.66 Hz, the percentage of green fruit harvested was low, 6.77%. It is important to remember that on that date, the force of detachment of mature fruit was 6.08 N (Table 1) and green fruit was 7.61 N, with the difference between the force of detachment of green and mature fruit of 1.53 N, which characterizes perfect harvest conditions.

TABLE 4 - Volume and percentage of the fruits harvested in their different stages of maturation, for levels of the finger shaker vibration used in the third assessment in June 22.

Mundo Novo Cultivar	MI = 86.11% and DM =2.98		
Hz vibration (cycles.min^{-1}) *	13.33 (800)	15.00 (900)	16.66 (1000)
Volume harvested (Measures.h^{-1})	98.89 a	101.57 a	133.47 b
Harvest efficiency (%)	28.75	42.61	45.69
Fruits harvested in their different stages of maturation (%)			
Green	4.65 A a	3.78 A a	7.08 A a
Mature	14.17 B a	16.76 B a	17.77 B a
Wither	21.49 C a	15.07 B a	15.25 B a
Dry	59.69 D a	64.39 C a	59.91 C a
	cv = 12.64%		

Averages followed by same uppercase letters in the columms and lowercase in the lines do not differ according to the Scott-Knott test.

* Significant by test f ($p<0.05$).

However, the maturation index of 69.06% was still low.

In the second harvest period, which occurred on June 13 (Table 3) it shows that the biggest volume harvested was also the one with higher vibration 16.66 Hz, being 124.48 measures h^{-1}, which differed significantly. For this period the force of detachment of mature fruit was 7.21 N and green fruit was 11.22 N, with the difference between the force of detachment of green and mature fruit of 4.01 N. However, the percentage of green fruit harvested increased to 19.98%, which did not differ significantly from the lower vibrations. This percentage of green fruit can be considered acceptable, as Chalfoun and Carvalho (1998), established the green fruit limit at 20% of the total volume harvested. As the maturation index is higher than 80%, the highest vibration can be recommended, aiming at greater efficiency of harvest.

In the third harvest period on 22 June (Table 4), the largest amount collected was also with the vibration of 16.66 Hz, differing significantly from the others with only 7.08% green fruit and a high maturation index of 86.11%, which justifies the use of higher vibration, having a better efficiency harvest also.

In the third period of the harvest, the volume collected increased considerably, being an average of 111.28 measurements h^{-1} with the vibrations used. It is observed that on that date, the force of detachment of the mature fruit was 7.00 N, this values is greater than that observed in the first period and the strength of detachment green 10.34 N, was also quite high. Thus, the larger volume collected is correlated with a higher percentage of harvested fruit (R^2 = 0,9986), which differs significantly from the others, which is confirmed by the maturation rate of 86.11%, proving to be no longer possible to do a selective harvest in this period due to early harvest of the crop.

4 CONCLUSION

According to the methodology used and the results found was possible describe the operational performance of the efficiency of harvesting of coffee fruit by the KTR® Advance harvester under interaction of the finger shaker vibration and the maturation index of culture through a "neuro-fuzzy" system.

The volume and efficiency of the harvest are directly related to the intensity of the vibration and the maturation index of fruit.

Mechanical and selective harvest can be managed in accordance with the force of detachment of the coffee fruit, along with the maturation index.

5 ACKNOWLEDGEMENTS

The National Council of Scientific and Technological Development (CNPq) for supporting the work.

The Minas Gerais State research aid Fundation (FAPEMIG) for supporting the work.

6 REFERENCES

ALVES, M. C. et al. Adaptive neuro-fuzzy inference systems for epidemiological analysis of soybean rust. **Environmental Modelling & Software**, Oxford, v. 26, p. 1089-1096, 2011.

ALVES, M. C. et al. Modeling spatial variability and pattern of rust and brown eye spot in coffee agroecosystem. **Journal of Pest Science**, Berlin, v. 82, n. 2, p. 137-148, 2009.

CHALFOUN, S. M.; CARVALHO, V. D. **Colheita e preparo do café**. Lavras: FAEPE, 1998. 49 p.

FERRAZ, G. A. S. et al. Geostatistical analysis of fruit yield and detachment force in coffee. **Precision Agriculture**, Dordrecht, v. 13, n. 1, p. 76-89, Jan. 2012.

LÄDERACH, P. et al. Systematic agronomic farm management for improved coffee quality. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 120, p. 321-329, 2011.

MALTA, M. R. et al. Caracterização de lavouras cafeeiras cultivadas sob o sistema orgânico no Sul de Minas Gerais. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 5, p. 1402-1407, set./out. 2008.

OLIVEIRA, E. et al. Custos operacionais da colheita mecanizada do cafeeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, n. 6, p. 827-831, jun. 2007a.

OLIVEIRA, E. et al. Influência da vibração das hastes e da velocidade de deslocamento da colhedora no processo de colheita mecanizada do café. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 27, n. 3, p. 714-721, 2007b.

RIBEIRO, M. S. et al. Efeitos de águas residuárias de café no crescimento vegetativo de cafeeiros em seu primeiro ano. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 29, n. 4, p. 569-577, out./dez. 2009.

ROSA, V. G. C. et al. Estimativa da produtividade de café com base em um modelo agrometeorologico-espectral. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 45, n. 12, p. 1478-1488, dez. 2010.

SANTOS, F. L. et al. Analysis of the coffee harvesting process using an electromagnetic shaker. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 32, n. 3, p. 373-378, 2010.

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

SILVA, F. C. et al. Comportamento da força de desprendimento dos frutos de cafeeiros ao longo do período de colheita. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 34, n. 2, p. 468-474, mar./abr. 2010.

SILVA, F. M. et al. Desempenho da operação mecanizada de derriça do café. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 23., 1997, Manhuaçú. **Anais...** Rio de Janeiro: MAPA/PROCAFÉ, 1997. p. 174-176.

SILVA, F. M. et al. Influência da força de desprendimento dos frutos do cafeeiro em diferentes estádios de maturação ao longo da colheita. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 36., 2007, Bonito. **Anais...** Jaboticabal: SBEA, 2007. 1 CD-ROM.

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

SOUZA, C. M. A.; QUEIROZ, D. M.; RAFULL, L. Z. L. Derriçadora portátil na colheita total e seletiva de frutos do cafeeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 11, p. 1637-1642, nov. 2006.

SUGENO, M. **Industrial applications of Fuzzy control**. New York: Elsevier Science, 1985.

TRABAQUINI, K. et al. Uso da geotecnologia para caracterizar os cafezais no município de londrina-pr, em relação à altimetria, declividade e tipo de solo. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v. 30, n. 6, p. 1136-1147, nov./dez. 2010.

TSOUKALAS, L. H.; UHRIG, R. E. Fuzzy and neural approaches in engineering. New York: J. Wiley, 1997. 587 p.

PARAMETRIZAÇÃO DAS CONDIÇÕES DE OBTENÇÃO DO EXTRATO DO CAFÉ VERDE E TORRADO COM CO_2 SUPERCRÍTICO

Luciano Luiz Silva[1], Suellen Cadorin Fernandes[2], Murilo Cesar Costelli[3], Juliana Savio[4], Toni Jefferson Lopes[5], Stefane Vieira Besegatto[6], Ana Paula Capelezzo[7]

(Recebido: 14 de março de 2014; aceito: 22 de agosto de 2014)

RESUMO: A produção e consumo de café no Brasil vem em uma crescente considerável nos últimos anos, sendo responsável por 33,60% da produção mundial. O café torrado contém alta quantidade de compostos voláteis que proporcionam sabor e aroma característicos, os quais são encontrados principalmente no seu óleo. Já o óleo obtido de café verde é um material rico em compostos insaponificáveis e em esteróis. Frente às tecnologias utilizadas para a extração de óleos essenciais, a tecnologia supercritica surge como um técnica limpa e sem resquícios de solventes orgânicos, quando se utiliza o CO_2 supercrítico como solvente, que apresenta caracteristicas: atóxicas, não inflamável e de custo relativamente baixo. Através da cinética de extração (50ºC e 220 bar) foi possível determinar o tempo de extração em 3 h e 30 min, para os grãos de café torrado e verde. Por meio do *software Statistica* 6.0®, foi constatado que somente a variável pressão teve influência significativa no rendimento da extração com CO_2 supercrítico para o café torrado. Para o café verde, constatou-se que nenhum dos parâmetros foi significativo. O rendimento obtido para o café verde e torrado foi de 3,68 e 7,52%, respectivamente.

Termos para indexação: Café torrado, café verde, extrato de café, extração supercrítica com CO_2.

EXTRACTION PARAMETERS OF ESSENTIAL OIL OF COFFEE WITH THE USE OF CO_2 SUPERCRITICAL

ABSTRACT: *The production and consumption of coffee in Brazil comes in an increasing considerably in recent years, accounting for 33.60% of world production. Roasted coffee contains high amounts of volatiles which provide their characteristic flavor and aroma, which are found mainly in their oil. Already, the oil obtained from green coffee is a material rich in unsaponifiables compounds and sterols. Facing the technologies used for the extraction of essential oils, the supercritical technology emerges as a clean and free of organic solvent remnant technique, when using supercritical CO_2 as solvent, which presents characteristics: non-toxic, non-flammable and relatively low cost. Through the extraction kinetics (50ºC and 220 bar) it was possible to determine the extraction time of 3h 30 min for roasted and green coffee. By means of the Statistica 6.0® software, it was found that only the pressure variable had significant influence on the yield of extraction with supercritical CO_2 for roasted coffee. For green coffee, it was found that none of the parameters was significant. The yield obtained for green and roasted coffee were 3.68 and 7.52%, respectively.*

Index terms: *Roasted coffee, green coffee, coffee extract, supercritical CO_2 extraction.*

1 INTRODUÇÃO

A produção e consumo de café no Brasil vem crescendo consideravelmente nos últimos anos. Em 2013, a Associação Brasileira da Indústria do Café - ABIC (2013) divulgou informações que destacavam o Brasil como maior produtor mundial, sendo responsável por 33,60% do mercado internacional e um volume equivalente à soma dos outros seis países de maior produção e com um consumo interno de 20,33 milhões de sacas.

O café torrado, que é a forma mais consumida do produto, contém alta quantidade de compostos voláteis, encontrados principalmente em seu óleo, os quais são muito utilizados na indústria de alimentos como fonte de aroma e sabor, em produtos de confeitaria, balas, chocolates e na produção de café instantâneo (SANDI, 2003).

O alto valor desta planta reside quase que exclusivamente em sua semente. Dessas, retiram-se os óleos voláteis que são conhecidos e utilizados desde a antiguidade por suas propriedades

[1,2]Universidade Comunitária da Região de Chapecó/UNOCHAPECÓ/PPGTI - Programa de Pós-Graduação em Tecnologia e Gestão da Inovação - Av. Senador Attílio Fontana 591 - 89809-000 - Chapecó - SC- lucianols@unochapeco.edu.br, suellencf@unochapeco.edu.br
[3]Universidade Comunitária da Região de Chapecó/UNOCHAPECÓ/ACEA - Laboratório de Engenharia Química - Av. Senador Attílio Fontana 591 - 89809-000 - Chapecó - SC - mccostelli@unochapeco.edu.br
[4]Universidade Comunitária da Região de Chapecó/UNOCHAPECO/ACEA - Laboratório de Engenharia de Alimentos - Av. Senador Attílio Fontana 591 - 89809-000 - Chapecó -SC julianasavio@unochapeco.edu.br
[5]Universidade Federal do Rio Grande/FURG/Escola de Química e Alimentos - Rua Barão do Caí 125 - 95500-000 - Santo Antônio da Patrulha - RS - tjlopes@furg.br
[6,7]Universidade Comunitária da Região de Chapecó/UNOCHAPECÓ/ACEA - Laboratório de Engenharia Química - Av. Senador Attílio Fontana 591 - 89809-000 - Chapecó - SC - bxste@unochapeco.edu.br, ana_cap@unochapeco.edu.br

biológicas, especialmente antibactericidas, antifúngicas e antioxidantes (DANG et al., 2010; FERREIRA et al., 2012; SOUZA et al., 2007).

A qualidade do café, além dos atributos sensoriais, pode ser avaliada através da identificação e quantificação dos componentes presentes neste produto, tais como a cafeína, encontrada até nas cascas do grão de café (CALVO; TELLO; VIGUERA, 2011), que está associada à saúde humana, a trigonelina e os ácidos clorogênicos, compostos responsáveis pela formação do flavor durante a torrefação (TRUGO; MACRAE, 1989). Dos componentes voláteis do café, já foram identificados mais de cento e oitenta compostos diferentes (MORAIS et al., 2007), tornando sua síntese extremamente difícil. Além do que as propriedades físico-químicas de cafés de uma mesma espécie apresentaram significativas diferenças, quando cultivados em diferentes lugares (SCHOLZ et al., 2011). No entanto, quando grãos de café, de um mesmo lote, são submetidos a diferentes torras, os componentes químicos são basicamente os mesmos (MORAIS et al., 2007).

Os grãos de café torrado e verde apresentam em media até 17% de óleos e 3% de cafeína (ARAÚJO; SANDI, 2006; AZEVEDO et al., 2008; CALVO; TELLO; VIGUERA, 2011), podendo variar de acordo com a espécie dos grãos de café. Com a torração, ocorre uma elevação proporcional nos teores de lipídios totais de 11,4 para 15,4% no café arábica (SOUZA et al., 2010).

Além dos compostos lipídicos, os óleos apresentam uma série de ácidos como: o ácido linoleico, ácido linolênico, ácido palmítico, ácido oleico, ácido esteárico, entre outros (MAZZAFERA et al., 2008).

O óleo obtido do café verde é um material rico em compostos insaponificáveis, e em componentes como os esteróis. Essa composição peculiar do café verde torna-o valioso para a indústria de cosméticos por suas propriedades emolientes, amaciantes, hidratantes e capacidade de bloquear a luz solar (ARAÚJO; SANDI, 2006; SILVA et al., 2011; TURATTI, 2001). O extrato hidroalcoólico do café verde contendo ácido clorogênico e compostos fenólicos apresenta uma boa atividade antioxidante (NAIDU et al., 2008).

Frequentemente, os óleos vegetais são obtidos por prensagem, cujo rendimento é geralmente baixo, ou por meio de extração com solventes orgânicos, como o hexano, que extraem completamente o óleo, porém podem deixar resíduos de solvente, o que diminui a qualidade do óleo, bem como causar sérios problemas ambientais com o descarte inadequado do solvente (SANDI, 2003).

Desta forma, a qualidade dos extratos obtidos de uma matéria-prima está fortemente relacionada com a técnica de extração empregada, sendo avaliada através do perfil químico do produto. Uma alternativa aos processos anteriormente apresentados é a extração com fluídos supercríticos (FRANÇA et al., 1999).

Comumente o dióxido de carbono é empregado como solvente na extração supercrítica (ESC). Sua atratividade está relacionada por ser uma substância atóxica, não inflamável e de custo relativamente baixo. Entre as muitas vantagens do uso do CO_2 supercrítico pode-se citar a facilidade de separação do material extraído do solvente, que é realizada por uma simples manipulação de temperatura ou pressão.

Pela sua natureza apolar, o uso do CO_2 supercrítico apresenta maior afinidade com compostos apolares, entretanto substâncias de alta polaridade também podem ser extraídas com CO_2 supercrítico em altas densidades (altas pressões) e/ou pelo emprego de cosssolvntes, com os quais é possível aumentar o espectro de substâncias solúveis ao CO_2 (SILVA et al., 2014; VASAPOLLO et al., 2004).

De acordo com Ramsay et al. (1991), o uso do CO_2 como fluido supercrítico apresenta vantagens como a baixa pressão crítica (73 bar) e temperatura crítica (31ºC) próxima à temperatura ambiente, o que facilita a sua utilização.

Outro fator que influencia no rendimento da extração é o tamanho das partículas da matriz vegetal. Como uma tendência geral, a diminuição do tamanho das partículas gera um aumento do rendimento de extração. O menor tamanho de partícula facilita o acesso do solvente até o soluto, reduzindo as limitações de transferência de massa. A redução das partículas é, provavelmente, associada a uma quebra mais intensa da parede celular e o rompimento dessa facilita a difusão de soluto (LAROZE et al., 2010).

Outra vantagem da extração com fluído supercrítico é permitir o processamento de materiais vegetais a baixas temperaturas, entorno de 20 a 40ºC, o que é especialmente adequado quando compostos termossensíveis estão presentes. Dessa forma, evita-se a degradação desses, que é um problema duplamente prejudicial. Os produtos degradados comprometem a qualidade do produto final e geram rejeitos industriais indesejáveis que precisam ser tratados, antes de eliminados (FERREIRA et al., 2005; FERREIRA; DANIELSKI; MICHIELIN, 2007).

As pressões e temperaturas utilizadas para a extração do extrato e do óleo do café apresentam uma variação considerável de 150 a 400 bar e temperaturas que vão de 40 a 100°C (MELO; SILVESTRE; SILVA, 2014).

Um dos principais usos da extração com fluído supercrítico é para a remoção da cafeína dos extratos e óleo de café, principalmente devido à alta solubilidade da cafeína em CO_2 supercrítico (AZEVEDO et al., 2008; CALVO; TELLO; VIGUERA, 2011).

Uma interessante utilização para o óleo extraído do grão de café ou da sua borra, que é um subproduto, tem sido a proposta como fonte de carbono para a produção de polihidroxialcanoatos (PHAs), que são poliésteres (uma espécie de plástico) produzidos por diversos grupos de bactérias (CRUZ et al., 2014).

Os extratos e principalmente os óleos extraídos dos grãos, borra e cascas de café verde e torrado estão sendo amplamente estudados, e apresentaram boa atividade antioxidante (FERREIRA et al., 2012).

Objetivou-se realizar a parametrização da extração do extrato do café verde e torrado através do estudo de duas variáveis (pressão e temperatura), a fim de verificar as melhores condições de extração.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Preparação da matéria-prima

As matérias-primas utilizadas para a extração do óleo foram adquiridas no Clube do Café de São Paulo, e podem ser observadas na Figura 1.

Primeiramente, uma amostra de 100 g de café torrado foi colocada em estufa á 40ºC, por um período de 24 h. Após esse período, o peso da amostra permaneceu constante, sendo que esse procedimento não foi realizado para os grãos de café verdes. Em seguida, as amostras foram moídas com o auxílio de um moedor comercial Cadence MDR301, e, posteriormente, foi realizado o peneiramento em um agitador de peneiras vibratórias, sendo parametrizado um diâmetro de partícula de 0,6 mm a 1,0 mm.

2.2 Análise de umidade dos grãos de café verde e torrado

A análise de umidade dos grãos foi determinada pelo método estabelecido pelo Instituto Adolfo Lutz (2008); 5 gramas dos grãos de café verde e torrado já moídos foram colocados em estufa a 105°C por um período de 4h, resfriados em um dessecador e pesados novamente. O processo foi repetido mais uma vez, pesando-se as amostras a cada 30 minutos. As amostras de café torrado e verde apresentaram valores de unidade de 4,04 e 1,32%, respectivamente.

2.3 Aparato experimental

Para proceder à extração do extrato dos grãos de café, fez-se o uso de um equipamento de extração supercrítica conforme exposto na Figura 2, sendo que o mesmo é composto por uma câmara de extração encamisada fabricada em aço inox com dimensões de 30,0 cm de altura e 2,35 cm de diâmetro interno, contemplando um volume de 518,0 mL.

FIGURA 1 - Matéria prima: (a) grãos de café torrado e (b) grãos de café verde.

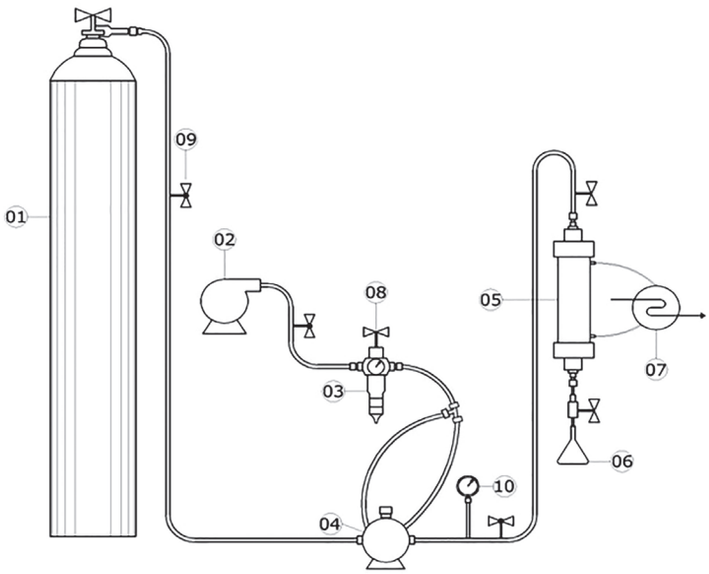

FIGURA 2 - Diagrama esquemático da extração com CO_2 supercrítico. 01: cilindro de CO_2; 02: compressor de ar; 03: filtro com regulador de pressão; 04: maximizador; 05: cilindro extrator; 06: frasco coletor do extrato; 07: banho termostático; 08: válvula gaveta; 09: válvula globo; 10: manômetro.

A camisa tem por finalidade permitir o controle da temperatura pelo uso de um banho termostatizado (± 0,1°C) (Tecnal® modelo TE-184), em aço inox, com altura de 30,0 cm e diâmetro interno de 2,35 cm (volume 518,0 mL). A pressão foi regulada através de um filtro regulador de ar Schulz® (modelo global class), alimentado por um compressor Schulz® CSL 10/60 com capacidade máxima de 9,7 bar, e *maximizator* Maxpro® DLE-30-1-UU-M com razão de pressão 1:30 (± 5 bar). Filtro de aço inox poroso Mott®, porosidade padrão de 100 mícron, utilizado para que a amostra vegetal não fosse arrastada junto com o extrato. O solvente dióxido de carbono foi fornecido pela Air Liquide®, com grau de pureza de 99,9%.

2.4 Planejamento experimental

No presente estudo, avaliou-se a influência de 2 fatores, bem como suas possíveis interações: Temperatura (ºC) e Pressão (bar). Realizou-se um planejamento fatorial completo 3^2. Após escolher o tipo de planejamento definiu-se o nível de variação -1, 0 e +1 para cada um dos dois fatores em estudo. As variáveis e seus respectivos níveis de variação são mostrados na Tabela 1.

Posteriormente à realização do planejamento, aplicou-se a Metodologia das Superfícies de Resposta (MSR), com o objetivo de obter as condições ótimas de operação. Para as análises estatísticas utilizou-se o *software Statistica* 6.0®.

2.5 Testes de cinética de extração

Para os testes de cinética, utilizou-se 20 g de café torrado a uma pressão de 220 bar e 50 °C, sendo essas as condições intermediárias de pressão e temperatura empregadas posteriormente nos ensaios de rendimento.

2.6 Análise por cromatografia em camada delgada

Para verificar qualitativamente a composição química do extrato obtido, foi utilizada a técnica de cromatografia em camada delgada. Os extratos foram dissolvidos em n-hexano (Pureza Analítica) e aplicados sobre placas de sílica Gel 60 F254 (Merck®) como fase estacionária. Paralelamente, foram preparadas as cubas cromatográficas contendo as fases móveis em diferentes proporções de solventes: hexano, clorofórmio, acetato de etila e etanol. Para revelar as diferentes classes de compostos foram utilizados reveladores específicos, conforme descrito por Harborne (1998): anisaldeído sulfúrico para terpenóides e esteróides, Dragendorff para alcalóides, cloreto férrico 3% para flavonoides e taninos e luz UV em 356 nm para cumarinas.

TABELA 1 - Fatores e níveis estudados durante a triagem no Planejamento Experimental.

Fatores	Níveis de variação dos fatores		
	-1	0	+1
Temperatura (ºC)	40	50	60
Pressão (bar)	180	220	260

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Cinética de extração

A otimização de um processo industrial de ESC requer o conhecimento de dados termodinâmicos e, além disso, a avaliação de dados cinéticos (taxa de transferência de massa). Deste modo, a representação da cinética da ESC é feita através da construção da curva de extração, a qual normalmente é apresentada como um gráfico da massa acumulada de extrato em função do tempo de extração, conforme visualizado na Figura 3.

O teste de cinética de extração foi realizado com o intuito de avaliar e definir a condição operacional mais adequada, em relação ao tempo de extração a ser utilizado nos experimentos.

Observando-se a Figura 3, é possível constatar que após um período de 210 minutos a quantidade de extrato obtido dos grãos de café torrado (20 g), é em torno de 7% em massa. Comparando-se a quantidade obtida de extrato com a relatada por Araújo e Sandi (2006) percebe-se que o valor encontra-se um pouco abaixo do valor reportado pelos autores, porém, encontra-se próximo dos dados relatados por Albuquerque (2008). Tendo em vista que, após este período, tem-se um gasto energético adicional sem obter quantidades consideráveis de extrato, tomou-se este como o tempo padrão, tanto na extração do café torrado como do café verde; parametrizou-se a variável tempo, a fim de garantir que a etapa de difusão fosse alcançada reafirmando que tempos maiores de processo não apresentaram um incremento considerável na massa de extrato obtida.

3.2 Extração do café torrado

Considerando as variáveis independentes, temperatura e pressão, 20 gramas de café foram adicionados na câmara de extração. Os ensaios do planejamento fatorial 3^2 da extração dos frutos de café arábico 'Mundo Novo', com CO_2 supercrítico, resultaram em diferentes rendimentos (variável resposta), conforme pode ser visualizado na Tabela 2.

Na Tabela 3, apresentam-se os valores obtidos para os efeitos referentes aos fatores Temperatura (ºC) e Pressão (bar), utilizando o café torrado, e seus respectivos índices estatísticos. Através da análise de efeito, foi constatado que somente a variável pressão teve influência significativa no rendimento da extração com CO_2 supercrítico.

Analisando-se a Tabela 3 e a Figura 4 do gráfico de Pareto, verifica–se que o fator temperatura e as duas variáveis conjuntas (temperatura e pressão) não apresentaram influências significativas, somente o termo linear (L) da pressão é significativo para um intervalo de confiança de 95%, como é confirmado pelos índices estatísticos apresentados.

Também, pode-se observar que os termos lineares da Temperatura e Pressão apresentam valores de efeitos positivos, ou seja, um aumento destas variáveis ocasiona um aumento na variável resposta (Rendimento de extração). O comportamento do valor do rendimento observado pode ser explicado devido à variação da solubilidade de compostos que possam estar presentes no extrato, como por exemplo, a cafeína, que aumenta com a pressão (SALDAÑA; MAZZAFERA; MOHAMED, 1997; STAHL; SCHILZ, 1979), consequentemente aumentando o rendimento da extração. O efeito da interação dos termos lineares (1L e 2L) é o segundo maior valor em módulo. Isso é atribuído principalmente a uma interação entre os efeitos de pressão de vapor que aumenta com a temperatura e o efeito da densidade do solvente que diminui com a temperatura, o que resulta na redução da solubilidade. Também, cabe salientar que com pressões maiores de 190 bar (19 MPa), as solubilidades comportam-se normalmente, aumentando com a temperatura (SALDAÑA; MAZZAFERA; MOHAMED, 1997).

A Figura 5 apresenta as curvas de nível correspondentes à superfície de resposta gerada pelo modelo quadrático.

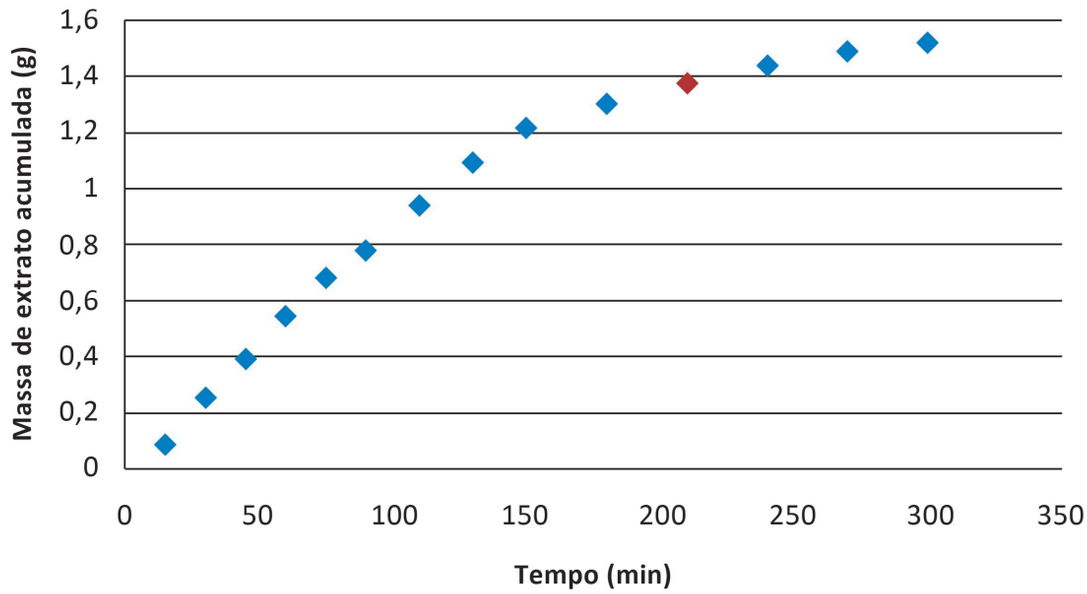

FIGURA 3 - Rendimento da ESC-CO_2 em relação ao tempo de extração para grão de café torrado.

TABELA 2 - Matriz experimental fatorial completa 3^2 para o rendimento de extrato do café torrado.

Temperatura (ºC)	Pressão (bar)	Rendimento (%)
1	-1	3,7167
-1	-1	4,7796
1	0	7,2349
0	-1	4,8449
-1	0	6,0461
-1	1	7,2463
0	0	5,9657
0	1	7,4205
1	1	7,5243

TABELA 3 - Cálculo dos efeitos e respectivos índices estatísticos para a extração do café torrado.

	Efeito	Erro Padrão	Teste t de Student (3)	Nível p	-95%Limite de Confiança	95%Limite de Confiança
Média/Interações	6,086	0,226	26,973	0,00011	5,368	6,805
(1) Temperatura (ºC) (L)	0,135	0,553	0,244	0,82322	-1,624	1,894
Temperatura (ºC) (Q)	-0,014	0,479	-0,030	0,97802	-1,538	1,510
(2) Pressão (bar) (L)	2,950	0,553	5,337	0,01286	1,191	4,709
Pressão (bar) (Q)	0,493	0,479	1,031	0,37840	-1,030	2,017
1L e 2L	0,670	0,677	0,990	0,39499	-1,484	2,825

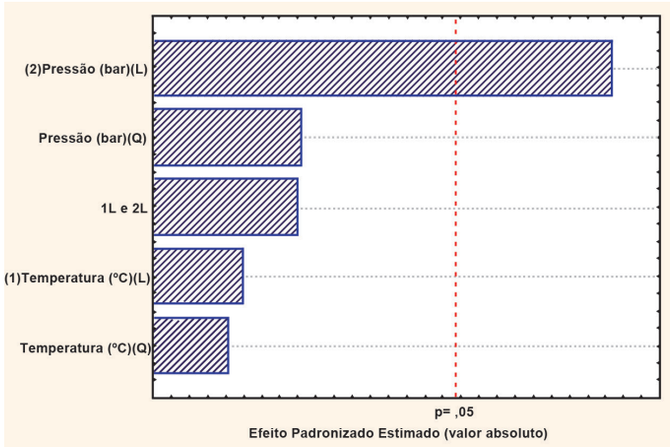

FIGURA 4 - Gráfico de Pareto para rendimento de extração do café torrado.

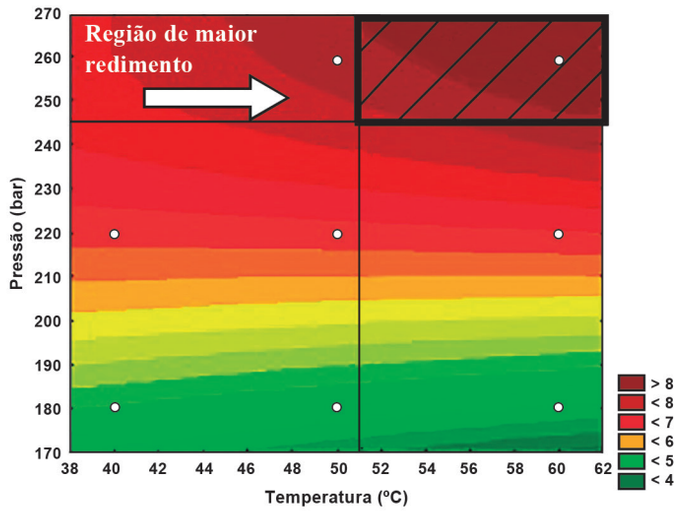

FIGURA 5 - Curvas de nível para os fatores Pressão e Temperatura do rendimento do café torrado.

Na Figura 5, é possível verificar que, com o aumento da Pressão e da Temperatura o rendimento de extrato aumenta após o processo supercrítico e encontra-se num nível máximo na região compreendida pela pressão de 245,8 a 270 bar e temperatura 50,8 a 62ºC. O modelo para a extração supercrítica do café torrado é representado pela Equação 1 (Coeficiente de Correlação é de 0,9542).

$$Rend = 6{,}086 + 0{,}067\ T - 0{,}007\ T^2 + 1{,}475\ P + 0{,}247\ P^2 + 0{,}335\ T.P \qquad (1)$$

onde: Rend = Rendimento da extração supercrítica (g de extrato/ g de café torrado);

T = Temperatura (ºC) e P = Pressão (bar).

3.3 Extração do café verde

As extrações com o café verde seguiram as mesmas condições realizadas com o café torrado onde 20 gramas de café foram adicionados à câmara de extração e os resultados experimentais podem ser visualizados na Tabela 4.

Na Tabela 5, apresentam-se os valores obtidos para os efeitos referentes aos fatores Temperatura (ºC) e Pressão (bar) na extração supercrítica realizada no café verde e seus respectivos índices estatísticos.

Analisando-se a Tabela 5 e a Figura 6 do gráfico de Pareto, verifica–se que nenhum dos fatores estudados (Pressão e Temperatura) se mostrou significativo, como é confirmado pelos índices estatísticos apresentados.

TABELA 4 - Matriz experimental fatorial completa 3^2 para o rendimento de extrato do café verde.

Temperatura (ºC)	Pressão (bar)	Rendimento (%)
1	-1	2,8322
-1	-1	2,2575
1	0	2,8352
0	-1	3,6770
-1	0	3,4108
-1	1	3,5019
0	0	3,5404
0	1	3,0801
1	1	3,2114

TABELA 5 - Cálculo dos efeitos e respectivos índices estatísticos para a extração do café verde.

	Efeito	Erro Padrão	Teste t de Student (3)	Nível p	-95%Limite de Confiança	95%Limite de Confiança
Média/Interações	3,150	0,176	17,929	0,000378	2,59055	3,708673
(1) Temperatura (ºC) (L)	-0,097	0,430	-0,226	0,835914	-1,46655	1,272284
Temperatura (ºC) (Q)	0,424	0,373	1,139	0,337534	-0,76162	1,610284
(2) Pressão (bar) (L)	0,342	0,430	0,795	0,484535	-1,02718	1,711651
Pressão (bar) (Q)	0,169	0,373	0,453	0,681355	-1,01717	1,354734
1L e 2L	-0,433	0,527	-0,821	0,471881	-2,10979	1,244587

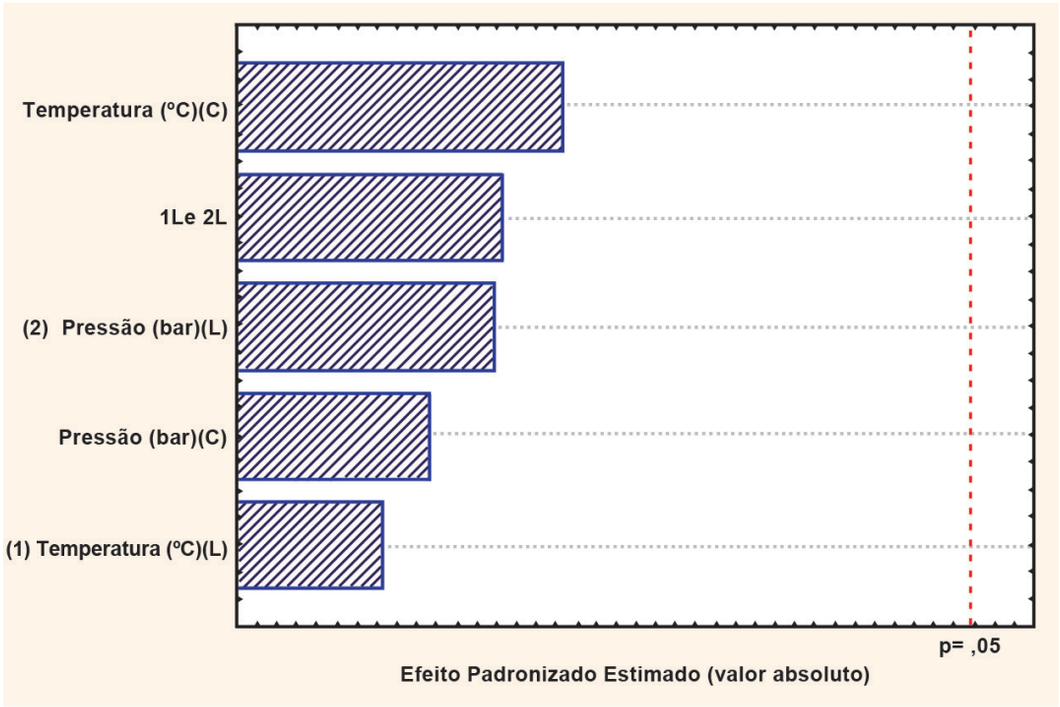

FIGURA 6 - Gráfico de Pareto do rendimento de extração do café verde.

Através da Figura 7, observam-se as curvas de nível correspondentes à superfície de resposta gerada pelo modelo quadrático.

Na Figura 7, verifica-se que com o aumento da Pressão em uma região intermediária da Temperatura, o rendimento de extrato aumenta após o processo supercrítico e encontra-se num nível máximo, na região de processo compreendida pela pressão 212 a 270 e temperatura 42,1 a 53,3ºC. O modelo para a extração supercrítica do café verde é representado pela Equação 2 (Coeficiente de Correlação é de 0,6985).

$$Rend = 3,145 - 0,048\ T + 0,212\ T^2 + 0,171\ P + 0,084\ P^2 - 0,216\ T.P \qquad (2)$$

onde: Rend = Rendimento da extração supercrítica (g de extrato/ g de café verde); T = Temperatura (ºC) e P = Pressão (bar).

Os rendimentos encontrados nas extrações do café torrado de 7,52% e do café verde de 3,68% ficaram abaixo dos relatados na literatura devido às condições principalmente de pressão e granulometria dos grãos. Albuquerque (2008) relata que a extração do café verde apresentou rendimentos superiores a 4% para grãos moídos a 16 mesh e 8% para grãos moídos em uma granulometria menor, utilizando 50°C de temperatura, 30 Mpa de pressão e um tempo de extração de 2h. Em outro trabalho, Araújo e Sandi (2006) obtiveram rendimentos entre 10 e 15% para a extração de grão de café verde e torrado respectivamente, com pressões de até 380 bar e temperatura de 70°C.

As análises cromatográficas empregadas nos extratos de café verde e torrados mostraram a presença de alcalóides, esteróis, flavonóides e compostos terpênicos. Nessas amostras não foram detectadas a presença de cumarinas e taninos.

Comparando os resultados obtidos no café torrado e no café verde, observou-se que existe uma diferença significativa no processo de extração supercrítica entre os cafés, observando um aumento médio no rendimento da extração de mais de 100% de extrato/g, entre os cafés verdes e torrados.

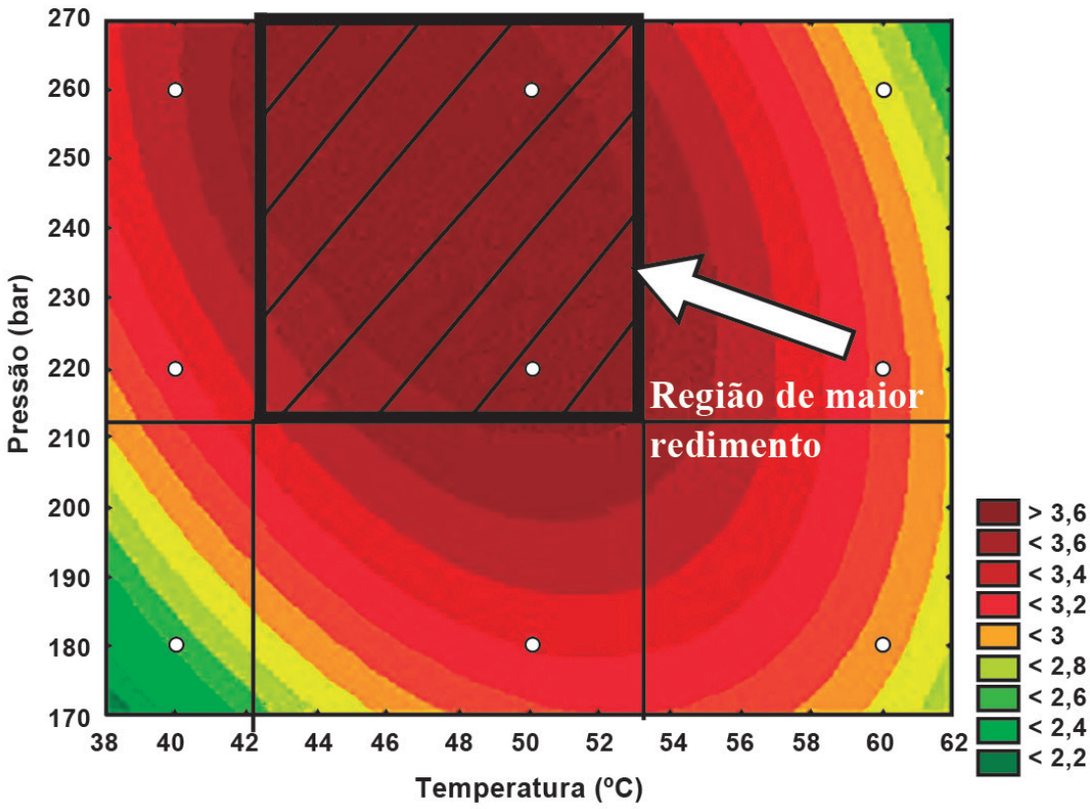

FIGURA 7 - Curvas de nível para os fatores Pressão e Temperatura do rendimento do café verde.

4 CONCLUSÕES

Para o planejamento experimental da extração do óleo essencial do café, os resultados obtidos mostraram que apenas é significativo o efeito da pressão, quando se trata do café torrado enquanto que, para o café verde nenhum dos efeitos, tanto a pressão como a temperatura, foram significativos. O rendimento dos óleos nas melhores condições ficou em torno de 7,52% para o café torrado e 3,68% para o café verde.

5 REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, C. L. C. **Extração supercrítica de matrizes vegetais oleaginosas:** rendimento global, cinética de extração, composição química e atividade antioxidante. 2008. 120 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2008.

ARAÚJO, J. M. A.; SANDI, D. Extraction of coffee diterpenes and coffee oil using supercritical carbon dioxide. **Food Chemistry**, Oxford, v. 101, n. 3, p. 1087-1094, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE CAFÉ. **Produção mundial de café:** principais países produtores. Disponível em: <http://www.abic.com.br>. Acesso em: 30 ago. 2013.

AZEVEDO, A. B. A. et al. Extraction of caffeine, chlorogenic acids and lipids from green coffee beans using supercritical carbon dioxide and co-solvents. **Brazilian Journal of Chemical Engineering**, São Paulo, v. 25, p. 543-552, 2008.

CALVO, L.; TELLO, J.; VIGUERA, M. Extraction of caffeine from Robusta coffee (Coffee canephora var. Robusta) husks using supercritical carbon dioxide. **Journal of Supercritical Fluids**, Amsterdam, v. 59, p. 53-60, 2011.

CRUZ, M. V. et al. Production of polyhydroxyalkanoates from spent coffee grounds oil obtained by supercritical fluid extraction technology. **Bioresource Technology**, London, v. 157, p. 360-363, 2014.

DANG, Y. Y. et al. Preparative isolation and purification of six volatile compounds from essential oil of Curcuma wenyujin using high-performance centrifugal partition chromatography. **Journal Separation Science**, Weinheim, v. 33, n. 11, p. 1658-1664, 2010.

FERREIRA, S. R. S.; DANIELSKI, L.; MICHIELIN, E. M. Z. Horsetail (*Equisetum giganteum L.*) oleoresin and supercritical CO_2: experimental solubility and empirical data correlation. **Journal of Food Engineering**, Philadelphia, v. 78, p. 1054-1059, 2007.

FERREIRA, S. R. S. et al. Composition profile of horsetail (*Equisetum giganteum* L.) oleoresin: comparing SFE and organic solvents extraction. **Journal of Supercritical Fluids**, Amsterdam, v. 33, p. 131-138, 2005.

FERREIRA, S. R. S. et al. Supercritical fluid extraction from spent coffee grounds and coffee husks: antioxidant activity and effect of operational variables on extract composition. **Talanta**, Amsterdam, v. 88, p. 544-552, 2012.

FRANÇA, L. F. et al. Supercritical extraction of carotenoids and lipids from buriti (Mauritia flexuosa), a fruit from the Amazon region. **Journal of Supercritical Fluids**, Amsterdam, v. 14, p. 247-256, 1999.

HARBORNE, J. B. **Phytochemical methods:** a guide to modern techniques of plant analysis. 3rd ed. London: Chapman & Hall, 1998.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. 4. ed. São Paulo: IMESP, 2008. 99 p.

LAROZE, L. E. et al. Extraction of antioxidants from several berries pressing wastes using conventional and supercritical solvents. **European Food Research and Technology**, Munique, v. 231, n. 5, p. 669-677, 2010.

MAZZAFERA, P. et al. Extraction of green coffee oil using supercritical carbon dioxide. **Journal of Supercritical Fluids**, Amsterdam, v. 44, p. 186-192, 2008.

MELO, M. M. R.; SILVESTRE, A. J. D.; SILVA, C. M. Supercritical fluid extraction of vegetable matrices: applications, trends and future perspectives of a convincing green technology. **Journal of Supercritical Fluids**, Amsterdam, v. 92, p. 115-176, 2014.

MORAIS, S. A. L. et al. Alise química de café arábica (*Coffea arabica L.*) e grãos pretos, verdes e ardidos (pva) submetidos a diferentes graus de torração. **Coffee Science**, Lavras, v. 2, n. 2, p. 97-111, jul. 2007.

NAIDU, M. M. et al. Studies on extraction and antioxidant potential of green coffee. **Food Chemistry**, Oxford, v. 107, p. 377-384, 2008.

RAMSAY, M. E. et al. Processing rice bran by supercritical fluid extraction. **Food Technology**, Chicago, v. 45, p. 98-104, 1991.

SALDAÑA, M. D. A.; MAZZAFERA, P.; MOHAMED, R. S. Extração dos alcalóides: cafeína e trigonelina dos grãos de café com c supercrítico. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 17, p. 371-376, 1997.

SANDI, D. **Extração e óleos e diterpenos do café com CO_2 supercrítico**. 2003. 155 p. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2003.

SCHOLZ, M. B. S. et al. Características físico-químicas de grãos verdes e torrados de cultivares de café *(coffea arabica L.*) do IAPAR. **Coffee Science**, Lavras, v. 6, n. 3, p. 245-255, 2011.

SILVA, C. de B. et al. Desenvolvimento e avaliação preliminar da estabilidade de emulsão não-iônica O/A contendo óleo de café verde como potencializador de fator de proteção solar. **Revista Brasileira Farmácia**, Rio de Janeiro, v. 91, p. 82-88, 2011.

SILVA, C. M. et al. Optimization of the supercritical fluid coextraction of oil and diterpenes from spent coffee grounds using experimental design and response surface methodology. **Journal of supercritical Fluids**, Amsterdam, v. 85, p. 165-172, 2014.

SOUZA, R. M. N. et al. Teores de compostos bioativos em cafés torrados e moídos comerciais. **Química Nova**, São Paulo, v. 33, p. 885-890, 2010.

SOUZA, T. J. T. et al. Composição química e atividade antioxidante do óleo volátil de Eupatorium polystachyum DC. **Revista Brasileira de Farmacognosia**, João Pessoa, v. 17, n. 3, p. 368-372, set. 2007.

STAHL, E.; SCHILZ, W. Mikroanalytische untersuchungen zur Löslichkeit von Naturstoffen in überkritischem Kohlendioxid. **Talanta**, Amsterdam, v. 26, n. 8, p. 675-679, 1979.

TRUGO, L. C.; MACRAE, R. Application of high performance liquid chromatography to the analysis of some non-volatile coffee components. **Archivos Latinoamericanos de Nuticion**, Caracas, v. 39, n. 1, p. 97-107, 1989.

TURATTI, J. M. Extração e caracterização de óleo de café. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 2., 2001, Vitória. **Resumos Expandidos...** Brasília: EMBRAPA-Café, 2001. p. 1533-1539.

VASAPOLLO, G. et al. Innovative supercritical CO_2 extraction of Lycopene from tomato in the presence of vegetable oil as co-solvent. **Journal of Supercritical Fluids**, Amsterdam, v. 29, n. 1/2, p. 87-96, 2004.

PROPOSTA DE MÉTODO PARA INSPEÇÃO EM PULVERIZADORES HIDROPNEUMÁTICOS

Renato Adriane Alves Ruas[1], Diego Sichocki[2], Luciel Rauni Dezordi[3], Alberto Carvalho Filho[4], Pedro Ivo Vieira Good God[5]

(Recebido: 17 de março de 2014; aceito: 23 de julho de 2014)

RESUMO: Os pulverizadores hidropneumáticos transformam a calda em gotículas por meio da passagem do líquido sob pressão, através de bicos hidráulicos. Na sequência, uma forte corrente de ar fraciona novamente as gotas e as transporta até os alvos. São poucos os trabalhos sobre inspeção dessas máquinas, sobretudo pela complexidade do seu funcionamento. Objetivou-se, neste trabalho, propor método simples e prático para coleta de dados relativos à inspeção de pulverizadores hidropneumáticos. O método proposto foi testado em trinta pulverizadores hidropneumáticos, utilizados nas lavouras de café na região do Alto Paranaíba-MG. Verificou-se o volume e o índice de pulverização utilizado nas propriedades empregando-se o método do volume de vegetação. Verificou-se também o volume de ar produzido pelo ventilador dos pulverizadores, para observar se era condizente com o valor especificado pelo fabricante. Construiu-se uma estrutura vertical de 3 m de altura para coleta do líquido pulverizado, a fim de se determinar a uniformidade de distribuição volumétrica ao longo das plantas pulverizadas. Empregou-se o teste de qui-dradado (χ^2) para a verificação da adequação do volume pulverizado ao volume vegetativo. O volume médio pulverizado (581 L ha^{-1}) foi classificado como médio. Entretanto, o índice de volume médio (59 L 1000^{-3}) foi considerado elevado. Os volumes pulverizados necessitam de adequações de acordo com as diferentes partes pulverizadas das plantas. Concluiu-se que o método proposto é factível para a avaliação de pulverizadores hidropneumáticos.

Termos para indexação: Tecnologia de aplicação, pulverização, mecanização.

PROPOSED METHOD FOR INSPECTION IN SPRAY HYDROPNEUMATIC

ABSTRACT: *The hydropneumatic sprayers transform the slurry into droplets by passing liquid under pressure through pressure nozzles. Following a strong current of air, drops splits again and carries up targets. There are few studies on inspection of these machines, especially the complexity of its operation. Thus, the objective was to propose simple and practical methodology for collecting data relating to the inspection of hydropneumatic sprayers. The proposed methodology was tested in thirty hydropneumatic sprayers used in the coffee plantations in the Alto Paranaíba – MG region. There was spray volume and index properties used in employing the method the volume of vegetation. There was also the volume of air produced by the fan sprayers in order to observe whether it was consistent with the value specified by the manufacturer. Constructed a vertical structure 3 m high to collect the pulverized in order to determine the volumetric distribution uniformity along the liquid sprayed plants. We used the chi square (χ2) to verify the adequacy of the sprayed vegetation volume. The average spray volume (581 L ha-1) was rated as medium. However, the index of average volume (59 L 1000-3) was considered high. The spray volumes need to be adjusted according to the different parts of the sprayed plants. It was concluded that the proposed methodology is feasible for the evaluation of hydropneumatic sprayers.*

Index terms: *Application technology, spray, mechanization.*

1 INTRODUÇÃO

Os pulverizadores hidropneumáticos são máquinas muito importantes no controle de pragas e doenças que atacam lavouras de café. O princípio básico de funcionamento dessas máquinas baseia-se na passagem de líquido pressurizado através de bicos hidráulicos. Em seguida, o líquido se depara com intensa corrente de ar produzida por um ventilador acionado pela tomada de potência do trator, que também realiza certa fragmentação do líquido, mas possui outra finalidade, que é transportar as gotas para o interior da copa do cafeeiro.

Estes pulverizadores apresentam certa complexidade quanto à forma de realizarem os controles fitossanitários, pois, ao fragmentarem a calda duas vezes, produzem gotas muito pequenas e, portanto, susceptíveis à deriva. Ademais, caso o ventilador não seja bem dimensionado, pode lançar as gotas a distâncias além da copa das plantas, podendo resultar em contaminação de outras áreas. Higashibara et al. (2013) afirmam que a aplicação com pulverizadores hidropneumáticos se caracteriza como um processo bastante ineficiente, devido às perdas comumente ultrapassarem mais da metade dos produtos aplicados.

Desta forma, são aplicados elevados volumes de calda, no intuito de atingir os alvos que, nesse caso, são de difícil acesso. Porém, isso vem de encontro à tendência atual da boa prática agrícola que é a redução dos volumes de caldas aplicados, visando, além da menor contaminação ambiental, redução de custos com transporte de água e mão de obra.

[1,2,3,4,5] Universidade Federal de Viçosa/UFV - Campus de Rio Paranaíba-MG - Cx. P. 22 38.810-000 - Rio Paranaíba renatoruas@ufv.br, diegolns@yahoo.com.br, luciel.dezordi@gmail.com, acarvalhofilho@ufv.br, pedro.god@ufv.br

Outro ponto importante de ser analisado com relação aos pulverizadores hidropneumáticos é com relação à sua regulagem e calibração. O ajuste do volume de calda a ser aplicado, a vazão de ar do ventilador e a velocidade de deslocamento, devem ser compatíveis com o volume de vegetação da lavoura, visando a colocação da quantidade adequada do produto de acordo com o estádio de desenvolvimento das plantas.

Assim, a determinação do volume de pulverização para culturas arbóreas deve ser feita empregando-se o método do volume de vegetação das plantas ou Tree Row Volume (TRV) (MEWES et al., 2011). Esse método foi desenvolvido por Sutton e Unrath (1988), e consiste na determinação do volume de vegetação existente em um hectare para que seja empregado o índice volumétrico, que representa o volume de calda aplicado por cada 1000 m^{-3} de vegetação. Dessa forma, é muito importante que o operador seja treinado para que possa fazer regulagem e calibração adequada. Porém, o que se observa na prática, é que maior atenção sempre é dada ao produto a ser aplicado e menor ao equipamento e à qualificação dos operadores.

Uma das possíveis maneiras de se alterar esse cenário é estimular agricultores e técnicos a qualificarem seus operadores e manterem seus pulverizadores em condições adequadas de uso. Para tanto, a realização obrigatória de inspeções periódicas nos pulverizadores pode ser uma solução (SANTOS; MACIEL, 2006). Em alguns países da Europa isso já é realidade. Um dos países pioneiros nesse tipo de inspeção foi a Alemanha que, desde 1960, já realiza inspeções para se garantir a qualidade da aplicação. Naquele país, a inspeção é obrigatória desde 1993, e entre 2006 e 2008 foram inspecionados 72.806 pulverizadores (DORNELLES et al., 2009). Nessas inspeções, pulverizadores que não se enquadram em condições técnicas adequadas de uso, são proibidos de operar por apresentarem riscos às pessoas e ao meio ambiente. Na Bélgica, as inspeções são feitas obrigatoriamente nos hidropneumáticos, desde 1995 e, entre 2006 e 2008, foram avaliados 729 equipamentos, sendo que, entre esses, alguns apresentavam defeitos que podiam levar à proibição de sua utilização (RAMOS; CORTÉZ, 2006).

No Brasil, a realização de inspeções periódicas de pulverizadores é mais recente e ainda não é instituída por lei, resumindo-se apenas a algumas ações de centros de pesquisas, instituições de ensino e cooperativas. Fey (1998) realizou o primeiro trabalho de inspeção no Brasil, em que foi avaliada a condição de pulverizadores de cooperados de uma cooperativa do estado do Paraná. Naquela oportunidade, foram constatadas diversas condições inadequadas, sobretudo quanto ao funcionamento dos manômetros. Em Friburgo-SC foi verificado que, em média, os pulverizadores hidropneumáticos aplicam 12,6% além do volume de calda desejado em função do desgaste das pontas hidráulicas (KREUZ et al., 2003).

Em geral, pouca pesquisa tem sido realizada no Brasil, a fim de se popularizar as inspeções nos pulverizadores hidropneumáticos. Uma das razões possíveis de explicar esse fato é à falta de metodologias e equipamentos disponíveis no mercado para a coleta de dados relativos à operação desses pulverizadores. Dentre os principais desafios, pode-se destacar a coleta de líquido na posição vertical a fim de se determinar a uniformidade de distribuição volumétrica e os efeitos da corrente de ar do ventilador nas avaliações.

Objetivou-se neste trabalho, propor um método simples e prático para inspeção de pulverizadores hidropneumáticos, contribuindo para a implantação de inspeção periódica dessas máquinas, em qualquer região agrícola do País.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O método proposto foi adaptado (SANTOS; MACIEL, 2006) e testado em trinta pulverizadores hidropneumáticos utilizados em lavouras de café, na região do Alto Paranaíba-MG, durante o ano de 2012. A seleção dos pulverizadores foi feita a partir de lista preestabelecida com cooperativas de cafeicultores e associações de produtores rurais. As avaliações foram realizadas sempre logo após as pulverizações terem sido realizadas na propriedade.

Avaliou-se a qualidade das pontas dos pulverizadores comparativamente à vazão esperada por uma ponta nova, de acordo com informações do fabricante. Para a coleta de líquido, utilizou-se mangueira flexível acoplada diretamente no bico, que direcionou toda a água pulverizada para garrafas PET, organizadas em caixa plástica. A mangueira variou de 1 a 2 m e era acoplada diretamente na ponta de pulverização para evitar que, nas pontas superiores, ocorresse perda de calda pelo fato de a ponta se encontrar em ângulo oposto à direção do solo, nesses pulverizadores. Após o acionamento da bomba hidráulica por três minutos, a fim de estabilizar a vazão em todas as pontas, iniciou-se a coleta da água no recipiente coletor e disparou-se o cronômetro.

A cada 5 segundos, se iniciava a coleta da água em um novo recipiente, que correspondia a uma ponta diferente. Ao se passarem dois minutos, a coleta era interrompida, respeitando 5 segundos de intervalo entre um recipiente e outro, conforme a ordem de colocação (RODRIGUES et al., 2008). Depois, foi verificada a massa de água coletada nas garrafas PET, com o auxílio de balança de precisão com capacidade para 15 kg e resolução de 5 g. A operação foi repetida três vezes, em cada pulverizador. Em seguida, determinou-se o desvio padrão volumétrico das pontas. Foi considerado adequado o desvio que não ultrapassasse 10%, em relação à vazão proporcionada por uma ponta nova (BALAN et al., 2006). Com a vazão das pontas, procedeu-se à determinação do volume real de calda aplicada (Equação 01).

$$V_p = \frac{60 \times N_b \times q}{0{,}1 \times F_v} \quad (01)$$

onde:
Vp = volume real de calda aplicada (L ha^{-1});
N_b = número de bicos;
q= vazão média das pontas (L min^{-1});
F = espaçamento entre ruas da cultura (m), e,
V = velocidade (km h^{-1}).

Previamente, foi perguntado para os operadores qual o volume de pulverização utilizado na última aplicação e o valor informado foi comparado com os valores obtidos na determinação do volume real de calda aplicada. Caso houvesse diferença entre esses valores, ela seria considerada como sendo o erro na taxa de aplicação. O limite de erro para que a calibração fosse considerada aceitável foi de 5%, para mais ou para menos, conforme proposto por Landers (2010).

Determinou-se também o volume de ar produzido pelo ventilador dos pulverizadores (Equação 02), comparando-o com o valor especificado pelo manual do fabricante.

$$Q = \sum_{i=1}^{i=n} \times a_i \times \omega_{0i} \quad (02)$$

onde:
Q = vazão de ar (m^3 s^{-1});
a_i = áreas da seção onde se realizam as medições da velocidade do vento (m^2); e,
ω_{0i} = velocidade em cada ponto (m s^{-1}).

A velocidade do ar foi medida com anemômetro digital AD-250 com resolução de 0,1 m s^{-1} posicionado a 0,10 m da saída de ar. A leitura foi realizada duas vezes em cada seção de saída de ar da turbina do pulverizador. Neste trabalho, admitiu-se variação de 10% de volume de ar, em relação ao valor especificado pelo fabricante do pulverizador. Empregou-se a correlação de Pearson, para a análise da vazão de ar produzida pelo ventilador.

Para verificar a uniformidade de distribuição volumétrica dos pulverizadores, foi construída uma mesa vertical para tal finalidade. Ela foi composta por 20 tubos de PVC com 0,5 m de comprimento, tendo uma das extremidades fechada e a outra cortada em formato de bisel. Os tubos foram fixados em uma haste de metalon, com dimensões de 0,03 x 0,03 m e 3 m de altura, em um ângulo de 45°, em relação ao plano horizontal. Construiu-se também uma base, a fim de estabilizar toda a estrutura. Na extremidade fechada de cada tubo, foi feita uma perfuração e nela foi adaptada uma mangueira siliconada com diâmetro de 0,01 m e comprimento suficiente para alcançar provetas graduadas com resolução de 2 ml e espaçadas a 0,05 m entre si, fixadas a uma bancada para análise da uniformidade de distribuição de líquido. Para realizar a coleta do líquido aplicado, o pulverizador foi deslocado em frente a essa estrutura um número vezes necessário para coletar volume de água que pudesse ser lido nas provetas da bancada. A análise da uniformidade de distribuição volumétrica vertical foi feita individualmente para os trinta pulverizadores, por meio do teste de χ^2.

Os percentuais de volume de calda depositados na bancada foram estratificados e comparados ao volume de vegetação das plantas nas quais havia sido realizada a aplicação anteriormente. A determinação do volume de vegetação (Equação 03) consistiu na medição da arquitetura e disposição das plantas na área (Equação 03).

$$TRV = \frac{H \times L \times 10000}{D} \quad (03)$$

onde:
TRV= Volume de vegetação (m^3 ha^{-1});
H= altura das plantas (m);
L= largura das plantas (m); e,
D= distância entre ruas da cultura (m).

Posteriormente, determinou-se o índice de volume de pulverização (Equação 04).

$$IV = \frac{Q \times 1000}{TRV} \quad (04)$$

onde:

IV= índice de volume de pulverização (L 1000 m^3 ha^{-1});

Q= volume de pulverização (L ha^{-1}); e,

TRV= volume de vegetação (m^3 ha^{-1}).

A análise da deposição de calda em relação ao volume de vegetação foi feita utilizando-se o teste de χ^2, em que a deposição esperada foi determinada de acordo com o volume vegetativo. A frequência esperada foi o volume de vegetação (E*i*) e a frequência observada (O*i*) foi o volume de calda depositado na bancada de avaliação. Caso o valor de χ^2 calculado fosse menor que o tabelado, aceitava-se o valor de distribuição volumétrico vertical do pulverizador como sendo adequado para o volume vegetativo.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Dos equipamentos avaliados, 17% apresentaram variação menor que 10% na vazão das pontas, em relação à média do conjunto. Na maioria dos casos (73%), os pulverizadores operavam em pressão condizente com as especificações técnicas. Todas as pontas apresentavam jato do tipo cônico vazio. Tais pontas operam em escala de pressões mais altas, sendo esse o motivo de se encontrar menor ocorrência de pulverizadores com pressões acima do recomendado.

Metade dos pulverizadores avaliados não aplicava o volume de pulverização recomendado. De modo geral, o erro na taxa de aplicação foi de 7,6% a menos do volume recomendado tendo como extremos, aplicações com 53,6% a mais e 54,8% a menos do recomendado. Gandolfo et al. (2013) observaram que 75,5% de pulverizadores dos avaliados no Norte do Paraná foram reprovados, por trabalharem com taxa de aplicação incorreta. Volumes de aplicação acima do recomendado oneram os custos de produção e aumentam a contaminação do ambiente. No caso deste trabalho, os volumes aplicados podem induzir a baixos índices de controle e ainda à resistência devido à aplicação de subdoses.

Apenas 17% dos ventiladores dos pulverizadores proporcionaram volume de ar com variação inferior a 10%, em relação ao valor informado pelo manual do fabricante (Tabela 01). A análise de Pearson detectou que, 46% dos dados de volume de ar (R^2: 0,46) são explicados pela rotação da tomada de potência. Os demais resultados são explicados em função de correias desgastadas ou mal tensionadas, que não transmitem a rotação adequada à hélice da turbina. Para os pulverizadores hidropneumáticos, esse é um fato muito importante, pois, influencia diretamente na uniformidade de distribuição do líquido pelas plantas. Com volumes de ar inferiores ao recomendado, o produto aplicado não alcançará todas as partes da planta que necessitam ser atingidas. E elevados volume de ar podem lançar o líquido para locais além das plantas, provocando deriva (BALAN et al., 2006).

O volume de pulverização encontrado (581 L ha^{-1}), pode ser classificado como "médio" de acordo com (MATTHEWS, 2002). Entretanto, o índice de volume de pulverização (59 L 1000^{-3}) foi, aproximadamente, o dobro do índice de volume de pulverização recomendado para pulverizações em culturas arbóreas na maioria dos países europeus, que é de 30 L 1000^{-3} de vegetação (DORNELLES, 2009). Ressalta-se que são necessários estudos adicionais com deposição e cobertura dos alvos para se verificar a eficácia biológica de controle do volume supracitado. Ramos et al. (2007), trabalhando com pulverizações em citros, observaram que a redução de 30% no volume pulverizado não afetou a quantidade de produto depositado nas plantas, o que representa ganho econômico e ambiental para o processo de produção.

A estrutura metálica construída para a coleta do líquido pulverizado mostrou-se adequada para as avaliações de distribuição de volume de calda e posterior correlação com o volume de vegetação, uma vez que, nenhuma lavoura avaliada ultrapassou 3 m de altura. Porém, para a avaliação de perdas de calda aplicada, sugere-se utilização de estrutura de aproximadamente cinco metros de altura, a fim de se interceptar o líquido pulverizado acima das plantas.

De acordo com o teste de qui-quadrado, a variação da distribuição volumétrica média observada foi de 19,5%, sendo que, em 63% dos casos, os pulverizadores não apresentam uniformidade de distribuição volumétrica vertical proporcional ao volume de vegetação. Esses resultados são reflexos das pontas que apresentaram variação na vazão, e ângulo que não condiz com o padrão de distribuição para as plantas de café.

TABELA 1 - Volume de vegetação (TRV), volume de pulverização, índice de volume de pulverização e vazão de ar da turbina de trinta pulverizadores hidropneumáticos, avaliados na Região do Alto Paranaíba-MG.

Pulverizador	TRV $m^3\ ha^{-1}$	Volume de pulverização $L\ ha^{-1}$	Índice de Volume $L\ 1000^{-3}$	Vazão de Ar $m^3\ s^{-1}$
1	8923	735	82	9,37
2	12250	417	34	24,73
3	8100	489	60	5,59
4	8100	401	50	11,53
5	10510	290	28	20,16
6	12656	505	40	20,81
7	8983	475	53	15,07
8	13679	502	37	17,51
9	2956	180	61	8,55
10	11007	447	41	15,08
11	19478	498	26	15,8
12	10360	562	54	14,23
13	10360	524	51	12,54
14	18648	618	33	19,31
15	3544	368	104	5,55
16	21287	2061	97	2,79
17	13460	419	31	10,25
18	13460	768	57	8,28
19	13460	597	44	9,58
20	8122	899	111	9,19
21	4176	381	91	5,86
22	12236	498	41	14,15
23	12236	505	41	17,86
24	11394	737	65	8,12
25	11394	594	52	10,32
26	10001	553	55	12,65
27	5145	779	151	12,06
28	11635	1070	92	15,21
29	7276	313	43	6,27
30	6563	232	35	4,13
Média	10.713	581	59	12
CV%	40	58	49	44

Observa-se que, de modo geral, o perfil de deposição dos volumes aplicados não acompanha o perfil de distribuição de vegetação das plantas. Nas partes mais baixas, o volume de líquido depositado é inferior ao volume de vegetação. Entretanto, nas partes mais altas da planta, verifica-se que elas recebem quantidade de líquido superior ao volume de vegetação (Figura 01). Esse formato de deposição ocorre devido ao direcionamento dos bicos de pulverização além do posicionamento das aletas de condução da cortina do ar, que tendem a direcionar a calda acima das plantas pulverizadas. Também sugere que aplicações, em culturas perenes, devem ser realizadas com adequação da faixa de pulverização proporcionada pelo equipamento de acordo com o layout da planta, sob pena de comprometer a eficácia do tratamento. No caso das observações feitas neste trabalho, pode ser que as pragas e doenças localizadas na parte mais baixa das plantas sejam controladas com menos eficácia em relação àquelas que normalmente se localizam nas partes mais altas. Alvarenga et al. (2013) sugerem que é possível obter boa uniformidade de distribuição ao longo do perfil vertical quando se altera o ângulo dos bicos de pulverização trabalhando com pulverizadores hidropneumáticos.

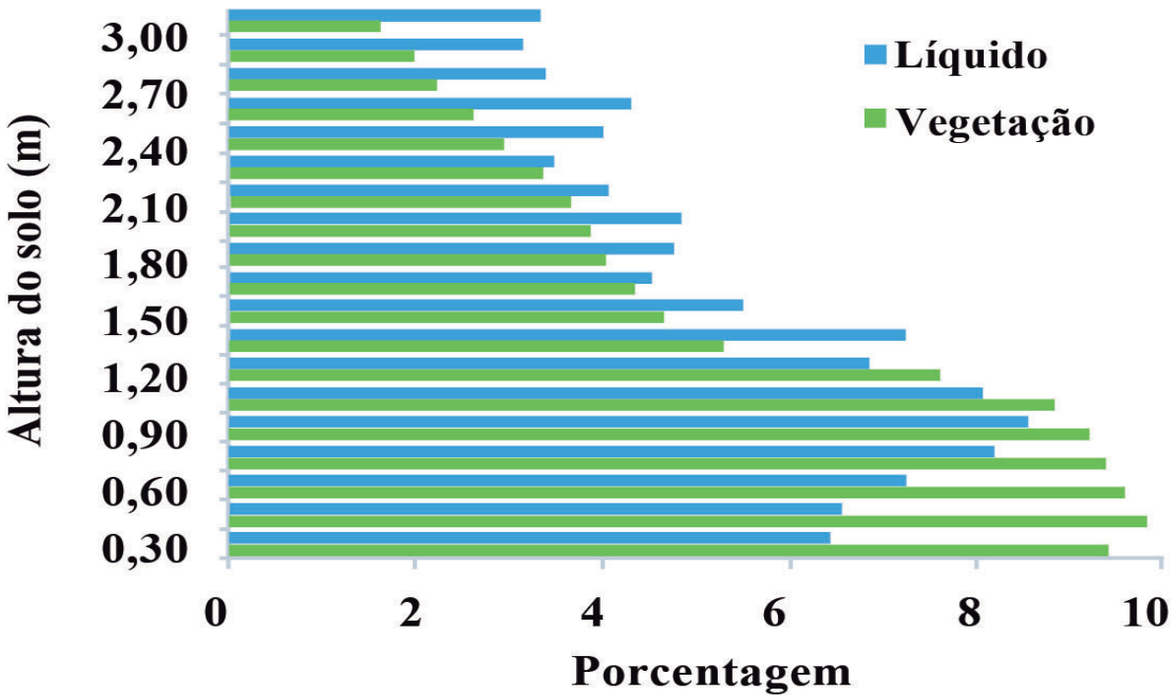

FIGURA 1 - Perfil de distribuição médio de volumes aplicados por pulverizadores hidropneumáticos, ao longo do volume vegetativo de plantas de café.

4 CONCLUSÕES

O método proposto é factível para a avaliação de pulverizadores hidropneumáticos, dispendendo poucos recursos e apresentando resultados confiáveis, podendo ser adotado por cafeicultores e técnicos em diferentes regiões agrícolas.

Apesar de aplicar volumes de pulverização considerados médios, em geral, os índices de volumes aplicados com os pulverizadores hidropneumáticos são elevados.

É necessária a realização de ajustes nos pulverizadores hidropneumáticos, a fim de se adequar a deposição dos volumes aplicados com as partes do cafeeiro a serem pulverizadas.

5 AGRADECIMENTOS

À FAPEMIG - Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais, pelo apoio financeiro para a realização desta pesquisa.

6 REFERÊNCIAS

ALVARENGA, C. B. *et al.* Controle automático do espectro de gotas de pulverizador hidropneumático em função do déficit de pressão de vapor d'água no ar. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 43, n. 1, p. 26-33, 2013.

BALAN, M. G. et al. Depósito e perdas de calda em sistema de pulverização com turboatomizador em videira. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 26, n. 2, p. 470-477, 2006.

DORNELLES, M. E. et al. Inspeção técnica de pulverizadores agrícolas: histórico e importância. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, n. 5, p. 1600-1605, 2009.

FEY, E. **Estado de arte do processo de pulverização junto a associados da COOPERVALE**. 1998. 26 p. Monografia (Graduação em Agronomia) - Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 1998.

GANDOLFO, M. A. et al. Periodic inspection of sprayers: diagnostic to the northern of Paraná. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 33, n. 2, p. 411-421, 2013.

HIGASHIBARA, L. et al. Turboatomizador e repasse com pistola manual na cobertura de pulverização de agrotóxicos em caquizeiro (*Diospyros kaki L.f.*). **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 43, n. 5, p. 845-849, 2013.

KREUZ, C. L. et al. Criação de valor na cultura da macieira: o caso do uso de pontas de pulverização adequadas nos tratamentos fitossanitários. In: ENCUENTRO ANUAL DE FINANZAS, 3., 2003, Santiago. **Anais…** Santiago: Facultad de Administración y Economía de la Universidad de Santiago, 2003. 1 CD-ROM.

LANDERS, A. J. Developments towards an automatic precision sprayer for fruit crop canopies. **Annual International Meeting**, Saint Joseph, v. 2950, n. 1008973, p. 49085-9659, 2010.

MATTHEWS, G. A. **Pesticide application methods**. 2nd ed. London: Longman, 2002. 405 p.

MEWES, W. L. C. et al. Deposição de calda em eucalipto utilizando pulverização pneumática. **Bioscince Journal**, Uberlândia, v. 27, n. 2, p. 283-288, 2011.

RAMOS, F. J. G.; CORTÉS, M. V. Inspección técnica de equipos para la aplicación de fitossanitário. **Vida Rural**, Zaragoza, v. 227, n. 1, p. 38-42, 2006.

RAMOS, H. H. et al. Características da pulverização em citros em função do volume de calda aplicado com turbopulverizador. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 27, p. 56-65, 2007. Número especial.

RODRIGUES, G. J. et al. Características do fluxo de ar de um pulverizador hidropneumático para aplicação de agroquímicos em plantas arbustivas. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 16, n. 2, p. 199-207, 2008.

SANTOS, S. R.; MACIEL, A. J. S. Proposta metodológica utilizando ferramentas de qualidade na avaliação do processo de pulverização. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 26, n. 2, p. 627-636, 2006.

SUTTON, T. B.; UNRATH, C. R. Evaluation of the tree-row-volume model for full season pesticide application on apples. **Plant Disease**, Madison, v. 72, n. 7, p. 629-632, 1988.

EVALUATION OF THE PHYSICAL WORKLOAD IN COFFEE PRODUCTION: BIOMECHANICAL AND PHYSIOLOGICAL ASPECTS

Marco Antônio Barbosa[1], Roberto Funes Abrahão[2], Mauro José Andrade Tereso[3], Renato Ribeiro de Lima[4], Liu Ying Chih[5]

(Recebido: 18 de março de 2014; aceito: 06 de agosto de 2014)

ABSTRACT: The main objective of this research was the assessment of the physical workload of farm coffee workers from southern Minas Gerais, Brazil. Twelve workers were reconded and their heart rate monitored during one hour execution of five different tasks, both on flat and sloping ground. The assessment of body postures adopted and the actions performed were achieved through the "Captiv" software. We attempted to correlate the results of the assessments and interpret them in the light of the observation of the activities of the workers. The most significant cardiovascular demands occurred in subtasks of foliar and manual fertilization, classifying them as moderate work. Harvesting and thinning were the subtasks that appeared to have the greatest variability of postural combinations: the harvest due to the variety of operating actions; the thinning, although only one relevant operational action, due to the very nature of the task. Either the cardiovascular or the biomechanical indicators revealed no statistically significant differences between the subtasks carried by workers in conditions of flat and sloping ground.

Index terms: Ergonomics, heart rate, postural combinations, workload, coffee growing.

AVALIAÇÃO DA CARGA FÍSICA DE TRABALHO NA PRODUÇÃO DE CAFÉ: ASPECTOS BIOMECÂNICOS E FISIOLÓGICOS

RESUMO: *Objetivou-se, nesta pesquisa, avaliar a carga física do trabalho na cafeicultura do sul de Minas Gerais, Brasil. Doze trabalhadores foram filmados e sua frequência cardíaca foi monitorada durante uma hora na execução de cinco diferentes tarefas, ambas em condições de terreno plano e em declive. Foram avaliadas as combinações posturais adotadas através do software "Captiv". Buscou-se correlacionar os resultados das avaliações e interpretá-los à luz da observação das atividades dos trabalhadores. As cargas cardiovasculares mais elevadas ocorreram nas subtarefas de adubação foliar e adubação a lanço, classificando-as como trabalho moderado. A colheita e a desbrota foram as subtarefas que apresentaram maior variabilidade de combinações posturais: a colheita devido à variedade de ações operacionais; a desbrota, apesar de uma única ação operacional relevante, por conta da própria natureza da tarefa. Tanto os indicadores cardiovasculares, como os biomecânicos não revelaram diferenças estatisticamente significativas entre as subtarefas desenvolvidas pelos trabalhadores, em condições de terreno plano e em declive.*

Termos de indexação: *Ergonomia, carga cardiovascular, combinações posturais, carga de trabalho, cafeicultura.*

1 INTRODUCTION

Agribusiness is responsible for 33% of Brazil's gross domestic product, 42% of total exports and 37% of Brazilians jobs, employing about 17.7 million workers, occupying a prominent position in the Brazilian economy. Coffee production is very important in the context of the Brazilian economy since Brazil is responsible for about a third of the world production, which makes the country the largest producer - a position maintained in the last 150 years. Brazil has a planted area of 2.3 million hectares, producing 3.05 million tons of coffee. The state of Minas Gerais is the largest producer in the country with 51,14% of the Brazilian production, around 1.56 million tones (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE, 2012).

There are many researches on coffee production regarding technical, agronomic or socioeconomic issues; few researches, however, try to identify the characteristics of the human workload of the coffee farming, under an ergonomic perspective. In that sense, a participatory ergonomics approach was used during two Nicaraguan shade-grown coffees harvesting seasons to reduce the physical load on harvesters with the use of a newly designed bag instead of a basket strapped around the waist. Among basket users, 84.2% reported pain in at least one body area compared to 78.9% of bag users. Nonetheless, 74% of participants liked the bag much more than the basket (SILVERSTEIN; BAO; RUSSEL, 2012).

[1]Universidade Federal de Lavras/UFLA - Departamento de Educação Física/DEF - Cx. P. 3037 - Lavras - MG - marco.fisio@def.ufla.br
[2,3,5]Universidade Estadual de Campinas/UNICAMP - Faculdade de Engenharia Agrícola - Av. Cândido Rondon, 50 - 13083-875 Campinas-SP - roberto@feagri.unicamp.br, mauro@feagri.unicamp.br,liuyingchih@gmail.com
[4]Universidade Federal de Lavras/UFLA - Departamento de Ciências Exatas/DCE - Cx. P. 3037 - Lavras -MG - rrlima@dex.ufla.br

Being mostly a non-repetitive, non-monotonous type of work, agricultural work needs a group of methods, both objective and subjective, to characterize its workload. In this perspective, a study (ABRAHÃO; RIBEIRO; TERESO, 2012) was done aiming the characterization of the physical workload of the organic horticulture, by determining the frequency of exposure of operators to some activity categories. The approach included an evaluation of physical effort demanded to perform the tasks in the work systems from a systematic sampling of work situations from a synchronized monitoring of the heart rate; a characterization of posture repertoire adopted by workers by adapting the OWAS method; an identification of pain body areas using the Corlett diagram; and a subjective evaluation of perceived effort using the RPE Borg scale. The results of the individual assessments were cross correlated and explained from an observation of the work activity. Postural demands were more significant than cardiovascular demands for the studied tasks, and correlated positively with the expressions of bodily discomfort.

Ribeiro, Tereso and Abrahão (2009) analyzed the operator's workload in six fresh tomatoes packing house unities, focusing in manual material handling tasks, using the ergonomic work analysis method, the NIOSH equation and the body discomfort diagram. The application of the NIOSH equation showed that the risks of musculoskeletal disorders were moderate or high in all of the workplaces analyzed. The workers reported great body discomfort in shoulders, neck and lumbar regions.

Heart rate is traditionally used as an indicator of physiological effort, being increasingly used instead of oxygen consumption to estimate the workload of a task (FRUTUOSO; CRUZ, 2005).

Cardiovascular parameters commonly used include the average heart rate during work − the working heart rate (HR_W), the resting heart rate (HR_R), the maximum heart rate (HR_{max}), the limit heart rate (HR_L) and the relative heart rate (HRR). The relative heart rate at work is an important indicator of physiological strain and should not exceed 40% for an eight hour period to avoid fatigue (ASTRAND; RODAHL; SIGMUND, 2006).

The working heart rate is also used as a strain indicator and determines the following categories of work intensity: light ($HR_W<90$); moderate ($90 \leq HR_W<110$); heavy ($110 \leq HR_W<130$), very heavy ($130 \leq HR_W<150$) and extremely heavy ($HR_W>150$) (ABRAHÃO; RIBEIRO; TERESO, 2012; ASTRAND; RODAHL; SIGMUND, 2006).

The main objective of this work was the assessment of the physical workload in an agriculture context, applying the proposed method in a case study of the work on coffee farming system. We sought to evaluate the cardiovascular load and the postural combinations adopted in coffee production. This kind of study can help to direct research efforts towards the technological development of coffee farming, both to improve human work productivity and to reduce ergonomic hazards.

2 MATERIAL AND METHODS

The proposed study is experimental under field conditions with quantitative and qualitative elements. The descriptors of the physical workload are the group of dependent variables, including those of physiological (working heart rate, cardiovascular load) and biomechanical (postural combinations).The independent variables are composed by tasks, subtasks and the topography of the farms.

Twelve workers from seven small family coffee farms from Santo Antonio do Amparo, southern Minas Gerais, agreed to participate in this study. Each subject was voluntary and received adequate information about the research. They had the right to withdraw from participation at any time, without penalty of any kind and without providing reasons. Each of them was filmed performing one hour work of the subtasks, both in flat terrain and in areas with more than 10% slope.

The tasks from the coffee farming systems considered in this study are crop handling and harvest. They had the following subtasks and respective operations:

a) **Crop Handling: manual fertilization** (empty bag displacement, bag stuffing, full bag displacement and manual fertilization); foliar fertilization (empty costal pulverizer displacement, costal pulverizer refuelling, full costal pulverizer displacement and application); **t**hinning (thinning); and herbicide application (empty costal pulverizer displacement, costal pulverizer refuelling, full costal pulverizer displacement and application).

b) **Harvest: harvest** (canvas placement, manual harvest, canvas displacement, sieving, manual cleaning and bagging).

We measured resting heart rate (HR_R) and calculated maximum heart rate (HR_{max}) for each of the workers. The work heart rate (HR_W) was measured continuously for each subject, synchronized with the video recording.

A Polar RS800CX G3 heart rate monitor was used with a sampling rate of 2 seconds.

The heart rate indicator adopted in this work was calculated as follows (ABRAHÃO; RIBEIRO; TERESO, 2012; ASTRAND; RODAHL; SIGMUND, 2006):

$$HR_{max} = 220 - age$$

$$HRR = \frac{(HR_W - HR_R)}{(HR_{max} - HR_R)} \ x \ 100$$

The working heart rate (HR_W) was calculated by averaging the frequencies measured during the period of work evaluated. With the heart rate work the cardiovascular loads (HR_R) were calculated, which allowed the evaluation of the cardiac stress in the execution of different subtasks.

Workers' personal and biometric data are shown in Table 1.

The postural protocol was adapted from OWAS (IIDA, 2005; MESSIAS; OKUNO, 2012; NWE et al., 2012) to include the characteristics postures of coffee farm labor (Figure 1).

The experiment was conducted in a randomized block design, where each worker was considered a block in a 5x2 factorial design. The factors were slope and the subtasks. It was performed an analysis of variance and the Tukey test was applied to compare means. When necessary, we applied the F-test and Scott Knott for additional statistical analyzes to evaluate differences between variables (FERREIRA, 2011).

TABLE 1 - Personal and biometric data of the workers.

Worker	Gender	Age (years)	Seniority (years)	Weight (kg)	Height (cm)	HR_R (bpm)	HR_{max} (bpm)
1	M	59	22	64	165	66	161
2	M	30	8	93	179	52	190
3	M	60	11	70	171	63	160
4	M	30	10	60	163	59	190
5	M	40	20	94	187	64	180
6	M	34	9	63	165	56	186
7	M	31	20	61	172	66	189
8	F	25	6	66	160	53	195
9	M	35	20	100	190	65	185
10	M	39	19	84	182	67	181
11	M	29	20	74	180	53	192
12	M	68	39	54	169	71	153

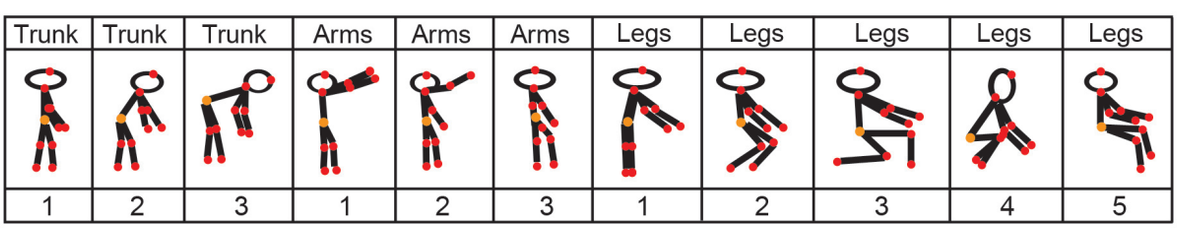

FIGURE 1 - Postural protocol adopted.

3 RESULTS AND DISCUSSION

The mean working heart rate and relative heart rate results, for the twelve workers performing all subtasks in both topographic conditions, with its standard deviation, are summarized on Table 2.

Table 2 shows that 58,3% of the workers exhibited HRW between 90 and 110 bpm, configuring moderate work intensity, while 41,7% had HRW less than 90 bpm, configuring light work intensity. All of the HRR results are under 40% and in safe limits according to the literature, according to Astrand, Rodahl and Sigmund (2006).

ANOVA results showed that the slope factor was not statistically significant with respect to heart rate results. On the other hand, the subtask factor was statistically significant for ($p<0,05$).

Table 3 shows mean heart rate values for all the workers performing the subtasks. Means followed by same letter do not differ at the 5% level of significance by the Tukey test. Foliar and manual fertilization exhibited significantly greater values of HR_W and HRR than the other subtasks. The results showed that heart rates are statistically different among the subtasks. Foliar and manual fertilization, classified as moderate work, were more demanding than the other subtasks. Subtasks herbicide application, thinning and harvesting were classified as light work on the basis of averages for working heart rate and cardiovascular workload.

Statistical analysis showed no significant difference in the execution of the subtasks among both working heart rate and cardiovascular workload on different topographical conditions, as shown in table 4.

Figure 2 shows the postural combinations observed in different subtasks of coffee production.

The postural combinations 131 (neutral trunk, two arms below the shoulder line, legs extended) and 231 (moderate trunk flexion, two arms below the shoulders, legs extended) were characteristics of the subtask manual fertilization, as can be seen in figure 3.

These postural combinations were constrained by operational actions, since the worker carried a bag of granulated fertilizer in one hand while with the other he threw the fertilizer toward the base of the coffee trees.

In subtask foliar fertilization the characteristics postural combinations were 121 (neutral trunk, one arm above the shoulder line, legs extended), 131 and 231 (Figure 4). These postural combinations were also conditioned by the nature of the operational actions. The workers carried the backpack sprayer (keeping the torso upright or in moderate bending), operated a hand pump with one hand and with the other applied the foliar fertilizer, alternating one arm below and the other above shoulder height.

The postural combinations 131 and 231 were characteristic of subtask herbicide application, as can be seen in figure 5. In this subtask, workers also carried the backpack sprayer (keeping the torso upright or in moderate bending), keeping the two arms were below shoulder height.

TABLE 2 - Heart rate results for workers performing all subtasks.

Worker	HR_W± SD (bpm)	HRR ± SD (%)	Work Intensity
1	88,9 ± 5,1	24,11 ± 5,4	Light
2	90,0 ± 5,8	27,54 ± 4,2	Moderate
3	95,5 ± 3,9	31,05 ± 4,1	Moderate
4	105,8 ± 5,1	38,99 ± 3,7	Moderate
5	79,9 ± 2,0	14,63 ± 2,2	Light
6	98,9 ± 3,3	33,99 ± 2,4	Moderate
7	96,8 ± 2,9	32,42 ± 3,1	Moderate
8	96,2 ± 6,1	32,03 ± 4,4	Moderate
9	81,6 ± 4,5	16,42 ± 4,8	Light
10	88,4 ± 5,7	26,38 ± 4,1	Light
11	101,2 ± 4,2	37,05 ± 4,4	Moderate
12	85,9 ± 4,4	24,57 ± 3,2	Light

TABLE 3 - Averages results of HR_W and HRR for the subtasks.

Subtasks	Topography	$(HR_W)^*$ (bpm)	$(HRR)^*$ (%)
Thinning	Flat	88,17 b	24,39 b
	Sloping	83,75 b	20,42 b
Harvest	Flat	84,58 b	21,14 b
	Sloping	92,00 b	27,55 b
Herbicide application	Flat	91,17 b	26,73 b
	Sloping	85,92 b	23,20 b
Manual fertilization	Flat	98,33 a	33,39 a
	Sloping	100,58 a	36,37 a
Foliar fertilization	Flat	99,17 a	33,73 a
	Sloping	100,58 a	35,74 a

*Results followed by the same letter do not differ at 5% significance level for the Scott-Knott test.

TABLE 4 - Averages results of HR_W and HRR for topography.

Topography	Averages HR_W*(bpm)	Averages HRR*(%)
Flat	92,28 a	27,87 a
Sloping	92,57 a	28,65 a

* Results followed by the same letter in columns do not differ at the 1% level of significance by F test.

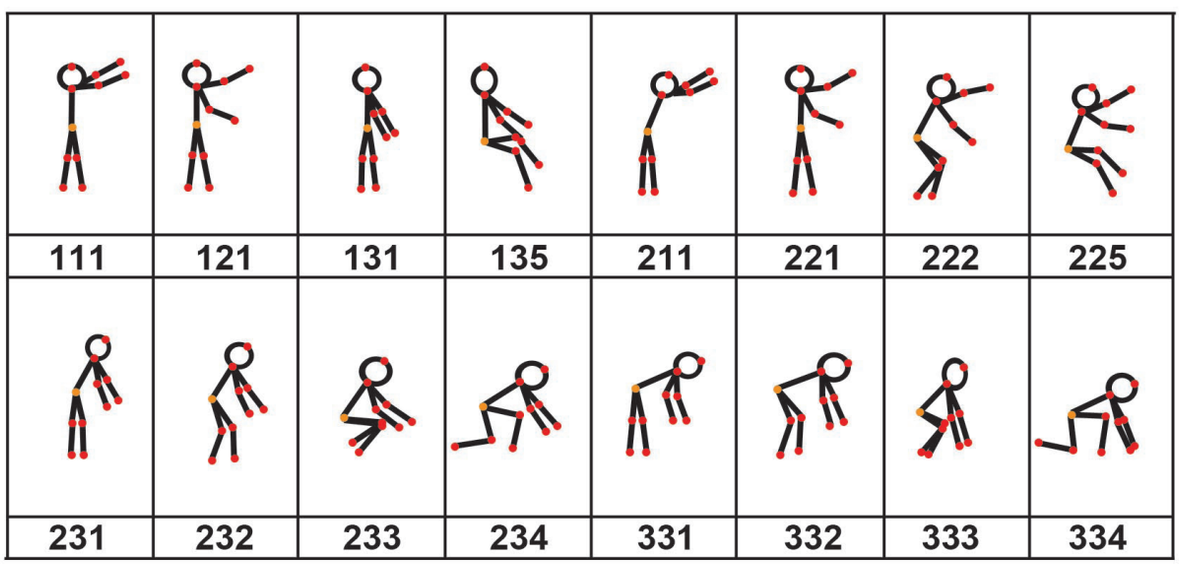

FIGURE 2 - Postural combinations adopted by the workers.

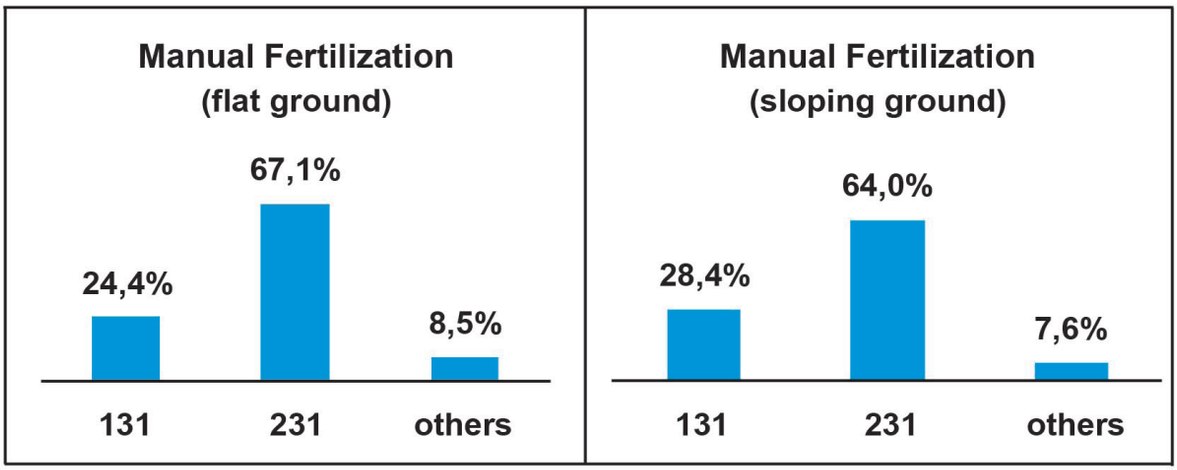

FIGURE 3 - Postural combinations the manual fertilization.

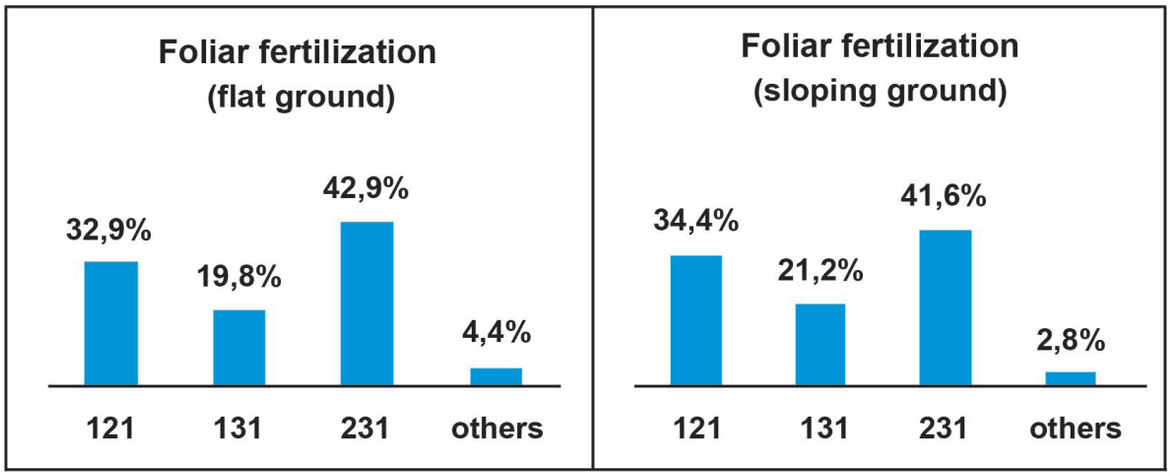

FIGURE 4 - Postural combinations in the foliar fertilization.

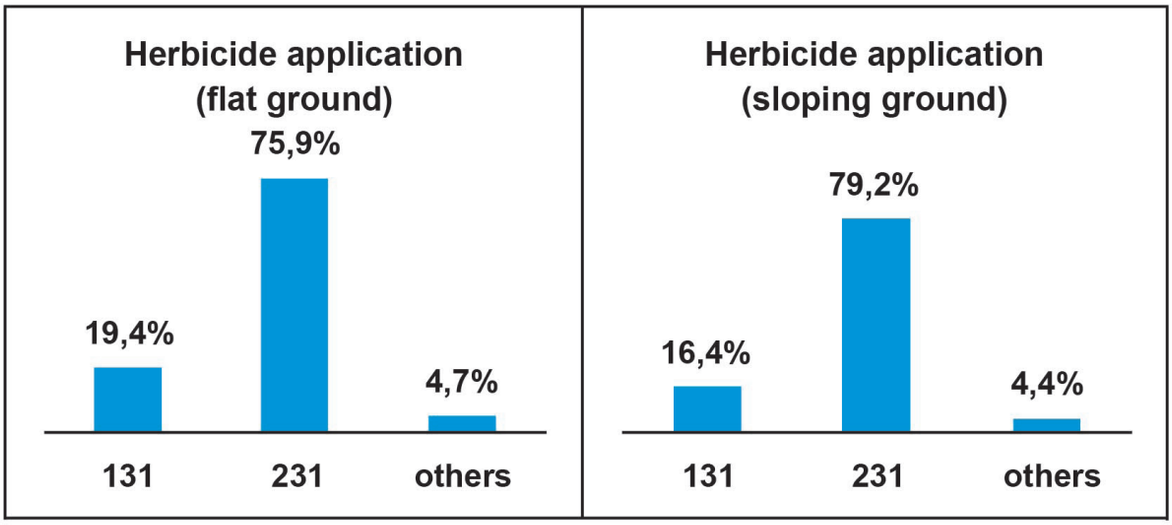

FIGURE 5 - Postural combinations in the herbicide application.

In subtask thinning, body posture characteristics are shown in Figure 6. Although this subtask presents a single operational action, as the workers walk around the coffee tree removing unwanted shoots on any plant height, there is a large number of postural combinations.

In the harvest subtask the characteristics postural combinations are shown in Figure 7. In this case, the large variability of postural combinations is explained by the greater amount of operational actions required to perform the subtask.

Statistical analysis showed no significant difference in the adoption of postural combinations for the significance level of 5% by the Scott Knott test for different topographical conditions.

Contrary to what was expected by common sense, the topography factor had not shown decisive influence neither on the cardiovascular workload nor in the postural combinations adopted by workers in the execution of the subtasks. This can be explained by the working strategies adopted by workers to cope with this difficulty.

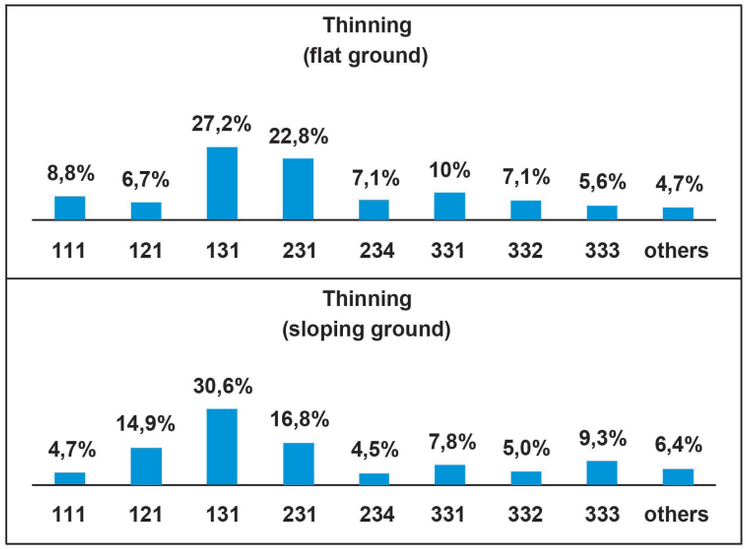

FIGURE 6 - Postural combinations in the thinning.

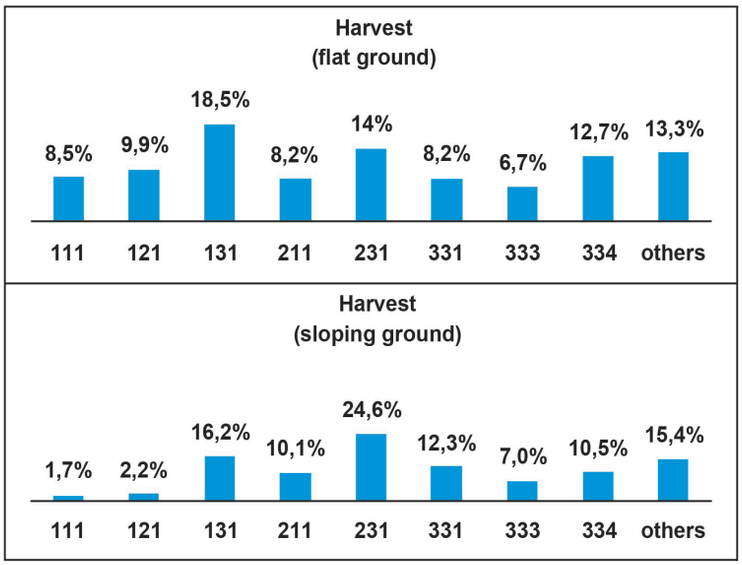

FIGURE 7 - Postural combinations in the harvest.

4 CONCLUSION

Subtasks foliar fertilizer, manual fertilizer, drying and storage showed the greater cardiovascular demands.

Often, for best results at work in terms of productivity, workers adopt more demanding postural combinations or increase the pace of work, with a consequent increase in heart rate.

The analysis of all tasks showed that the most frequent postural combinations were 231 (moderate trunk flexion, two arms below the shoulders, legs extended) and 131 (neutral trunk, two arms below the shoulder line, legs extended).

By its nature, the subtasks thinning and harvest presented greater variability of postural combinations.

Both cardiovascular and biomechanical indicators revealed no statistically significant differences between the subtasks developed in different topographic conditions. This was due mainly because the strategies adopted by workers, who planned the execution of the tasks considering the topographic characteristics of the terrain.

5 REFERENCES

ABRAHÃO, R. F.; RIBEIRO, I. A. V.; TERESO, M. J. A. Workload composition of the organic agriculture. **Work**, Amsterdam, v. 41, p. 5355-5360, 2012.

ASTRAND, P.; RODAHL, K.; SIGMUND, B. **Tratado de fisiologia do trabalho:** bases fisiológicas do exercício. São Paulo: Artmed, 2006.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, nov./dez. 2011.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Estatística da produção agrícola**. Brasília, 2012.

IIDA, I. **Ergonomia:** projeto e produção. São Paulo: E. Blücher, 2005.

FRUTUOSO, J. T.; CRUZ, R. M. Mensuração da carga de trabalho e sua relação com a saúde do trabalhador. **Revista Brasileira de Medicina do Trabalho**, São Paulo, v. 3, n. 1, p. 29-36, jan./jul. 2005.

MESSIAS, I. A.; OKUNO, E. Study of postures in sugarcane cutters in the pontal of Paranapanema-SP, Brazil. **Work**, Amsterdam, v. 41, p. 5389-5391, 2012.

NWE, Y. Y. et al. Workload assessment with Ovako Working Posture Analysis System (OWAS) in Japanese vineyards with focus on pruning and berry thinning operations. **Journal of the Japanese Society for Horticultural Science**, Tokyo, v. 81, n. 4, p. 320-326, 2012.

RIBEIRO, I. A. V.; TERESO, M. J. A.; ABRAHÃO, R. F. Análise ergonômica do trabalho em unidades de beneficiamento de tomates de mesa: movimentação manual de cargas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, n. 4, p. 1083-1089, 2009.

SILVERSTEIN, B.; BAO, S.; RUSSEL, S. Water and coffee: a systems approach to improving coffee harvesting work in Nicaragua. **Human Factors**, Santa Monica, v. 54, n. 6, p. 925-939, 2012.

CRESCIMENTO DE MUDAS DE CAFÉ SOB DIFERENTES PREPAROS DO SOLO E IRRIGAÇÃO PARA AGRICULTURA FAMILIAR

Rhuanito Soranz Ferrarezi[1], Fábio Ponciano de Deus[2], Guilherme Alonso Martins[3], Renan Primo[4], Roberto Testezlaf[5]

(Recebido: 28 de março de 2014; aceito: 19 de junho de 2014)

RESUMO: A agricultura familiar é fundamental para a segurança alimentar e a economia brasileira. No entanto, esse setor possui baixa capacidade de investimento, o que resulta na baixa utilização de tecnologias de produção. Sistemas alternativos de preparo do solo e de irrigação por gotejamento devem ser testados para aplicação na agricultura familiar. Objetivou-se, neste estudo, avaliar diferentes sistemas de preparo de solo e o emprego da irrigação por gotejamento KIFNET®, no crescimento vegetativo inicial do café 'Catuaí Vermelho' em Latossolo vermelho distroférrico. Testaram-se três sistemas de preparo do solo: aração e gradagem/CONV; subsolagem a 30 cm/SS; escarificação, adubação a 60 cm e gradagem/TO) e dois tratamentos de irrigação (irrigado e não irrigado). O manejo da irrigação foi realizado para atender à demanda hídrica da cultura, monitorando-se as condições climáticas, utilizando uma estação meteorológica automática que estimava a ETo por meio de Penman-Monteith. Houve diferenças significativas entre os sistemas de preparo do solo e a irrigação ($p<0,01$). O tratamento com preparo CONV apresentou altura de plantas, diâmetro do caule, número de ramos e largura média da copa respectivamente 13,8%, 10%, 16% e 19,2% superiores em relação aos demais sistemas de preparo ($p<0,01$). Os tratamentos irrigados foram 12,8%, 39,7%, 34,8% e 25,8% superiores aos não irrigados para as mesmas variáveis ($p<0,01$). Os sistemas de preparo de solo com SS e TO não apresentaram efeito na fase inicial de desenvolvimento com sistema radicular superficial. O sistema de gotejamento testado pode ser uma alternativa de baixo custo para irrigação na agricultura familiar.

Termos para indexação: *Coffea arabica* L., manejo de irrigação, irrigação localizada, sistemas de preparo do solo.

GROWTH OF COFFEE SEEDLINGS UNDER DIFFERENT SOIL CULTIVATION SYSTEMS AND FAMILY FARMING DRIP IRRIGATION

ABSTRACT: *Family farming is critical for Brazilian food security and economy. However, this sector has low investment capacity, which results in low utilization of production technologies. Alternative soil cultivation systems and inexpensive drip irrigation needs to be tested for family farming. The aim of this study was to evaluate different soil cultivation systems and the use of KIFNET™ drip irrigation in the initial vegetative growth of coffee (Coffea arabica L.) 'Catuaí' in an Oxisol. We tested three soil cultivation systems (plowing and harrowing/CONV; subsoiling at 30 cm/SS; and scarification, fertilization at 60 cm and harrowing/TO) and two irrigation treatments (irrigated and non-irrigated). The irrigation management addressed the crop water requirements by monitoring weather conditions using an automatic weather station and calculating the ETo using the Penman-Monteith equation. There were significant differences among the soil cultivation systems and irrigation ($p<0.01$). Treatments with CONV soil cultivation system presented higher plant height, stem diameter, number of branches and canopy width compared to the other soil cultivation systems (13.8%, 10%, 16%, and 19.2% respectively) ($p <0\ 01$). Irrigated treatments were 12.8%, 39.7%, 34.8%, and 25.8% higher than non-irrigated ones for the same variables ($p <0.01$). SS and TO soil cultivation systems presented no effect at the initial development stage because of the shallow root system. The tested drip irrigation system can be a low-cost alternative for irrigation in family farming.*

Index terms: *Coffea arabica L., irrigation management, drip irrigation, soil cultivation systems.*

1 INTRODUÇÃO

A agricultura familiar é fundamental para a segurança alimentar e a economia, produzindo 70% dos alimentos que chegam à mesa dos brasileiros, sendo responsável por mais de 74% da mão de obra do meio rural e por 10% do produto interno bruto (PIB) brasileiro. Aproximadamente, um terço do agronegócio atual está condicionado à agricultura familiar (GUILHOTO et al., 2007). No entanto, esse setor possui baixa capacidade de investimento, com a produção ocorrendo em geral em pequenas propriedades e com uso de baixa tecnologia.

Um dos problemas encontrados em lavouras de café refere-se ao sistema de implantação da cultura, pois o seu caráter perene determina que o sistema de preparo do solo seja eficaz para a formação de um ambiente favorável ao crescimento do sistema radicular, ao longo dos anos.

[1]University of Georgia/UGA - Department of Horticulture - 1111 Miller Plant Science Building - Zip code 30602 - Athens GA - Estados Unidos - rhuanito@terra.com.br
[2,3,4,5]Universidade Estadual de Campinas/UNICAMP - Faculdade de Engenharia Agrícola/FEAGRI - Av. Cândido Rondon 501 13083-875 - Campinas - SP - fabio.deus@feagri.unicamp.br, guilherme.martins@feagri.unicamp.br, renan.primo@feagri.unicamp.br, bob@feagri.unicamp.br

Embora predominante, o sistema convencional realiza o constante revolvimento da terra, e contribui para a redução do teor de matéria orgânica e alterações químicas e físicas no solo (OLIVEIRA et al., 2008). Alternativas para incorporar fertilizantes e corretivos em profundidade, com o propósito de estimular o crescimento radicular, ao longo do perfil do solo, estão sendo utilizadas em outras culturas perenes como a cana-de-açúcar e os citros (BARBOSA, 2011), e também devem ser testadas para aplicação na cafeicultura para a agricultura familiar.

A cafeicultura brasileira se caracteriza por empregar diferentes cultivares, sendo a 'Catuaí Vermelho' uma das mais plantadas. Essa cultivar apresenta pequeno porte, internódios curtos, ramificação secundária abundante, frutos vermelhos de maturação média e tardia, sementes de tamanho médio e produção precoce (GUERREIRO FILHO; FAZUOLI; AGUIAR, 2006).

A utilização da irrigação na produção de café tem aumentado nos últimos anos, em razão da influência direta da água e nutrientes no desenvolvimento da cultura e do incremento na produtividade. Para permitir que a agricultura familiar tivesse acesso à irrigação, as empresas de equipamentos desenvolveram um sistema por gotejamento, denominado kit familiar, que apresenta custo reduzido, facilidade de instalação e operação e funcionamento por gravidade. O gotejamento é um sistema de irrigação eficiente e que aplica baixos volumes de água, com perdas reduzidas, aumentando a produção e elevando a rentabilidade do produtor (BORSSOI et al., 2012).

A adoção destes sistemas de irrigação requer a aplicação de conhecimentos técnicos específicos com relação ao seu manejo adequado, pois a disponibilidade de água afeta diretamente a produção agrícola (OLIVEIRA et al., 2010). O atendimento das necessidades hídricas das plantas e do armazenamento de água no solo são fatores decisivos para proporcionar o máximo desenvolvimento das plantas (GOMES; LIMA; CUSTÓDIO, 2007). A realização do manejo apropriado contribui diretamente para reduzir as perdas econômicas na produção e promover a preservação ambiental, devido à maior eficiência de uso da água.

Avaliações hidráulicas de sistemas de irrigação por gotejamento são práticas comuns na pesquisa (BORSSOI et al., 2012; REIS et al., 2005), principalmente em frutíferas como meloeiro (CUNHA et al., 2008), mamoeiro (SANTOS et al., 2008), goiabeira (CARVALHO et al., 2006) e cafeeiro (SOUZA et al., 2006).

Como o uso do kit familiar é incipiente, poucos trabalhos foram realizados até o momento usando essa tecnologia (DEUS et al., 2015; NASCIMENTO et al., 2009; SOUZA; PÉREZ; BOTREL, 2006). No entanto, informações sobre o efeito do sistema no crescimento das plantas ainda são escassas, principalmente na cultura do cafeeiro.

Objetivou-se, neste estudo, avaliar diferentes sistemas de preparo de solo (convencional/CONV, subsolagem/SS e tríplice operação/TO) e o emprego da irrigação por gotejamento tipo kit familiar KIFNET® (tratamentos irrigado e não irrigado), no crescimento vegetativo inicial do café 'Catuaí Vermelho', em um Latossolo vermelho distroférrico.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento foi desenvolvido na Faculdade de Engenharia Agrícola (FEAGRI) da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP) (latitude 22º48'57" S, longitude 47º03'33" O e altitude de 640 m), cujo clima é classificado, de acordo com Köppen, como sendo de transição entre os tipos Cwa e Cfa (tropical de altitude com inverno seco e verão úmido). No experimento, foram utilizadas aproximadamente 1300 mudas de café (*Coffea arabica* L. 'Catuaí Vermelho'), transplantadas nos dias 13 e 14 de dezembro de 2012, em uma área de aproximadamente 2.600 m^2, com solo classificado como Latossolo vermelho distroférrico, de textura argilosa. As plantas foram distribuídas em um total de 11 linhas de plantio, com espaçamento de 0,7 m entre plantas e 3,0 m entrelinhas, em área total de 2.185 m^2. Um croqui do experimento pode ser visualizado na Figura 1.

Foram realizados três preparos do solo para o plantio: convencional/CONV: aração e gradagem niveladora a 20 cm, com aplicação de adubo no sulco de plantio; subsolagem/SS: subsolagem a 30 cm de profundidade, com aplicação de adubo no sulco de plantio; e tríplice operação/TO: escarificação, aplicação de fertilizantes a 60 cm de profundidade e gradagem. O sulco de plantio foi realizado a uma profundidade de 20 cm, ao longo da linha de plantio.

A adubação de correção foi realizada dois meses antes do plantio, de acordo com as recomendações de Raij et al. (1997). A adubação foi baseada em análises de solo, realizadas com amostras retiradas nas camadas de 0-20, 20-40, 40-60 e 60-80 cm, cujos resultados estão disponibilizados na Tabela 1.

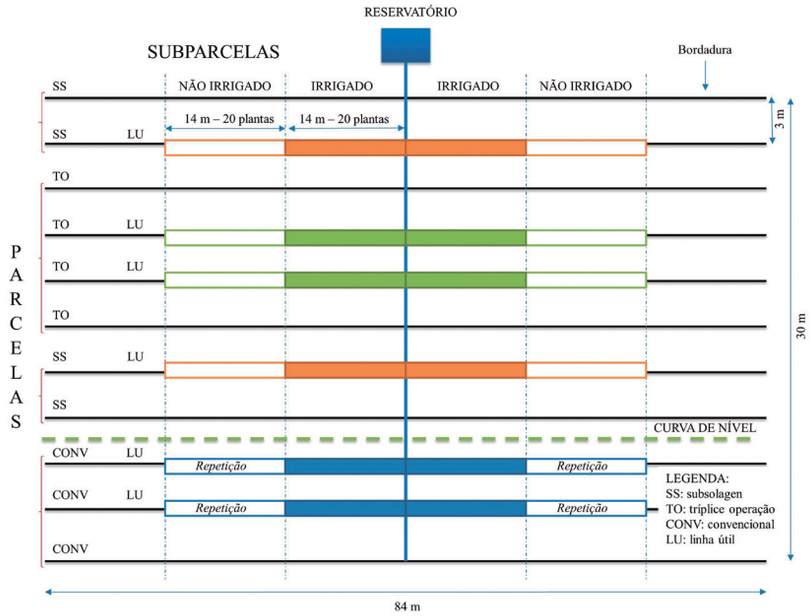

FIGURA 1 - Croqui da área experimental, indicando os tratamentos de irrigação (irrigado e não irrigado) e de preparo do solo (subsolagem a 30 cm/SS, tríplice operação/TO e convencional/CONV).

TABELA 1 - Análise de solo realizada antes da implantação do experimento. Média de cinco amostragens.

Elemento	Profundidade de amostragem			
	0 - 20 cm	20 - 40 cm	40 - 60 cm	60 - 80 cm
pH ($CaCl_2$)	4,6	4,7	4,8	5,0
pH (H_2O)	5,3	5,4	5,6	5,7
Hidrogênio + Alumínio (H + Al, cmol)	4,58	4,32	3,66	3,16
Alumínio (Al, cmol)	0,20	0,18	0,12	0,02
Fósforo Resina (P, mg dm^{-3})	6,60	6,40	4,60	7,20
Potássio (K, mmol dm^{-3})	2,14	1,58	0,94	0,74
Cálcio (Ca, cmol)	1,90	1,98	1,98	2,26
Magnésio (Mg, cmol)	0,60	0,58	0,50	0,58
Enxofre (S, mg dm^{-3})	11,08	12,00	14,84	11,44
Boro (B, mg dm^{-3})	0,22	0,28	0,30	0,18
Cobre (Cu, mg dm^{-3})	8,62	8,84	8,74	6,80
Ferro (Fe, mg dm^{-3})	53,40	49,50	57,26	48,00
Manganês (Mn, mg dm^{-3})	13,10	9,90	5,96	4,14
Sódio (Na, mg dm^{-3})	3,50	1,80	1,98	1,62
Zinco (Zn, mg dm^{-3})	3,10	2,56	1,98	1,94
Carbono (C, g dm^{-3})	16,00	12,80	9,00	6,00
Matéria orgânica (%)	2,76	2,22	1,54	1,02
Soma de bases (SB, cmol)	2,71	2,72	2,57	2,91
CTC (mmol dm^{-3})	72,94	70,38	62,34	60,74
Saturação de bases (V, %)	37,15	38,84	41,93	47,92

A metodologia de coleta e análise das amostras de solo seguiu o indicado por Raij et al. (1997). Procedeu-se à aplicação de 391,3 kg ha^{-1} de superfosfato triplo, 870 kg ha^{-1} de fertilizante organomineral 00-18-00 com 15% de cálcio e micronutrientes (Biorin Plus, Cosmópolis, SP), 82,4 kg ha^{-1} de nitrato de potássio, 60 kg ha^{-1} de cloreto de potássio, 72,8 kg ha^{-1} de sulfato de potássio e 10 kg ha^{-1} de ácido bórico. Em todos os preparos do solo, foi realizada aplicação de 3,4 t ha^{-1} de calcário dolomítico para correção do pH na camada de 0-20 cm.

Um sistema de irrigação por gotejamento KIFNET® para agricultura familiar foi implantado, seguindo-se as recomendações do fabricante (Netafim, Tel Aviv, Israel). O abastecimento do sistema foi realizado por um reservatório plástico de 1.000 L com tampa, elevado a 1,5 m e posicionado na parte superior da área experimental (Figura 2A). A distribuição da água ocorreu por ação da gravidade, com o emprego de uma tubulação com diâmetro de 2,54 cm e filtro de discos na saída do reservatório.

O reservatório foi posicionado no meio da área experimental, dividindo-se o estudo em dois setores de irrigação (Figura 1). Duas linhas principais de 30 m de comprimento foram estendidas para atender as seis linhas laterais, que apresentavam 14 m de comprimento cada uma e estavam situadas nas linhas com os diferentes tratamentos de preparo do solo (Figura 2B). Os gotejadores utilizados foram do tipo Typhoon MicroDrip (Netafim, Tel Aviv, Israel), com espaçamento de 0,3 m entre gotejadores, operando a baixas pressões e com vazão nominal de1,7 L h^{-1} (Figura 2C).

No entanto, no manejo da cultura utilizou-se o valor da vazão ensaiada em laboratório de 1,0 L h^{-1}, obtida na avaliação hidráulica e operacional desse sistema de irrigação realizada por Deus et al. (2015), na mesma área experimental. Os coeficientes de uniformidade de Christiansen e de distribuição desse sistema foram 90,30% e 85,79%, respectivamente, resultado da disposição dos equipamentos na área experimental (com declividade de 10%) e do entupimento de 6,79% observado após 24 eventos de irrigação (DEUS et al., 2015).

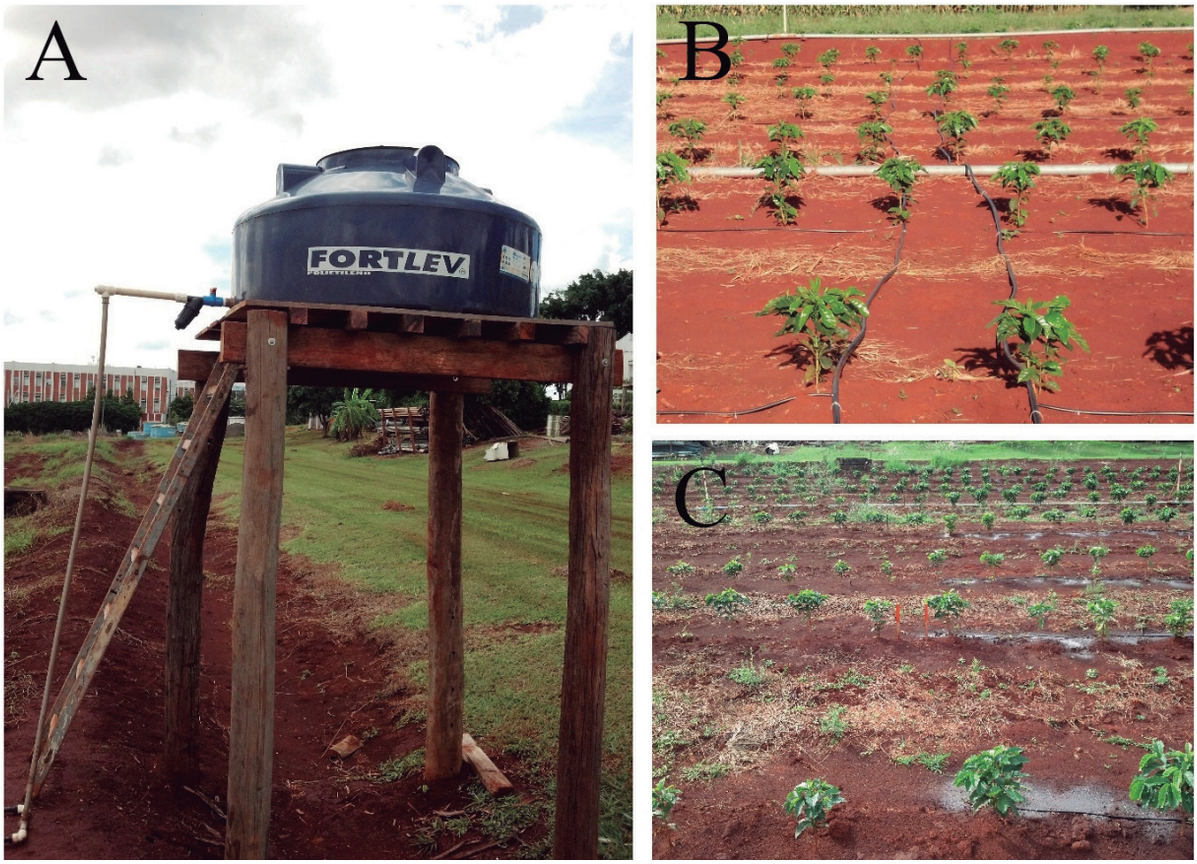

FIGURA 2 - Reservatório de 1.000 L elevado a 1,5 m e posicionado na parte superior da área experimental (A). Linhas principais e respectivas linhas laterais (B). Vista do sistema de irrigação em operação no lado direito (C).

Os dados climáticos necessários para a determinação da evapotranspiração foram coletados diariamente da estação meteorológica automática do Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à Agricultura (CEPAGRI) da UNICAMP, localizada a 20 m do campo experimental.

A evapotranspiração de referência (ETo) foi calculada diariamente através da equação de Penman-Monteith (ALLEN et al., 1998) (Equação 1), sendo que a evapotranspiração da cultura (ETc) foi obtida diariamente pela multiplicação do coeficiente de cultura (Kc) pelo valor da ETo. O Kc usado para esse estádio de desenvolvimento das plantas (< 1,5 anos), para um solo de textura argilosa, foi de 0,8 (SANTINATO; FERNANDES, 2012). De posse dos valores da ETc, adotou-se um percentual de área molhada (Pw) de 0,2 (ou de 20%) e utilizou-se uma área de cobertura da planta de 0,7 × 3,0 m (2,1 m^2) para o cálculo do tempo de irrigação (T_i, em horas), definido pela Equação 2.

$$ETo = \frac{[0{,}408\ \Delta\ (Rn - G) + \gamma \times 900 \times u_2 \times (es - ea) / (T + 273)]}{[\Delta + \gamma\ (1 + 0{,}34\ u_2)]} \quad (1)$$

$$Ti = \frac{(ETc \times Pw / 100 \times A)}{\text{Vazão do gotejador}} \quad (2)$$

sendo: ETo = evapotranspiração de referência (mm dia^{-1}); Δ = derivada da função de saturação de vapor d'água (kPa $ºC^{-1}$); Rn = radiação útil recebida pela cultura de referência (MJ m^{-2} dia^{-1}); G = fluxo de calor recebido pelo solo (MJ m^{-2} dia^{-1}); γ = constante psicrométrica (kPa $ºC^{-1}$); u_2 = velocidade do vento a 2 metros de altura (m s^{-1}); es = tensão de saturação de vapor de água (kPa); ea = tensão de vapor da água atual (kPa); T = temperatura média do ar (ºC); Pw = percentual de área molhada em relação à cobertura da planta (%); e A = área de cobertura da planta (0,7 × 3,0 m = 2,1 m^2).

Foram avaliadas as variáveis biométricas de altura da planta, diâmetro do caule, número de ramos e largura média da copa medidas nos dias 10/05/2013 (dias após o transplantio ou DAT 148), 24/05/2013 (DAT 162), 07/06/2013 (DAT 176), 20/06/2013 (DAT 189) e 03/07/2013 (DAT 202).

A altura das plantas foi medida com uma régua graduada, utilizando-se como referência a base do caule (nível do solo) até sua extremidade apical. O diâmetro do caule foi medido com um paquímetro digital, com precisão de 0,01 mm, a uma altura de 5 cm do solo. Para a obtenção do número de ramos foi realizada a contagem direta. Para a determinação da largura média da copa, utilizou-se uma régua graduada, obtida pela medição da largura dos ramos ortotrópicos e plagiotrópicos. Dez plantas foram amostradas, aleatoriamente, para cada uma das quatro repetições, em cada tratamento.

O delineamento experimental usado foi o inteiramente casualizado, com quatro repetições, com os fatores em esquema de parcelas subdivididas (sistemas de preparo de solo na parcela e irrigação na subparcela). Cada parcela era formada por duas linhas com 14 metros de comprimento, espaçadas entre si por 3 metros e com 20 plantas por linha. Como o sistema de irrigação funcionava por gravidade, a linha principal foi derivada diretamente do reservatório. Para atender às recomendações de altura e pressão, os tratamentos de irrigação foram posicionados no centro do experimento (Figura 1). Os resultados foram submetidos ao teste de normalidade de Shapiro-Wilk, à análise de variância (ANOVA) e ao teste de comparação de médias de Tukey, usando o software estatístico SAS 9.2 (SAS Institute). O modelo estatístico usado foi $Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + (SR)_{ik} + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + E_{ijk}$, no qual i = 1, 2, 3 sistemas de preparo de solo; j = 1, 2 níveis de irrigação; k = 1, 2, 3, 4 repetições; α_i: efeito do fator sistemas de preparo de solo (na parcela); $(SR)_{ik}$ efeito do erro a nível de parcelas, considerados independentes e identicamente distribuídos $N(0,\sigma^2_{sr})$; β_j: efeito do fator irrigação (na subparcela); $(\alpha\beta)_{ij}$: efeito da interação sistemas de preparo de solo x irrigação; E_{ijk} erro experimental a nível de subparcelas, considerados independentes e identicamente distribuídos $N(0,\sigma^2)$.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A precipitação total ao longo do período experimental foi de 900,37 mm, correspondendo a uma média mensal de 128,62 mm (Figura 3). Durante o período de irrigação, a precipitação pluviométrica foi de 143,2 mm, e a lâmina total aplicada foi de 89,62 mm. Observa-se que a precipitação foi maior nos quatro primeiros meses do experimento (84,1%) em comparação com os três últimos meses, o que era esperado em razão do comportamento pluviométrico da região.

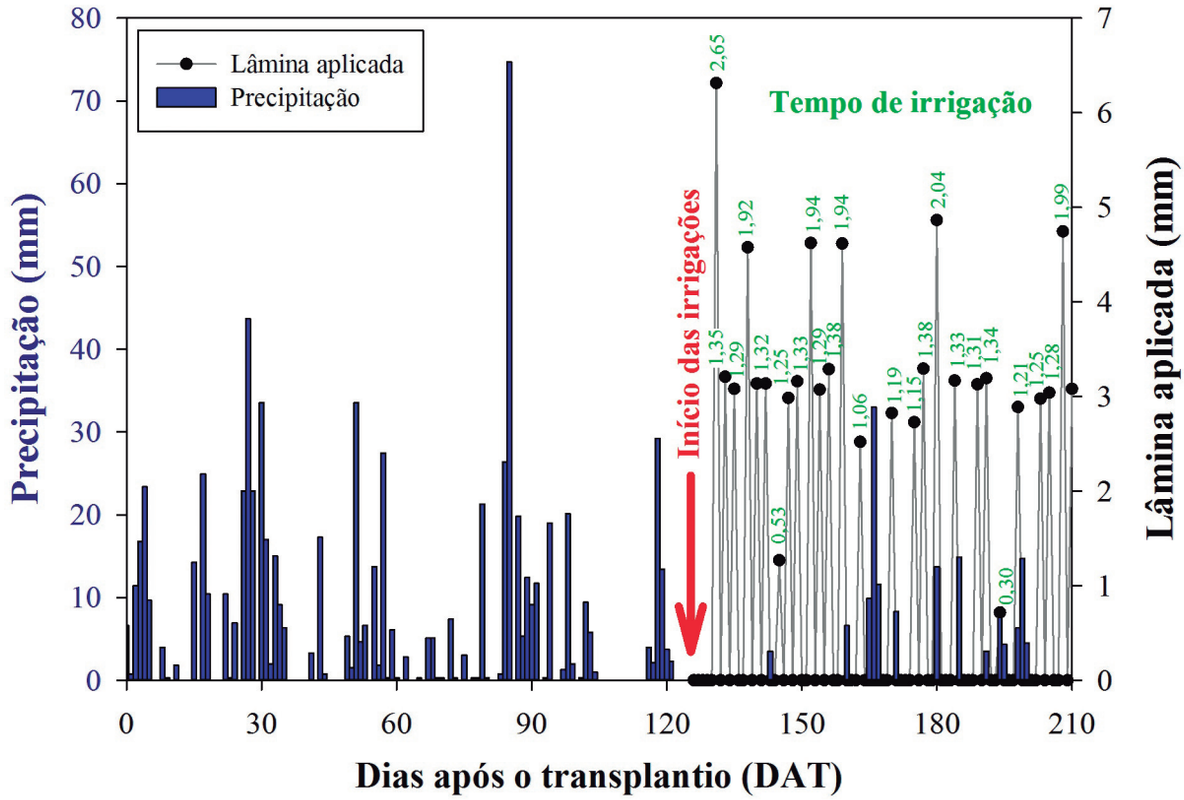

FIGURA 3 - Precipitação, lâmina aplicada e tempo de irrigação ao longo do período experimental (dezembro/2012 a julho/2013). O tempo de irrigação está indicado pelo valor numérico acima da lâmina aplicada.

As lâminas aplicadas, o tempo de cada irrigação e os dias de aplicação estão disponíveis na Figura 3. Observa-se que as irrigações foram realizadas aproximadamente a cada dois dias, considerando-se somente os períodos em que não ocorreram chuvas. Verifica-se também que as irrigações foram iniciadas em meados de abril e terminaram no começo de julho, período que corresponde, respectivamente, ao início da irrigação por gotejamento e a realização da última avaliação biométrica das plantas, respectivamente. O manejo da irrigação foi realizado adequadamente, ao longo de todo o período experimental.

As variáveis biométricas altura, diâmetro do caule, número de ramos e largura média da copa das plantas foram utilizadas, a fim de caracterizar o crescimento das plantas em diferentes tratamentos de preparo do solo e irrigação. O crescimento das plantas de cafeeiro está diretamente relacionado com a disponibilidade hídrica (SAKAI et al., 2013), sendo que Gomes, Lima e Custódio (2007) concluíram que a produtividade pode ser aumentada diretamente com o maior crescimento da parte vegetativa (copa e caule).

Os valores médios, o desvio padrão e a análise estatística das variáveis biométricas são apresentados nas Tabelas 2 a 5. Observa-se que não houve efeito significativo da interação preparo do solo (P) × irrigação (I), para as quatro variáveis biométricas avaliadas.

Houve diferença significativa entre os tratamentos para a altura das plantas em todas as datas de amostragem (p<0,01, R^2>0,93, Tabela 2), com efeito dos fatores preparo do solo e irrigação (Tabela 2). Não houve efeito significativo da interação P × I. Verifica-se que as plantas do tratamento CONV apresentaram altura 13,8% superior que o tratamento TO no DAT 202 (última data de amostragem) (p=0,0008, R^2=0,9388). As plantas dos tratamentos irrigados apresentaram altura 12,9% superior, em relação aos tratamentos não irrigados (Tabela 2). A mesma tendência ocorreu nas amostragens anteriores (DAT 148, 162, 176 e 189). A altura das plantas do preparo de solo por TO apresentou valores menores, em relação aos outros preparos de solo, tanto para o tratamento irrigado quanto para o não irrigado (dados não mostrados).

TABELA 2 - Altura das plantas (média ± desvio padrão) aos 148, 162, 176, 189 e 202 dias após o transplantio (DAT), dos diferentes tratamentos de preparo do solo e irrigação e níveis de significância (valor de probabilidade, p) para os fatores preparo de solo, irrigação e interação.

Fatores	Tratamentos	Altura das plantas (cm)				
		DAT 148	DAT 162	DAT 176	DAT 189	DAT 202
Preparo de solo	CONV	37,3±2,0a	38,7±2,5a	39,8±2,3ª	40,9±2,4a	42,1±2,5a
	SS	35,7±2,4a	36,9±2,5a	38,0±2,7ª	39,1±3,0a	40,3±3,1a
	TO	32,5±2,5b	33,5±2,7b	34,7±2,8b	35,9±3,0b	37,0±3,2b
Irrigação	Irrigado	36,8±2,3A	38,3±2,4A	39,5±2,4ª	40,9±2,4A	42,2±2,4A
	Não irrigado	33,6±2,8B	34,4±2,9B	35,5±2,9B	36,4±2,9B	37,4±3,0B
		Valor de probabilidade, p				
Modelo estatístico		0,0011*	0,0010*	0,0010*	0,0010*	0,0008*
Preparo de solo (P)		0,0001*	0,0001*	0,0002*	0,0002*	0,0002*
Irrigação (I)		0,0002*	< 0,0001*	< 0,0001*	< 0,0001*	< 0,0001*
P × I		0,2531	0,3613	0,3315	0,3114	0,2985
R^2		0,9335	0,9363	0,9357	0,9357	0,9388
C.V. (%)		3,64	3,71	3,70	3,77	3,70

Médias seguidas por mesma letra na coluna não diferem entre si, pelo teste de Tukey, em cada um dos fatores (minúscula para preparo de solo e maiúscula para irrigação). Sendo: * = significativo a 1% de probabilidade, CONV = preparo convencional do solo (aração e gradagem de nivelamento a 20 cm), SS = preparo do solo por subsolagem a 30 cm de profundidade, com aplicação de adubo no sulco do plantio; TO = tríplice operação (subsolagem, sulcamento e aplicação de adubo, a 60 cm de profundidade); R^2 = coeficiente de determinação e C.V. = coeficiente de variação (%). Preparo de solo: média ± desvio padrão de quatro repetições e dois tratamentos de irrigação. Irrigação: média ± desvio padrão de quatro repetições e três sistemas de preparo de solo.

Esses resultados podem estar relacionados com as diferentes profundidades de aplicação de adubo nos tratamentos, sendo que, para a TO, os adubos incorporados no solo não foram aproveitados pelas plantas devido à maior profundidade de aplicação (60 cm).

O diâmetro do caule apresentou diferença significativa entre os tratamentos em todas as datas de amostragem (p<0,05, R^2>0,84, Tabela 3), com efeito do preparo do solo e da irrigação (Tabela 3). Não houve efeito significativo da interação P × I. O diâmetro do caule do tratamento CONV foi 10% superior, em relação ao tratamento TO, no DAT 202 (p=0,0003, R^2=0,9500). Com relação à irrigação, os tratamentos irrigados proporcionaram plantas com diâmetro 39,7% maior que os tratamentos não irrigados (Tabela 3). A mesma tendência ocorreu nas amostragens anteriores (DAT 148, 162, 176 e 189). Esses resultados indicaram que as plantas dos preparos de solo CONV e SS tiveram maior diâmetro do caule em relação à TO, em ambos os tratamentos de irrigação (dados não mostrados), pelo maior aproveitamento dos adubos incorporados no solo, uma vez que, nesses preparos, a aplicação de adubo foi realizada mais próxima do sistema radicular. Na TO, o fato da aplicação de adubo ocorrer a 60 cm de profundidade fez com que as plantas apresentassem menor desenvolvimento nessa fase inicial da cultura.

O número de ramos apresentou diferença significativa para os diferentes tratamentos em todas as datas de amostragem (p<0,05, R^2>0,81, Tabela 4), como efeito do preparo do solo e irrigação, não havendo interação P × I (Tabela 4). O número de ramos do tratamento CONV foi 16% maior que o tratamento TO, no DAT 202 (p=0,0017, R^2=0,9270). As plantas dos tratamentos irrigados apresentaram número de ramos 34,8% maior que os tratamentos não irrigados (Tabela 4). A mesma tendência ocorreu nas amostragens anteriores (DAT 148, 162, 176 e 189). Os resultados obtidos para essa variável também demonstraram que as plantas sofreram influência dos métodos de preparo e da irrigação, com influência da posição do adubo e da disponibilidade de nutrientes para as plantas. As plantas do preparo de solo por TO tiveram um menor número de ramos, em relação aos outros métodos de preparo.

TABELA 3 - Diâmetro do caule (média ± desvio padrão) aos 148, 162, 176, 189 e 202 dias após o transplantio (DAT) dos diferentes tratamentos de irrigação e preparo do solo e níveis de significância (valor de probabilidade, p) para os fatores preparo de solo, irrigação e interação.

Fatores	Tratamentos	Diâmetro do caule (mm)				
		DAT 148	DAT 162	DAT 176	DAT 189	DAT 202
Preparo de solo	CONV	7,7±0,5a	8,1±0,7a	8,7±0,9a	9,2±1,2a	9,7±1,4a
	SS	7,7±0,8a	8,2±0,9a	8,7±1,2a	9,2±1,5a	9,7±1,7a
	TO	6,8±1,1b	7,3±1,2b	7,8±1,5b	8,3±1,7b	8,8±1,9b
Irrigação	Irrigado	8,0±0,5A	8,6±0,5A	9,5±0,6A	10,2±0,6A	10,9±0,6A
	Não irrigado	6,8±0,8B	7,1±0,8B	7,3±0,8B	7,5±0,8B	7,8±0,8B
		Valor de probabilidade, p				
Modelo estatístico		0,0315**	0,0136**	0,0019*	0,0008*	0,0003*
Preparo de solo (P)		0,0238**	0,0294**	0,0236**	0,0247**	0,0228**
Irrigação (I)		0,0008*	0,0001*	< 0,0001*	< 0,0001*	< 0,0001*
P × I		0,0957	0,1505	0,1431	0,2372	0,2706
R^2		0,8459	0,8769	0,9250	0,9388	0,9501
C.V. (%)		7,89	7,62	6,97	6,98	6,69

Médias seguidas por mesma letra na coluna não diferem entre si, pelo teste de Tukey, em cada um dos fatores (minúscula para preparo de solo e maiúscula para irrigação). Sendo: * = significativo a 1% de probabilidade, ** = significativo a 5% de probabilidade, CONV = preparo convencional do solo (aração e gradagem de nivelamento a 20 cm), SS = preparo do solo por subsolagem a 30 cm de profundidade com aplicação de adubo no sulco do plantio, TO = tríplice operação (subsolagem, sulcamento e aplicação de adubo a 60 cm de profundidade), R^2 = coeficiente de determinação e C.V. = coeficiente de variação (%). Preparo de solo: média ± desvio padrão de quatro repetições e dois tratamentos de irrigação. Irrigação: média ± desvio padrão de quatro repetições e três sistemas de preparo de solo.

TABELA 4 - Número de ramos (média ± desvio padrão) aos 148, 162, 176, 189 e 202 dias após o transplantio (DAT) dos diferentes tratamentos de irrigação e preparo do solo e níveis de significância (valor de probabilidade, p) para os fatores preparo de solo, irrigação e interação.

Fatores	Tratamentos	Número de ramos				
		DAT 148	DAT 162	DAT 176	DAT 189	DAT 202
Preparo de solo	CONV	8,8±0,9a	9,4±1,4a	10,15±1,6a	10,8±1,8a	11,5±1,9a
	SS	8,3±1,2ab	9,1±1,5a	9,7±1,6a	10,4±1,8ab	11,1±1,8ab
	TO	7,1±1,1b	7,8±1,4b	8,4±1,4b	9,1±1,6b	9,9±1,7b
Irrigação	Irrigado	8,8±1,0A	9,9±1,1A	10,7±1,2A	11,6±1,2A	12,4±1,2A
	Não irrigado	7,4±1,1B	7,6±1,1B	8,1±1,0B	8,6±1,0B	9,2±0,9B
		Valor de probabilidade, p				
Modelo estatístico		0,0436**	0,0045*	0,0054*	0,0034*	< 0,0017*
Preparo de solo (P)		0,0131**	0,0054*	0,0089*	0,0119**	0,0122**
Irrigação (I)		0,0035*	< 0,0001*	< 0,0001*	< 0,0001*	< 0,0001*
P × I		0,6430	0,7885	0,9354	0,9615	0,9537
R^2		0,8122	0,9070	0,9025	0,9134	0,9270
C.V. (%)		10,91	8,98	9,30	8,85	7,92

Médias seguidas por mesma letra na coluna não diferem entre si, pelo teste de Tukey, em cada um dos fatores (minúscula para preparo de solo e maiúscula para irrigação). Sendo: * = significativo a 1% de probabilidade, ** = significativo a 5% de probabilidade, CONV = preparo convencional do solo (aração e gradagem de nivelamento a 20 cm), SS = preparo do solo por subsolagem a 30 cm de profundidade, com aplicação de adubo no sulco do plantio, TO = tríplice operação (subsolagem, sulcamento e aplicação de adubo a 60 cm de profundidade), R^2 = coeficiente de determinação e C.V. = coeficiente de variação (%). Preparo de solo: média ± desvio padrão de quatro repetições e dois tratamentos de irrigação. Irrigação: média ± desvio padrão de quatro repetições e três sistemas de preparo de solo.

A largura média da copa apresentou diferença significativa para os tratamentos em todas as datas de amostragem ($p<0,01$, $R^2>0,90$, Tabela 5), com efeito significativo dos fatores preparo do solo e irrigação. Não houve efeito significativo para a interação P × I (Tabela 5). A largura média da copa foi 19,2% superior no tratamento CONV, em relação ao tratamento TO, no DAT 202 ($p=0,0020$, $R^2=0,9235$). As plantas dos tratamentos irrigados apresentaram largura média da copa 25,9% superiores aos tratamentos não irrigados (Tabela 5). A mesma tendência ocorreu nas amostragens anteriores (DAT 148, 162, 176 e 189). A variável largura média da copa apresentou resultados semelhantes para os preparos de solo CONV e SS no tratamento não irrigado (dados não mostrados), indicando, dessa forma, que a irrigação proporcionou maior largura média da copa das plantas do preparo CONV. De maneira similar aos resultados obtidos nas outras variáveis, as plantas do preparo por TO apresentaram crescimento inferior às plantas dos outros preparos do solo.

Os resultados desse experimento podem ser comparados aos obtidos por Martins et al. (2006), que indicaram maior crescimento inicial do cafeeiro sob condições de maior umidade do solo proporcionada pelo uso de irrigação. Esses autores indicaram que a aplicação de 100% da lâmina evaporada do tanque "Classe A" resultou em incremento de 382% na área foliar de café 'Conilon', 180 dias após o início do experimento. Nossos resultados são similares ao encontrados por Sakai et al. (2013), que testaram a irrigação em diferentes populações de plantas. Adicionalmente, Gomes, Lima e Custódio (2007) avaliaram a altura e diâmetro do caule de cafeeiro irrigado e observaram aumento do crescimento inicial com a aplicação da irrigação. Da mesma maneira, observou-se, neste experimento, que as plantas irrigadas obtiveram melhor crescimento em relação às plantas do tratamento não irrigado. Esses resultados eram esperados em função da resposta positiva do cafeeiro à irrigação (SANTINATO; FERNANDES, 2012).

TABELA 5 - Largura média da copa (média ± desvio padrão) aos 148, 162, 176, 189 e 202 dias após o transplantio (DAT) dos diferentes tratamentos de irrigação e preparo do solo e níveis de significância (valor de probabilidade, p) para os fatores preparo de solo, irrigação e interação.

Fatores	Tratamentos	Largura média da copa (cm)				
		DAT 148	DAT 162	DAT 176	DAT 189	DAT 202
Preparo de solo	CONV	29,3±4,4a	32,1±4,5a	35,0±4,8a	38,2±4,9a	41,5±5,3a
	SS	26,3±5,2ab	30,7±4,6a	33,7±4,6a	37,1±4,5a	40,2±4,6a
	TO	23,2±5,8b	27,4±4,6b	29,8±5,2b	33,1±5,2b	36,2±5,4b
Irrigação	Irrigado	30,9±3,0A	34,1±2,9A	37,0±3,0A	40,3±3,1A	43,8±3,1A
	Não irrigado	21,6±3,8B	26,0±2,9B	28,7±3,6B	31,9±3,5B	34,8±3,5B
		Valor de probabilidade, p				
Modelo estatístico		0,0034*	0,0028*	0,0047*	0,0038*	0,0020*
Preparo de solo (P)		0,0056*	0,0084*	0,0099*	0,0083*	0,0060*
Irrigação (I)		< 0,0001*	< 0,0001*	< 0,0001*	< 0,0001*	< 0,0001*
P × I		0,4532	0,8760	0,5638	0,5260	0,4534
R^2		0,9134	0,9175	0,9059	0,9108	0,9235
C.V. (%)		10,50	7,76	8,16	7,20	6,42

Médias seguidas por mesma letra na coluna não diferem entre si,pelo teste de Tukey, em cada um dos fatores (minúscula para preparo de solo e maiúscula para irrigação). Sendo: * = significativo a 1% de probabilidade, CONV = preparo convencional do solo (aração e gradagem de nivelamento a 20 cm), SS = preparo do solo por subsolagem a 30 cm de profundidade com aplicação de adubo no sulco do plantio; TO = tríplice operação (subsolagem, sulcamento e aplicação de adubo a 60 cm de profundidade); R^2 = coeficiente de determinação e C.V. = coeficiente de variação (%). Preparo de solo: média ± desvio padrão de quatro repetições e dois tratamentos de irrigação. Irrigação: média ± desvio padrão de quatro repetições e três sistemas de preparo de solo.

No entanto, a literatura atual é escassa em relação à avaliação do crescimento inicial de cafeeiro submetido à irrigação por gotejamento. Resultados com efeitos ao longo de diversas safras de cultivo estão disponíveis na literatura (OLIVEIRA et al., 2010).

Na parcela não irrigada, pode-se verificar que as plantas do tratamento de solo CONV apresentaram crescimento semelhante às plantas do tratamento SS para todas variáveis analisadas, podendo ser explicado pelo fato do solo ser homogêneo e não compactado. No entanto, o melhor desempenho do sistema CONV não pode ser generalizado para todo o ciclo da cultura, uma vez que o período de avaliação limitou-se ao estabelecimento inicial da cultura.

Em relação aos sistemas de preparo do solo para a parcela irrigada, nota-se que as plantas dos tratamentos CONV e SS apresentaram maior crescimento que as do tratamento com TO, no qual houve adubação a 60 cm de profundidade. Isso, provavelmente, ocorreu pelas diferentes profundidades de incorporação dos adubos, pois no CONV, os adubos foram incorporados superficialmente (próximos ao sistema radicular), e no SS houve o revolvimento do solo até 30 cm. Esses tratamentos podem ter sido favorecidos pela maior disponibilidade de nutrientes para a fase inicial. O menor crescimento das plantas, verificado no tratamento de solo por TO, pode estar relacionado ao fato da aplicação do adubo ter sido realizada a uma profundidade de 60 cm. Possivelmente, o sistema radicular da cultura ainda não havia atingido tal profundidade. Com o crescimento das plantas, a hipótese é que o sistema radicular atinja a região de aplicação do adubo, promovendo um maior crescimento das plantas. A questão a ser respondida com estudos futuros é se essa diferença no crescimento inicial será compensada com uma maior produtividade, em razão da maior disponibilidade de adubos, em profundidade proporcionada pela TO no cafeeiro.

4 CONCLUSÕES

Considerando que o experimento ocorreu na fase inicial do crescimento do cafeeiro, crítica para estabelecimento da cultura no campo, conclui-se que as plantas do tratamento com aração e gradagem apresentaram maior crescimento em relação aos outros dois preparos do solo (subsolagem a 30 cm e escarificação, adubação a 60 cm e gradagem). Em relação ao uso do gotejamento para a agricultura familiar, o tratamento irrigado proporcionou maior crescimento das plantas em todas as variáveis biométricas avaliadas. A irrigação foi fundamental em razão do período de estabelecimento da cultura coincidir com a época de menor precipitação pluviométrica no ano. Com isso, o sistema de irrigação por gotejamento tipo kit familiar pode ser considerado adequado para o crescimento inicial na cultura de café, usando o método convencional de preparo do solo com aração e gradagem.

5 AGRADECIMENTOS

A CAPES (Ministério da Educação) pela bolsa de pós-doutorado ao primeiro autor na *University of Georgia* (BEX 2620/13-8), à Netafim, pela doação do sistema de irrigação ao grupo de pesquisa, à Diretoria da FEAGRI/UNICAMP pelo apoio, ao Prof. Dr. Zigomar Menezes de Souza pela participação no planejamento da pesquisa, ao supervisor do campo experimental José Ricardo de Freitas Lucarelli e aos trabalhadores do campo experimental, pelo auxílio nas atividades.

6 REFERÊNCIAS

ALLEN, R. G. et al. **Crop evapotranspiration:** guidelines for computing crop water requirements. Rome: FAO, 1998. 15 p. (Irrigation and Drainage Paper, 56).

BARBOSA, R. S. **Sistema radicular e atributos físicos do solo sob diferentes preparos em citros**. 2011. 88 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2004.

BORSSOI, A. L. et al. Water application uniformity and fertigation in a dripping irrigation set. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 32, n. 4, p. 718-726, 2012.

CARVALHO, C. M. et al. Desempenho de um sistema de irrigação por gotejamento na cultura da goiaba. **Irriga**, Botucatu, v. 11, n. 1, p. 36-46, 2006.

CUNHA, F. F. et al. Manejo de micro-irrigação baseado em avaliação do sistema na cultura do meloeiro. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 21, n. 3, p. 147-155, 2008.

DEUS, F. P. et al. Susceptibilidade ao entupimento de um sistema de irrigação por gotejamento para agricultura familiar. **Coffee Science**, Lavras, v. 10, n. 1, p. 102-112.

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

GUERREIRO FILHO, O.; FAZUOLI, L. C.; AGUIAR, A. T. E. **Cutivares de *Coffea arabica* selecionadas pelo IAC:** características botânicas, tecnológicas, agronômicas e descritores mínimos. Campinas: FUNDAG, 2006. 255 p.

GUILHOTO, J. J. M. et al. **PIB da agricultura familiar:** Brasil-Estados. Brasília: NEAD Estudos, 2007. 172 p.

MARTINS, C. C. et al. Crescimento inicial do café conilon (*Coffea canephora* Pierre ex Froehner) sob diferentes lâminas de irrigação. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 14, n. 3, p. 193-201, 2006.

NASCIMENTO, J. M. S. et al. Avaliação da uniformidade de aplicação de água em um sistema de gotejamento para pequenas propriedades. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 33, p. 1728-1733, 2009. Número especial.

OLIVEIRA, E. L. et al. Manejo e viabilidade econômica da irrigação por gotejamento na cultura do cafeeiro Acaiá considerando seis safras. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 30, n. 5, p. 887-896, 2010.

OLIVEIRA, J. T. et al. Características físicas e carbono orgânico de solos sob diferentes tipos de uso da terra. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, p. 2821-2829, 2008. Número especial.

RAIJ, B. et al. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas: IAC, 1997. 285 p. (Boletim Técnico, 100).

REIS, E. F. et al. Avaliação do desempenho de sistemas de irrigação por gotejamento. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 13, n. 2, p. 74-81, 2005.

SAKAI, E. et al. *Coffea arabica* (cv Catuaí) production and bean size under different population arrangements and soil water availability. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 33, n. 1, p. 145-156, 2013.

SANTINATO, R.; FERNANDES, A. L. T. **Cultivo do cafeeiro irrigado por gotejamento**. Uberaba: [s.n.], 2012. 378 p.

SANTOS, F. S. S. et al. Efeito de diferentes lâminas de irrigação na cultura do mamão. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 28, n. 4, p. 673-680, 2008.

SOUZA, L. O. C. et al. Avaliação de sistemas de irrigação por gotejamento, utilizados na cafeicultura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 10, n. 3, p. 541-548, 2006.

SOUZA, R. O. R. M.; PÉREZ, G. F. E.; BOTREL, T. A. *Irrigação localizada por gravidade com microtubos.* **Irriga**, Botucatu, v. 11, n. 2, p. 266-279, 2006.

SUSCEPTIBILIDADE AO ENTUPIMENTO DE UM SISTEMA DE IRRIGAÇÃO POR GOTEJAMENTO PARA AGRICULTURA FAMILIAR

Fábio Ponciano de Deus[1], Rhuanito Soranz Ferrarezi[2], Renan Primo[3], Guilherme Alonso Martins[4], Roberto Testezlaf[5]

(Recebido: 28 de março de 2014; aceito: 30 de julho de 2014)

RESUMO: A agricultura familiar é um importante segmento do agronegócio, sendo responsável por parte significativa da produção de alimentos que abastece o mercado interno brasileiro. Fabricantes de equipamentos de irrigação desenvolveram alternativas tecnológicas para a produção familiar, como o sistema de irrigação por gotejamento KIFNET® que utiliza somente a ação da gravidade para pressurização dos gotejadores. Objetivou-se, neste trabalho, avaliar a variabilidade temporal das características hidráulicas de um sistema de irrigação familiar por gotejamento, instalado de acordo com orientações do fabricante na cultura do café, e inferir sobre a susceptibilidade dos emissores ao entupimento. A avaliação foi realizada na fase inicial de estabelecimento da cultura, durante a estação seca. Emissores novos foram avaliados hidraulicamente utilizando água limpa, com a determinação da curva característica para cinco valores de pressão de serviço. Também avaliou-se a susceptibilidade do equipamento ao entupimento (grau de entupimento, GE) do sistema instalado em campo e operando com água que possuía sólidos em suspensão. Na avaliação com água limpa, os emissores novos apresentaram 2,16% de coeficiente de variação, e 98,01 e 96,84% de coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC) e de distribuição (CUD), respectivamente. Na avaliação de campo, com o sistema operando nas condições de instalação preconizadas pelo fabricante, os coeficientes foram menores que os encontrados inicialmente (CUC=90,30% e CUD=85,79%), resultado da disposição dos equipamentos na área experimental, com declividade média de 10%, e do entupimento observado (GE=6,79%), após 24 eventos de irrigação. A uniformidade e a qualidade de fabricação do sistema foram classificadas como boas de acordo com a norma da ASABE para irrigação localizada, com grau de entupimento médio dentro do aceitável para o intervalo de utilização do equipamento, mostrando viabilidade técnica para aplicação na agricultura familiar, se utilizado de forma adequada e com manutenção preventiva.

Termos para indexação: Agricultura familiar, gotejamento, grau de entupimento.

CLOGGING SUSCEPTIBILITY OF A DRIP IRRIGATION SYSTEM DESIGNED FOR FAMILY FARMING

ABSTRACT: *Family farming is an important part of the agribusiness, accounting for a significant part of food production system that supplies the Brazilian domestic market. Irrigation equipment manufacturers have developed alternative technologies for family farming, as the KIFNET™ drip irrigation system, which uses only gravity to pressurize the emitters. The aim of this study was to evaluate the temporal variability of the hydraulic characteristics of a drip irrigation system for family farming, installed in accordance with manufacturer's guidelines for coffee plants, and infer emitter clogging susceptibility. The evaluation was performed in the initial phase of plant growth during the dry season. New emitters were hydraulically evaluated using tap water, with the determination of the characteristic curve for five pressure values. We also evaluated the clogging susceptibility of the equipment (clogging degree, CD) when installed in the field and using water with suspended solids. In the evaluation with tap water, new emitters showed a coefficient of variation of 2.16 %, Christiansen's uniformity coefficient (CUC) of 98.01%, and distribution uniformity (DU) of 96.84%. In the field evaluation, with the system operating according to the manufacturer guidelines, the uniformity coefficients have reached lower values than the tests with tap water (CUC=90.30% and DU=85.79%), because of the equipment layout in the field – as the area had a slope of 10% – and by the emitters clogging (CD=6.79%) after 24 irrigation events. The system uniformity and the manufacturing quality were classified as good according to the ASABE standard for drip irrigation, with average clogging degree within the acceptable range for the assessment time, showing technical feasibility for application of this system in family farming if used properly and with preventive maintenance.*

Index terms: *Family farming, drip irrigation, clogging degree.*

1 INTRODUÇÃO

A agricultura familiar se caracteriza por apresentar produção em pequenas áreas, sendo considerado um importante segmento do agronegócio brasileiro, por gerar 15,3 empregos a cada 100 hectares e ser responsável pela maior parte da produção que abastece o mercado interno, resultando em cerca de 10% do produto interno bruto do país (GUILHOTO et al., 2007).

[1,3,4,5]Universidade Estadual de Campinas/UNICAMP - Faculdade de Engenharia Agrícola/FEAGRI - Av. Cândido Rondon 501 13083-875 - Campinas - SP - fabio.deus@feagri.unicamp.br, renan.primo@feagri.unicamp.br, guilherme.martins@feagri.unicamp.br, bob@feagri.unicamp.br
[2]University of Georgia/UGA - Department of Horticulture - 1111 Miller Plant Science Building - Zip code 30602 - Athens - GA Estados Unidos - rhuanito@terra.com.br

Entretanto, esse setor possui baixa capacidade de investimento, com a produção ocorrendo em pequenas propriedades.

A implantação de tecnologias que proporcionem o incremento da produtividade e da qualidade dos produtos determina melhor rentabilidade ao agricultor. Nesse contexto, a irrigação assume papel fundamental por proporcionar aumento na produtividade das culturas e determinar, em alguns casos, aumento da qualidade do produto, possibilitando ao agricultor irrigante obter melhores preços e, consequentemente, melhor rentabilidade. Entretanto, como os recursos hídricos disponíveis são limitados e o uso da água está sendo regulamentada, a utilização de sistemas de irrigação mais eficientes são determinantes para o sucesso da atividade agrícola e para a sustentabilidade ambiental (FEDOROFF et al., 2010).

Sistemas de irrigação localizada são alternativas tecnológicas promissoras, tanto no uso da água como na aplicação de fertilizantes solúveis, assumindo importância econômica e ambiental na atividade agrícola (BORSSOI et al., 2012). Por outro lado, como os emissores possuem diâmetro de distribuição reduzido, eles são susceptíveis ao entupimento (REIS et al., 2005), necessitando de uma qualidade de água superior, que pode ser atingida com tratamentos físicos e/ou químicos da água. Adicionalmente, o custo de implantação dos sistemas de irrigação localizada é significativamente alto, além de exigirem mão de obra qualificada na sua operação e manutenção (TESTEZLAF, 2011).

Percebendo o potencial econômico originado pelo setor da agricultura familiar, algumas empresas estão investindo no desenvolvimento de novos equipamentos para o segmento. Recentemente, foi lançado no mercado nacional o kit de irrigação Familiar KITNET™ (Netafim, Tel Aviv, Israel), que é uma estrutura completa de irrigação em um só kit, no qual o sistema de irrigação é pressurizado pela ação da gravidade com carga hidráulica equivalente a apenas 1 mca (SOUZA; PÉREZ; BOTREL, 2006), preconizando a sua utilização em propriedades familiares com a mesma tecnologia de irrigação por gotejamento existente em grandes propriedades rurais.

De acordo com o fabricante do equipamento, o custo aproximado de 1 ha do sistema convencional de gotejamento para café fica em R$ 8.000. O custo de 1 ha do sistema KIFNET® fica em R$ 9.500. No entanto, um sistema convencional de gotejamento para 1000 m² custa em torno de R$ 2.500,00, já que a estrutura básica do sistema, como bomba e filtro mantém quase o mesmo custo entre 1 ha e 1000 m². Por outro lado, o sistema KIFNET® de 1000 m² pode ser encontrado no mercado por, aproximadamente, R$ 1.800,00. Portanto, o sistema é mais barato para áreas menores, característica principal dos agricultores familiares. O sistema KIFNET® ainda distribui a água por gravidade, reduzindo o custo com bombeamento. Os autores destacam que outros custos devem ser considerados para comparação dos sistemas (sistema de filtragem, equipamentos de fertirrigação, entre outros).

Avaliações hidráulicas de sistemas de irrigação por gotejamento são práticas comuns na pesquisa (BORSSOI et al., 2012; REIS et al., 2005), principalmente em frutíferas como meloeiro (CUNHA et al., 2008), mamoeiro (SANTOS et al., 2008), goiabeira (CARVALHO et al., 2006) e inclusive cafeeiro (RODRIGUES et al., 2013; SOUZA et al., 2006; VICENTE et al., 2011). Como o uso do kit familiar é incipiente, poucos trabalhos foram realizados até o momento usando essa tecnologia (NASCIMENTO et al., 2009; SOUZA; PÉREZ; BOTREL, 2006). Comparações podem ser realizadas com sistemas de baixa pressão (ZHANG et al., 2011). Como qualquer outro sistema de irrigação, é necessário ao agricultor conhecer como as suas características operacionais variam ao longo do tempo, sendo necessária a avaliação técnica do seu desempenho com o tempo de uso. A relação entre pressão e vazão do emissor, determinada pela sua equação característica, subsidia a avaliação dos critérios de projeto indicados pela empresa (tamanho máximo de linha lateral de 16 m). Adicionalmente, a avaliação da uniformidade de aplicação deve ser realizada e comparada com os índices preconizados por norma para irrigação localizada (AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS - ASABE, 2001), e deve-se verificar o grau de entupimento dos emissores, para o sistema de tratamento de água sugerido pela empresa.

Neste contexto, objetivou-se, neste trabalho, avaliar a variabilidade temporal das características hidráulicas de um sistema de irrigação familiar por gotejamento, instalado de acordo com orientações do fabricante na cultura do café, e inferir sobre a susceptibilidade dos emissores ao entupimento.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento foi desenvolvido na Faculdade de Engenharia Agrícola (FEAGRI) da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP) (longitude 47º03'33" O, latitude 22º48'57" S, altitude de 640 m), cujo clima é classificado de acordo com Köppen como sendo de transição entre os tipos Cwa e Cfa, indicando ser um clima tropical de altitude com inverno seco e verão úmido.

2.1 Análise da água do reservatório

Como o entupimento é proporcionalmente influenciado pela quantidade de agentes causadores de obstrução presentes no sistema, é imprescindível conhecer a qualidade da água de irrigação. Nesse sentido, seguindo orientações da norma "Standard Methods for Examination of Water and Wastewater" (AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION - APHA, 1995), realizaram-se as análises de sólidos suspensos totais (SST), condutividade elétrica (CE) e pH.

2.2 Avaliação hidráulica do equipamento em laboratório

Com o intuito de se conhecer o comportamento hidráulico do equipamento sem haver interferência da qualidade da água e da instalação do equipamento em campo, realizou-se a avaliação do mesmo em uma área plana, com controle de pressão do sistema, utilizando água proveniente do abastecimento urbano de Campinas/SP (água com baixo índice de sólidos suspensos totais). Para isso, utilizou-se uma linha de tubo gotejador KIFNET®, com 12 metros de comprimento (gotejador do tipo *Typhoon MicroDrip* com espaçamento de 0,3 m entre gotejadores), pressurizado com auxílio de uma caixa com nível d'água constante e altura variável do reservatório, e as leituras foram realizadas utilizando piezômetro graduado (Figura 1).

Realizou-se a avaliação do gotejador nas posições relativas ao início, 1/4, 1/2, 3/4, e ao final da linha, sendo que, em cada posição, mediu-se a vazão de dois gotejadores subsequentes, no tempo de 3 min (BORSSOI et al., 2012; CUNHA et al., 2008; REIS et al., 2005; SANTOS et al., 2008; SOUZA et al., 2006). Para cada avaliação, as pressões resultantes da variação da altura da caixa d'água foram de 13,14; 14,86; 16,77; 18,55 e 20,41 kPa, e as respectivas alturas da caixa d'água foram de 1,4; 1,5; 1,7; 1,9 e 2,1 m, sendo cada pressão repetida três vezes. Com os dados de vazão e pressão, foi possível determinar a equação característica do emissor, e com os dados de vazão, estimou-se o coeficiente de variação de fabricação (CVf), o coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC) e o coeficiente de distribuição (CUD) (BORSSOI et al., 2012).

2.3 Avaliação do sistema de irrigação instalado

Instalou-se o sistema de irrigação em uma área cultivada com a cultura do café (*Coffea arabica* L.)'Catuaí Vermelho', com espaçamento de 0,7 m entre plantas e 3,0 m entrelinhas de plantio. Toda a instalação foi realizada de acordo com as orientações do fabricante. O fabricante Netafim propõe um esquema simples para instalação, sendo composto por cinco partes: um reservatório de água de 1 m^3, alocado na parte superior da área experimental a 1,5 m de altura em relação à saída para a linha de derivação, cujo objetivo foi pressurizar o sistema de irrigação por gravidade; um registro de abertura e fechamento do sistema de irrigação; um filtro de tela para remoção dos sólidos suspensos contidos na água de irrigação; tubos de distribuição de polietileno; e, por fim, as linhas de irrigação onde os gotejadores foram inseridos (Figura 2).

FIGURA 1 - Caixa d'água com nível constante e altura variável do reservatório (A), e piezômetro graduado para leitura das pressões (B).

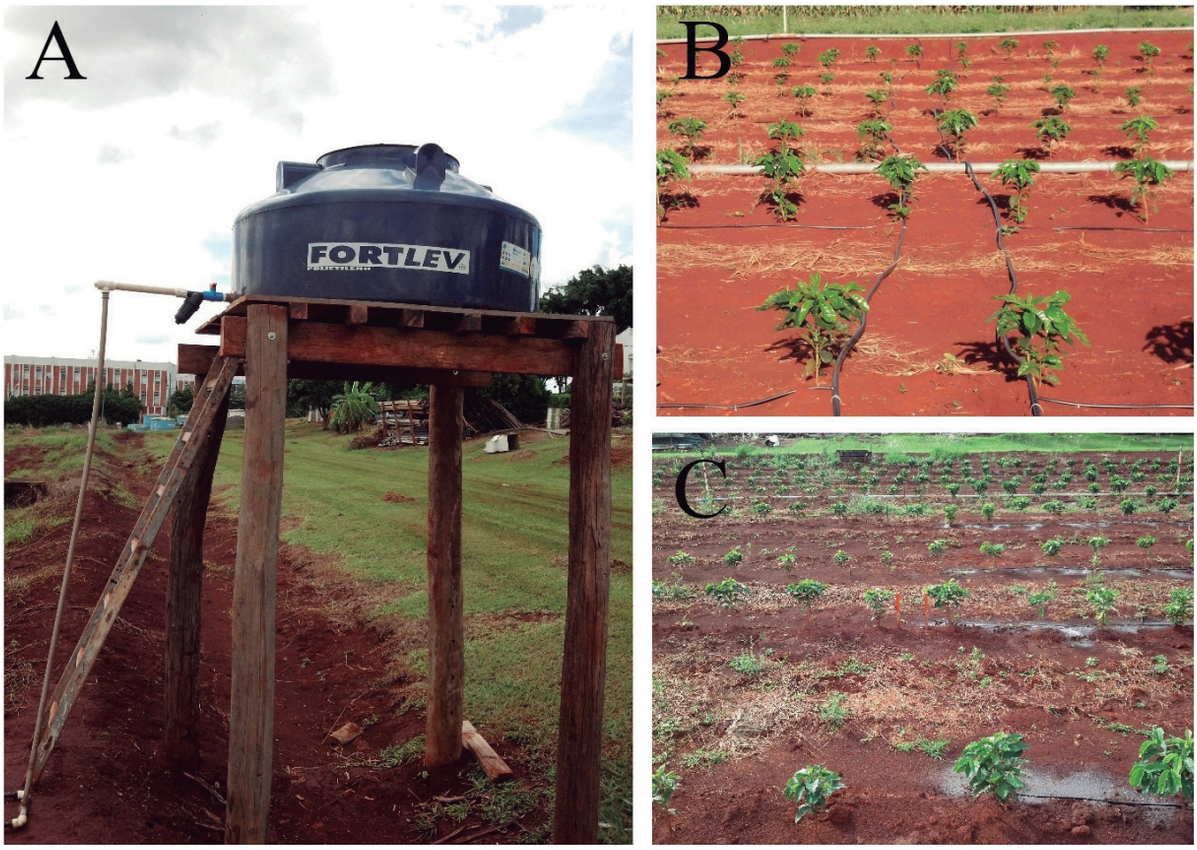

FIGURA 2 - Caixa d'água de 1 m³ elevada a 1,5 m (A), posicionada na parte superior da área experimental. Vista da linha de derivação (B) e da linha de irrigação em funcionamento (C).

A área irrigada foi composta por 22 linhas laterais, divididas em 2 linhas de derivação (lado direito e lado esquerdo), resultando em 11 linhas laterais (15,4 m cada) por linha de derivação. Cada lado foi avaliado de forma independente. As linhas laterais selecionadas na avaliação referiram-se à posição inicial, à 1/4, 1/2, 3/4, e final de cada linha de derivação (BORSSOI et al., 2012; CUNHA et al., 2008; REIS et al., 2005; SANTOS et al., 2008; SOUZA et al., 2006). Em cada linha lateral avaliada mantiveram-se as mesmas posições, nas quais se coletaram o volume de água de dois gotejadores subsequentes por posição no tempo de 3 min (Figura 3). Cada ensaio foi repetido 3 vezes, sendo realizadas 4 avaliações no total (24/05/2013, 07/06/2013, 21/06/2013 e 03/07/2013) no decorrer de 24 eventos de irrigação. A avaliação do sistema ocorreu na época mais seca do ano, quando houve utilização do equipamento em razão da realização de irrigação na cultura do café e descrita por Ferrarezi et al. (2015), o que limitou o estudo a 35 h de avaliação.

Com as informações de vazão dos gotejadores, foram determinados em campo os coeficientes de uniformidade de Christiansen (CUC) e de distribuição (CUD) (BORSSOI et al., 2012; CUNHA et al., 2008; REIS et al., 2005; SANTOS et al., 2008; SOUZA et al., 2006), e o grau de entupimento dos emissores (GE), nas datas de avaliação indicadas anteriormente, avaliando-se, consequentemente, a variabilidade temporal desses parâmetros (CARARO et al., 2006). Para expressar o grau de entupimento, foi utilizada a relação entre a vazão do emissor usado pela vazão do emissor novo, empregada por Cararo et al. (2006) e mostrada na Equação 1.

$$GE = \left(1 - \frac{q_{usado}}{q_{novo}}\right).100 \qquad \text{(Equação 1)}$$

Sendo GE: grau de entupimento (%); q_{usado}: vazão do emissor usado (L h^{-1}); e q_{novo}: vazão do emissor novo (L h^{-1}).

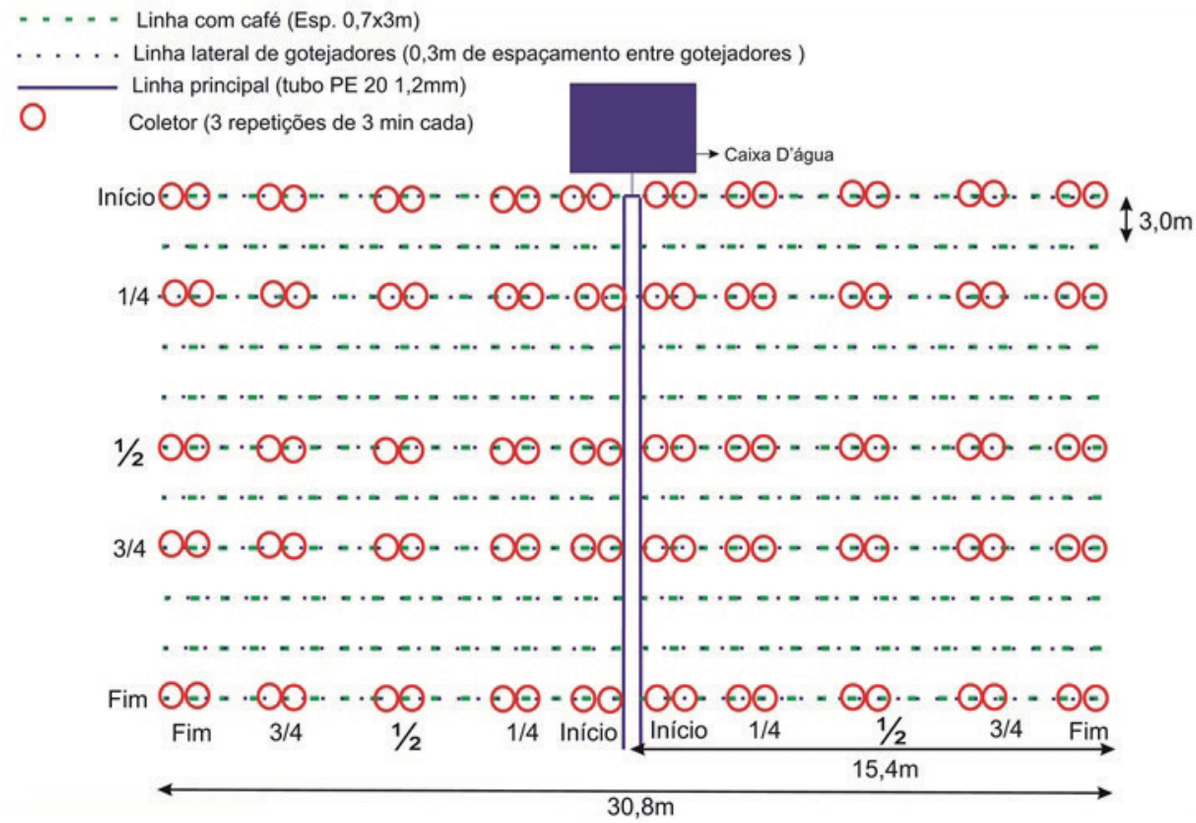

FIGURA 3 - Layout de instalação dos equipamentos de irrigação em campo, bem como as posições das linhas laterais e gotejadores avaliados.

2.4 Análise dos dados

Os dados foram analisados utilizando-se estatística descritiva (média, desvio padrão e coeficiente de variação, tabelas e gráficos), e a interpretação dos índices foram realizadas com base no intervalo de valores constantes nas normas ASABE (1994, 2001), e com base em valores apresentados na literatura, tal como a de Niu, Liu e Chen (2013) para grau de sujidade.

De acordo com a norma ASABE (2001), sistemas de irrigação com valores maiores que 90% de coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD) são considerados excelentes, entre 75-90% são bons, entre 62-75% são regulares, entre 50-62% são ruins, e inaceitáveis para CUD menor que 50%. A norma ASABE (1994) estabelece intervalos para o coeficiente de variação de fabricação (CVf), em que valores menores que 5% são considerados excelentes emissores, CVf entre 5-7% são classificados como médios, entre 7-11% são marginais, entre 11-15% são considerados pobrese inaceitáveis para CVf maiores que 15%.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Análise da água do reservatório

Os resultados de análise de alguns parâmetros físicos, químicos e biológicos da água de irrigação utilizada no sistema de irrigação, em cinco períodos distintos que abrangem o intervalo de avaliação do sistema de irrigação em campo, são apresentados na Tabela 1.

Em termos de sólidos suspensos totais (SST), as avaliações apresentaram níveis menores que 5 mg L^{-1}, com exceção da avaliação realizada em 16/04/2013, cujo valor foi de 18 mg L^{-1}. Esse elevado valor pode ser explicado por precipitações ocorridas próximas às irrigações, que provocaram o aumento dos SST em razão do reservatório estar situado num ponto de captação de água de uma microbacia. Utilizando a classificação das águas de Bucks, Nakayama e Gilbert (1979), em termos de SST, essa água oferece baixo risco ao entupimento dos gotejadores (< 50 mg L^{-1}).

TABELA 1 - Análise da água do reservatório, em períodos distintos.

Data de coleta	Sólidos suspensos totais, SST (mg L^{-1})	Condutividade elétrica, CE (dS m^{-1})	pH (a 25°C)
03/12/2012	< 5	0,078	7,77
05/02/2013	< 5	0,071	7,13
16/04/2013	18	0,058	7,09
17/05/2013	< 5	0,057	7,16
12/06/2013	<5	0,062	7,3

FIGURA 4 - Tela do filtro obstruída pela sujeira da água com 40 min de utilização (à esquerda) e higienizada (à direita).

Com relação aos valores de pH (média de 7,29), pode-se enquadrar o nível de risco de entupimento dessa água como sendo moderado. Avaliando-se os valores de CE (média de 0,0652 dS m^{-1}), a água do experimento está dentro da faixa recomendada, pois, águas com valores menores que 0,7 dS m^{-1} não possuem restrição de utilização.

Apesar da quantidade de SST indicar baixo risco ao entupimento dos emissores, observou-se entupimento frequente do filtro de tela no campo, a ponto de provocar diminuição na vazão dos emissores, no decorrer da irrigação (Figura 4). Com o intuito de possibilitar a ocorrência da mínima variação da vazão nas linhas, durante a avaliação hidráulica do sistema, a higienização do filtro era realizada antes da avaliação de cada linha lateral.

3.1 Avaliação do sistema de irrigação novo

A equação característica do emissor é apresentada na Figura 5, representando o ajuste dos dados de vazão e pressão ao modelo potencial.

Dentro da faixa de pressão avaliada, observa-se que o emissor operava em regime de escoamento turbulento, interessante para evitar a ocorrência de entupimento de emissores. A variação média de pressão de 13,14 a 20,41 kPa promoveu uma variação de vazão de 0,82 a 1,0 L h^{-1} respectivamente, cujo modelo de regressão explica 94,44% dos dados.

Em todas as pressões avaliadas, observou-se que o CVf do equipamento variou de 1,20 a 4,01%, sendo classificado como bom de acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT (1986), e classificado como excelente de acordo com a ASABE (1994) (Tabela 2). Essa qualidade de fabricação resultou em uma boa uniformidade de aplicação, atingindo valores médios de CUC de 98,01% (desvio padrão [DP] = 0,39% e coeficiente de variação [CV] = 0,40%) e CUD de 96,84% (DP = 0,69% e CV= 0,72%). De acordo com Borssoi et al. (2012), citando a norma ASABE (2001), emissores com CUD superiores a 90% são considerados excelentes.

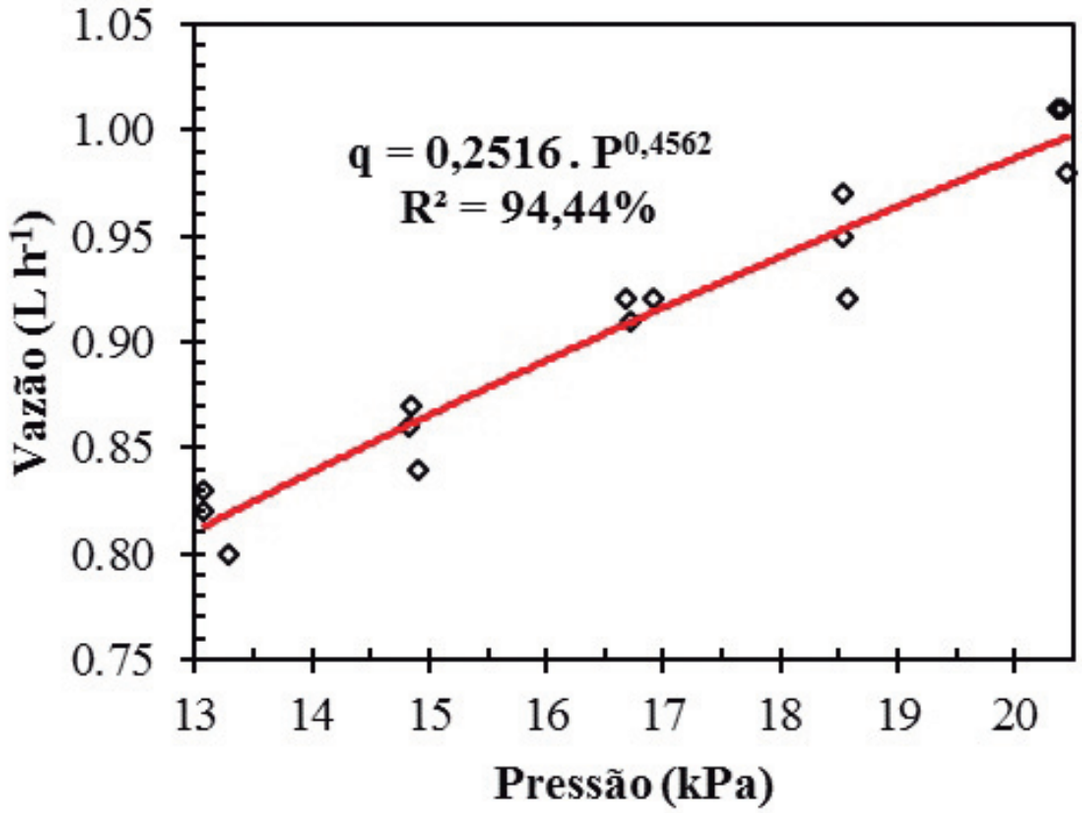

FIGURA 5 - Representação gráfica da vazão, em função da pressão ao modelo potencial (equação característica do emissor).

TABELA 2 - Pressões de avaliação, vazão média dos gotejadores e coeficiente de variação de fabricação (CVf).

Repetição	Pressão (kPa)	Vazão média (L/h)	CVf (%)	Classificação de qualidade	
				ABNT (1996)	ASABE (1994)
1	13,07	0,82	3,11	Bom	Excelente
2	13,07	0,83	1,20	Bom	Excelente
3	13,29	0,80	2,57	Bom	Excelente
1	14,84	0,87	2,53	Bom	Excelente
2	14,83	0,86	2,18	Bom	Excelente
3	14,91	0,84	2,12	Bom	Excelente
1	16,72	0,91	2,01	Bom	Excelente
2	16,67	0,92	1,23	Bom	Excelente
3	16,92	0,92	4,01	Bom	Excelente
1	18,53	0,95	2,98	Bom	Excelente
2	18,53	0,97	1,39	Bom	Excelente
3	18,58	0,92	3,21	Bom	Excelente
1	20,37	1,01	0,99	Bom	Excelente
2	20,4	1,01	1,40	Bom	Excelente
3	20,45	0,98	1,51	Bom	Excelente

3.2 Avaliação do sistema de irrigação em campo

Os valores médios de CUC e CUD são apresentados na Figura 6, para os lados direito (LD) e esquerdo (LE) avaliados independentemente nas diferentes datas de avaliação. Comparando-se os dados de CUC e CUD, em relação aos dois lados da área avaliada, pode-se observar que os maiores valores ocorreram nos gotejadores instalados do LD da área. Essa diferença pode estar associada às diferenças construtivas dos equipamentos instalados em cada lado (gotejadores e conexões), além das diferenças do microrrelevo de cada lado que pode determinar diferenças nos valores de vazão, bem como nos valores de uniformidade.

Considerando todas as avaliações realizadas (LD e LE), atingiu-se um valor médio de CUC de 90,3% DP = 0,00898% e CV = 0,99%) e de CUD de 85,79% DP = 0,0185% e CV = 2,15%), sendo considerada uma boa uniformidade pela norma ASABE (2001). Comparando com os dados do equipamento novo, observou-se diminuição média de 7,71% no valor de CUC e 11,05% no valor de CUD. Em termos de variabilidade temporal, não se observou nenhuma alteração significativa entre as quatro avaliações, diferente do encontrado por Nascimento et al. (2009), utilizando gotejador de modelo diferente (Marca Plastro, modelo Hydrogol 12/25/1), onde em 90 dias de ensaio (4 horas diárias), observou-se significativa diminuição da uniformidade de aplicação. De maneira geral, o tempo de avaliação não foi suficiente para observar variabilidade da uniformidade de aplicação.

A diminuição da uniformidade de aplicação, comparando gotejadores novos com os instalados no campo, deve-se ao próprio *layout* de disposição dos equipamentos no campo, pois a área tinha uma declividade média de 10%, bem como ao entupimento observado dos emissores. O comportamento do grau de entupimento das linhas laterais avaliadas pode ser observado na Figura 7.

Com o intuito de avaliar o desenvolvimento do entupimento dos emissores dentro do intervalo de tempo avaliado, observaram-se pequenas variações ao longo do tempo, não sendo possível estabelecer uma tendência de comportamento, ou seja, a ocorrência de entupimento no decorrer do tempo, pois o tempo de utilização do equipamento foi de apenas 35 h. Com relação à variação do GE em relação à posição das linhas laterais, pode-se verificar uma tendência dos maiores valores ocorrerem na parte superior da área, salientado pelos valores do GE no início das linhas laterais (Figura 7A e 7B), próximo ao reservatório de água. Em termos numéricos, o valor médio do GE do experimento foi de 6,87%, em 35 horas de utilização do equipamento. Os resultados foram superiores aos obtidos por Nascimento et al. (2009), que observou um aumento do GE com o tempo, com GE de 2,3%, em 40 horas de uso e de 16,3%, em 360 horas de uso, indicando que os emissores poderiam atingiram níveis mais elevados de entupimento se avaliados em um tempo maior de uso. Como o cafeeiro é um cultivo permanente, o uso do sistema de irrigação ocorre por um longo período de tempo, podendo determinar redução significativa da vazão, com o aumento do grau de entupimento.

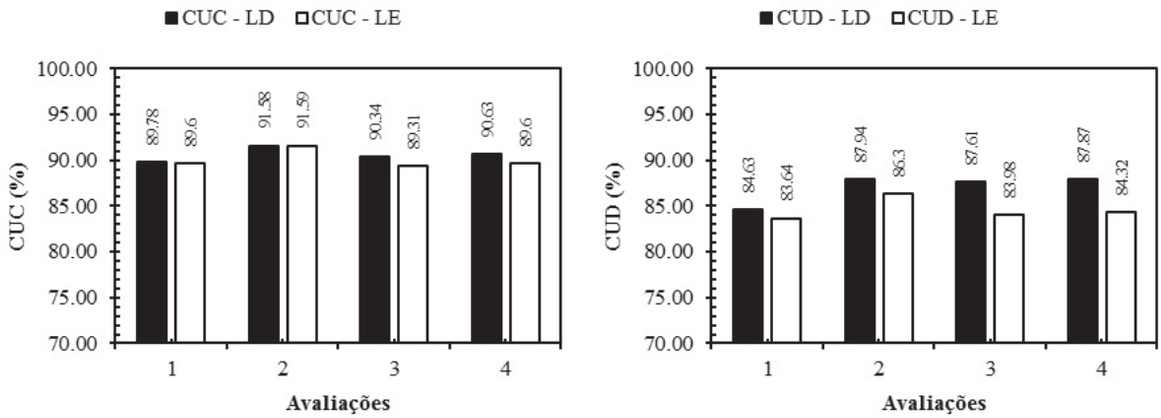

FIGURA 6 - Coeficientes de uniformidade de Christiansen (CUC) (à esquerda) e de distribuição (CUD) (à direita), avaliados para o lado direito (LD) e esquerdo (LE) da área onde estavam instalados os gotejadores, em diferentes épocas (1 – 24/05/2013, 2 – 07/06/2013, 3 – 21/06/2013, e 4 – 03/07/2013).

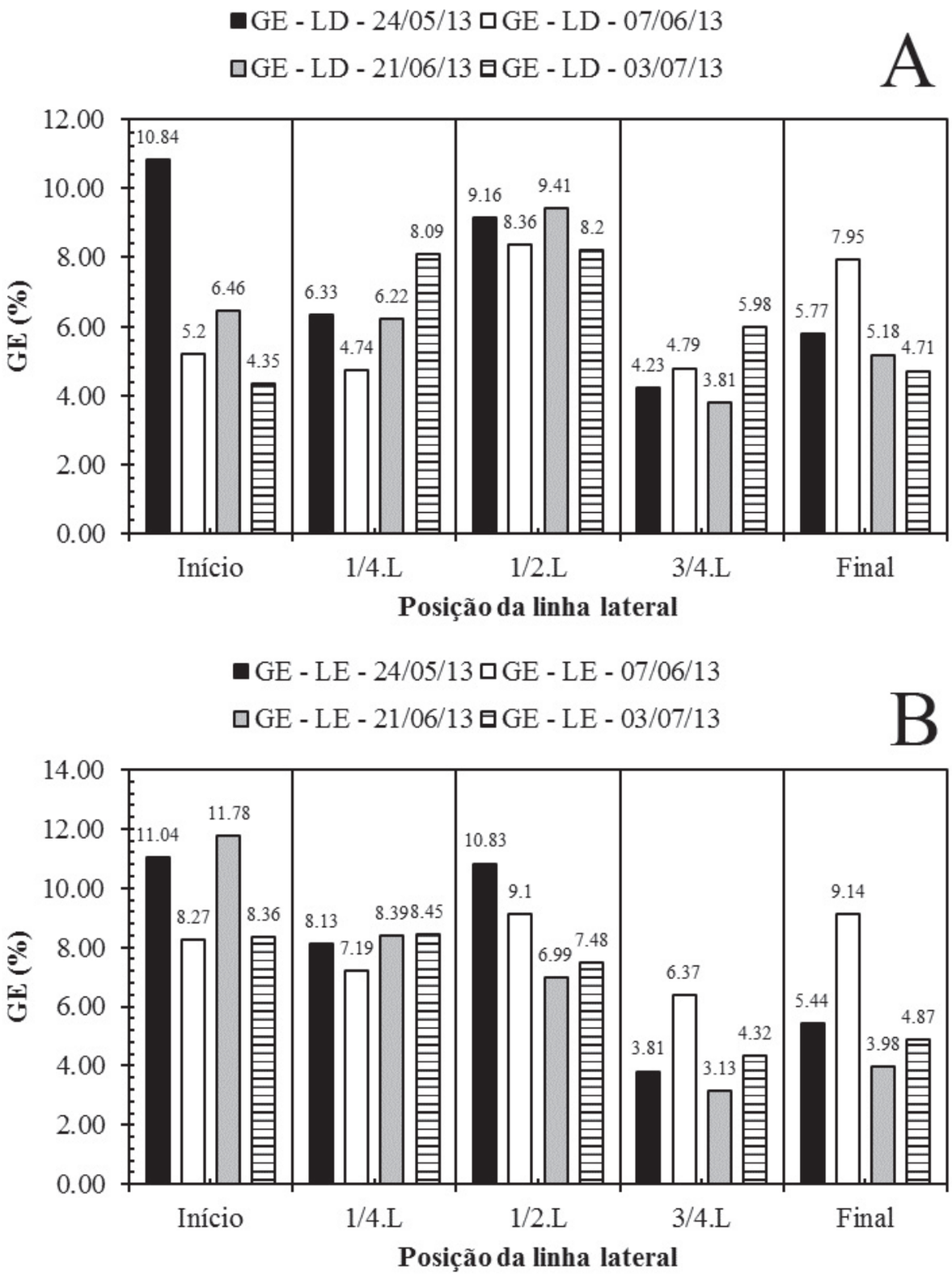

FIGURA 7 - Comportamento do grau de entupimento das diferentes linhas laterais avaliadas, instaladas do lado direito (A) e do lado esquerdo (B), em diferentes posições na linha de derivação.

De maneira geral, observa-se que alguns emissores apresentaram um entupimento significativo (GE>10%) (NIU; LIU; CHEN, 2013). Ainda de acordo com Niu, Liu e Chen (2013), emissores com 25% de grau de entupimento apresentam entupimento grave, enquanto atingindo 50% de GE pode-se considerar que o emissor está entupido. No presente estudo, nenhum emissor apresentou níveis de entupimento classificados como grave ou entupido para o tempo de uso do equipamento, contudo, com o uso prolongado, a ocorrência do entupimento pode ser observada. Estudos de longa duração são necessários para fornecer essas informações aos agricultores familiares. Além disso, essas informações precisam ser comparadas com a resposta de diferentes culturas ao uso do sistema de irrigação por gotejamento KIFNET®. O efeito deste sistema de gotejamento no crescimento vegetativo inicial da cultura do café pode ser encontrado em Ferrarezi et al. (2015).

4 CONCLUSÕES

Considerando o pequeno intervalo de tempo de utilização do equipamento, pode-se concluir que a uniformidade e a qualidade de fabricação do sistema foram classificadas como sendo boas, e apesar de alguns emissores já terem apresentado entupimento significativo, na média ainda estavam dentro de um valor aceitável, mostrando viabilidade técnica para aplicação na agricultura familiar, se utilizado de forma adequada e com manutenção preventiva.

5 AGRADECIMENTOS

A CAPES (Ministério da Educação) pela bolsa de pós-doutorado ao primeiro autor na *University of Georgia* (BEX 2620/13-8), à Netafim, pela doação do sistema de irrigação ao grupo de pesquisa, à Diretoria da FEAGRI/UNICAMP pelo apoio, ao Prof. Dr. Zigomar Menezes de Souza pela participação no planejamento da pesquisa, ao supervisor do campo experimental José Ricardo de Freitas Lucarelli e aos trabalhadores do campo experimental, pelo auxílio nas atividades.

6 REFERÊNCIAS

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. Washington: APHA/AWWA/WPCF, 1995. 798 p.

AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS. **Design and installation of microirrigation systems EP405.1**. Saint Joseph, 1994. 4 p.

_____. **Field evaluation of micro irrigation systems EP 458**. Saint Joseph, 2001. 5 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Emissores para sistemas de irrigação localizada:** avaliação das características operacionais (PNBR 12:02.08.21). São Paulo, 1986. 7 p.

BORSSOI, A. L. et al. Water application uniformity and fertigation in a dripping irrigation set. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 32, n. 4, p. 718-726, 2012.

BUCKS, D. A.; NAKAYAMA, F. S.; GILBERT, R. G. Trickle irrigation water quality and preventive maintenance. **Agricultural and Water Management**, Wageningen, v. 2, n. 2, p. 149-162, 1979.

CARARO, D. C. et al. Analysis of clogging in drip emitters during wastewater irrigation. **Applied Engineering in Agriculture**, Saint Joseph, v. 22, n. 2, p. 251-257, 2006.

CARVALHO, C. M. et al. Desempenho de um sistema de irrigação por gotejamento na cultura da goiaba. **Irriga**, Botucatu, v. 11, n. 1, p. 36-46, 2006.

CUNHA, F. F. et al. Manejo de micro-irrigação baseado em avaliação do sistema na cultura do meloeiro. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 21, n. 3, p. 147-155, 2008.

FEDOROFF, N. V. et al. Radically rethinking agriculture for the 21st century. **Science**, Washington, v. 327, n. 5967, p. 833-834, 2010.

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

GUILHOTO, J. J. M. et al. **PIB da agricultura familiar:** Brasil-Estados. Brasília: NEAD Estudos, 2007. 172 p.

NASCIMENTO, J. M. S. et al. Avaliação da uniformidade de aplicação de água em um sistema de gotejamento para pequenas propriedades. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 33, p. 1728-1733, 2009. Número especial.

NIU, W.; LIU, L.; CHEN, X. Influence of fine particle size and concentration on the clogging of labyrinth emitters. **Irrigation Science**, Wageningen, v. 31, n. 4, p. 545-555, 2013.

REIS, E. F. et al. Avaliação do desempenho de sistemas de irrigação por gotejamento. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 13, n. 2, p. 74-81, 2005.

RODRIGUES, R. R. et al. Eficiência e uniformidade de um sistema de irrigação por gotejamento na cultura do cafeeiro. **Ambiência**, Guarapuava, v. 9, n. 2, p. 323-334, 2013.

SANTOS, F. S. S. et al. Efeito de diferentes lâminas de irrigação na cultura do mamão. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 28, n. 4, p. 673-680, 2008.

SOUZA, L. O. C. et al. Avaliação de sistemas de irrigação por gotejamento, utilizados na cafeicultura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 10, n. 3, p. 541-548, 2006.

SOUZA, R. O. R. M.; PÉREZ, G. F. E.; BOTREL, T. A. *Irrigação localizada por gravidade com microtubos*. **Irriga**, Botucatu, v. 11, n. 2, p. 266-279, 2006.

TESTEZLAF, R. **Irrigação**: métodos, sistemas e aplicações. Campinas: UNICAMP, 2011. 204 p.

VICENTE, M. R. et al. Análise técnica dos sistemas de irrigação do cafeeiro (Coffea arabica L.) na região oeste da Bahia. **Coffee Science**, Lavras, v. 6, n. 2, p. 147-158, 2011.

ZHANG, C. et al. Assessment of hydraulic performance of drip-irrigation emitters at low head pressures. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, Reston, v. 137, n. 11, p. 730-734, 2011.

SELEÇÃO DE UM MODELO DE REGRESSÃO BINOMIAL PARA TAXA DE PREDAÇÃO DE *Euseius concordis* (CHANT, 1959)

Gilberto Rodrigues Liska[1], Erika Carla da Silveira[2], Paulo Rebelles Reis[3]
Marcelo Ângelo Cirillo[4], Guido Gustavo Humada Gonzalez[5]

(Recebido: 02 de abril de 2014; aceito: 30 de julho de 2014)

RESUMO: O ácaro-vermelho *Oligonychus ilicis* (McGregor, 1917) (Tetranychidae) tem se mostrado como um importante agente causador de dano na cultura do cafeeiro (*Coffea* spp.). O controle químico tem sido amplamente utilizado no controle desse ácaro, porém, a existência de efeitos adversos de sua aplicação tem gerado preocupação. Uma alternativa para esse método químico é o controle biológico por predadores naturais e entre eles ácaros de algumas espécies do gênero *Euseius* (Phytoseiidae) têm sido relatados como predadores eficientes no controle biológico de várias espécies de ácaros fitófagos, proporcionando altas taxas de predação. Diante do exposto, é de grande importância a precisão das informações geradas por um modelo matemático, uma vez que condicionam decisões, e os modelos lineares generalizados oferecem uma grande diversidade frente à taxa de predação. Objetivou-se, no presente trabalho, estudar a proporção de ataque do ácaro predador *Euseius concordis* (Chant, 1959) (Phytoseiidae) sobre a presa *O. ilicis,* selecionando um modelo de regressão binomial mais apropriado para representá-la, conforme os critérios AIC, BIC, teste da *Deviance* e envelope simulado. Os resultados apontam que o modelo Logit apresentou os melhores valores dos critérios de adequabilidade AIC, BIC e *Deviance*, sendo, portanto, o modelo mais adequado para explicar a relação predador/presa do ácaro *E. concordis,* em relação ao *O. ilicis*. O desempenho de *E. concordis* em densidades superiores a 4,3 ácaros/cm^2 é menor do que 50%. A partir da densidade 6,4 ácaros/cm^2, a taxa de predação do ácaro *E. concordis* apresentou ligeiro decréscimo e tendência de constância.

Termos para indexação: Modelos lineares generalizados, *Coffea arabica*, controle biológico, Phytoseiidae, Tetranychidae.

SELECTING A BINOMIAL REGRESSION MODEL ON THE PREDATION RATE OF *Euseius concordis* (CHANT, 1959)

ABSTRACT: *The red spider Oligonychus ilicis (McGregor, 1917) (Tetranychidae) has proven to be a major cause of problems in coffee (Coffea spp.). Chemical control has been widely used to control this mite, however, the existence of the adverse effects of its application has generated concern regarding its use. An alternative to this method is the biological control of pests by natural predators, among them mites of the genus Euseius (Phytoseiidae) have been reported as efficient predators in the biological control of various species of phytophagous mites providing high rates of predation. Given the above, it's of great importance to the accuracy of information obtained by a mathematical model, since they will condition decisions, and generalized linear models offer a wide diversity of models front predation rate. In this sense, the present study investigated the proportion of Euseius concordis (Chant, 1959) (Phytoseiidae) predatory mite attack on demand of prey O. ilicis, selecting the most appropriate binomial regression model to represent it, according to the AIC and BIC criteria, Deviance test and simulated envelope. The results indicate that the Logit model showed the best values AIC, BIC and Deviance test for suitability, therefore, the most suitable model to explain the relationship of predation/prey of the mite E. concordis in control of O. ilicis. The E. concordis performance in densities exceeding 4.3 mites/cm^2 is less than 50%. From the 6.4 density mites/cm^2 the predation rate of the mite E. concordis showed slight decrease and trend of constancy.*

Index Terms: *Generalized linear models, Coffea arabica, biological control, Phytoseiidae, Tetranychidae.*

1 INTRODUÇÃO

O cafeeiro (*Coffea* spp.), como outras plantas cultivadas, abriga uma diversidade de artrópodes, dos quais alguns são pragas que causam sérios danos. Entre as que se destacam como problemas na cultura do cafeeiro está o ácaro-vermelho *Oligonychus ilicis* (McGregor, 1917) (Acari: Tetranychidae) (FRANCO et al., 2008; REIS; ZACARIAS, 2007).

O ácaro-vermelho-do-cafeeiro, como é conhecido no Brasil, vive na superfície superior das folhas que, quando atacadas, ficam recobertas por uma delicada teia, tecida pelos próprios ácaros, e, nessa teia aderem detritos e poeira, dando às folhas um aspecto de sujeira. Para se alimentar, os ácaros perfuram as células e absorvem parte do conteúdo celular. Como consequência, as folhas perdem o brilho natural, tornam-se bronzeadas, o que dá um péssimo aspecto às plantas. O ataque, geralmente ocorre em reboleiras, mas pode atingir toda a lavoura (FRANCO et al., 2009; REIS; ZACARIAS, 2007).

O controle de *O. ilicis* tem sido realizado, principalmente, por meio da aplicação de produtos fitossanitários (REIS; ZACARIAS, 2007).

[1,4,5]Universidade Federal de Lavras/UFLA - Departamento de Ciências Exatas/DEX - Cx. P. 3037 - 37.200-000 - Lavras - MG gilbertoliska@hotmail.com, macufla@gmail.com, gustavohumad@hotmail.com
[2,3]Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais/ EPAMIG - 37.200-000 - Lavras - MG - erika.silveira@yahoo.com.br, paulo.rebelles@epamig.ufla.br

A utilização desses produtos no controle de ácaros da família Tetranychidae tem causado, além do desenvolvimento de resistência, a eliminação dos inimigos naturais presentes na cultura (SATO et al., 2005, 2007). O controle químico, quando necessário, deve ser realizado com acaricidas que sejam seletivos, em especial aos ácaros predadores pertencentes à família Phytoseiidae, mais comumente encontrados no cafeeiro e relatados associados aos ácaros-praga (MINEIRO et al., 2006, 2009; SILVA et al., 2010; SPONGOSKI; REIS; ZACARIAS, 2005).

Algumas espécies de ácaros do gênero *Euseius* (Phytoseiidae) têm sido relatadas como predadoras eficientes no controle biológico de várias espécies de ácaros fitófagos, em diversos cultivos. Uma das espécies desse gênero é a *Euseius concordis* (Chant, 1959), já estudada no controle de ácaros na cultura dos citros (*Citrus* spp.) (KOMATSU; NAKANO, 1988; MORAES; LIMA, 1983). No Brasil, além dos relatos e dos estudos em pomares de citros, essa espécie tem sido encontrada em cafeeiro, variando em número de uma região para outra. O ácaro *E. concordis* tem sido consideravelmente abundante nos cafezais de Minas Gerais e de São Paulo (FRANCO et al., 2008; MINEIRO et al., 2006, 2009; SILVA et al., 2010; SPONGOSKI; REIS; ZACARIAS, 2005).

A preservação dos inimigos naturais presentes em um cultivo é importante para programar o manejo ecológico de pragas. Diversos programas de controle biológico têm tido experiências de sucesso em todo o mundo (FERRERO et al., 2011; OLIVEIRA et al., 2007, 2009).

Haja vista a importância do predador *E. concordis* como alternativa eficiente no controle de pragas em diversas culturas, em particular do cafeeiro (*Coffea* spp.), diversos modelos foram propostos na literatura (CARRILLO; PENÃ, 2012). Entre eles, os modelos lineares generalizados, propostos por Nelder e Wedderburn (1972), apresentam uma grande contribuição, no que tange â diversidade de modelos que podem ser construídos frente à distribuição da variável resposta. No caso, os modelos de regressão binomial se destacam nas situações em que a variável resposta assume apenas dois valores ou uma proporção. Dos possíveis modelos que podem ser propostos, existe a preocupação de selecionar aquele que forneça informações mais precisas acerca do problema exposto (EMILIANO; VIVANCO; MENEZES, 2014).

Realizou-se, este trabalho, afim de selecionar um modelo de regressão binomial adequado para indicar a relação predador/presa na predação de *E. concordis* sobre *O. ilicis* em cafeeiro, viabilizando o controle biológico da praga e o fornecimento de informações mais precisas para a tomada de decisões.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Condições Experimentais

Os estudos foram realizados no Centro de Pesquisa em Manejo Ecológico de Pragas e Doenças de Plantas - EcoCentro, da Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais - EPAMIG Sul de Minas, campus UFLA, em Lavras, MG, à temperatura de 25±2ºC, 70±10% de umidade relativa e 14 horas de fotofase.

Para a condução dos experimentos, foram realizadas criações do ácaro-praga *O. ilicis* e do predador *E. concordis* e mantidas no laboratório de Acarologia da EPAMIG Sul de Minas/ EcoCentro. O ácaro-praga foi coletado em cafezais localizados no campus da UFLA. As folhas utilizadas como arena para criação do *O. ilicis* foram da cultivar Mundo Novo (*Coffea arabica* L.), livre de agrotóxicos. Os ácaros predadores foram provenientes de cafezais da região de Santo Antônio do Amparo, MG.

Para as determinações do número de presas consumidas pelo predador - resposta funcional - uma fêmea adulta do ácaro predador foi confinada, por oito dias em arena confeccionada com disco de folhas de cafeeiro de 3 cm de diâmetro, flutuando em água destilada, em placa de Petri de 15 cm de diâmetro por 2 cm de profundidade, sem tampa. Em cada placa foram colocadas oito arenas equidistantes umas das outras, segundo metodologia de Reis et al. (2003). Foram utilizadas somente as fases imaturas do *O. ilicis* como presa (exceto ovos), por serem as mais consumidas pelos fitoseídeos (REIS et al., 2003) e as mesmas foram colocadas nas quantidades de: 1, 2, 5, 10, 20, 30, 35, 45, 55, 70, 100, 125 ácaros por arena. Foram realizadas sete repetições para 1, 2, 5, 10, 20, 30, 35 ácaros/arena, quatro repetições para 45, três repetições para 55, 70, 100, 125, e avaliado o número de presas consumidas durante oito dias (REIS et al., 2007). O número de presas fornecido foi constante durante os oito dias e, para isso, foi feita a reposição diária das presas que foram predadas ou que morreram naturalmente ou na água, em número igual ao inicial. Diariamente, foram retirados os restos das presas e dos ovos predados.

Uma vez obtida a resposta funcional do predador que, por sua vez, pode assumir três diferentes formas (tipo I, tipo II e tipo III), conforme explicam Sarnelle e Wilson (2008), foram calculadas as proporções de presas consumidas, dada pela razão entre o número de presas atacadas ou consumidas (resposta funcional) e a densidade de presas fornecidas.

2.2 Modelos de regressão binomial e critérios de seleção

Foram considerados os modelos lineares generalizados propostos inicialmente por Nelder e Wedderburn (1972). Tais modelos são caracterizados pela distribuição da variável resposta pertencente à família exponencial, que é o componente aleatório do modelo; por um conjunto de variáveis independentes denominado de componente sistemático; pela função de ligação, que faz a ligação entre o componente aleatório e o componente sistemático.

Uma vez que a natureza dos dados do presente estudo é de proporção, foi considerado o modelo de regressão binomial em diferentes funções de ligação, com componente sistemático dado por $\eta_i = \beta_0 + \beta_1 \left(1/\sqrt{x_i}\right)$, em que x_i representa a covariável número de presas oferecidas e β_0 e β_1 os parâmetros do modelo.

As funções de ligação utilizadas para o modelo de regressão binomial foram a logit, normal inversa e valor extremo (CORDEIRO; BARROSO; BOTTER, 2006). Com a incorporação dessas funções, respectivamente, os modelos são dados por:

$$\text{logit}(p) \Rightarrow \log\left(\frac{p}{1-p}\right) = \beta_0 + \beta_1 \frac{1}{\sqrt{x}} \quad (1)$$

$$\text{probit}(p) \Rightarrow \Phi^{-1}(p) = \beta_0 + \beta_1 \frac{1}{\sqrt{x}} \quad (2)$$

$$\text{gompit}(p) \Rightarrow 1 - \exp\{-\exp\{p\}\} = \beta_0 + \beta_1 \frac{1}{\sqrt{x}} \quad (3)$$

em que o modelos (1), (2) e (3) também são chamados de modelos Logit, Probit e Gompit, respectivamente.

As expressões (1), (2) e (3) podem ser invertidas com o objetivo de isolar *p*, que é a proporção de presas mortas pelo ácaro predador, resultando nos seguintes preditores:

$$p = \frac{\exp\left(\beta_0 + \beta_1 \frac{1}{\sqrt{x}}\right)}{1 + \exp\left(\beta_0 + \beta_1 \frac{1}{\sqrt{x}}\right)} \quad (4)$$

$$p = \Phi\left(\beta_0 + \beta_1 \frac{1}{\sqrt{x}}\right) \quad (5)$$

$$p = \log\left[-\log\left(1 - \beta_0 + \beta_1 \frac{1}{\sqrt{x}}\right)\right] \quad (6)$$

Os parâmetros dos modelos foram estimados pelo método da máxima verossimilhança (LEE; NELDER; PAWITAN, 2006). Uma vez obtidas as estimativas de máxima verossimilhança do modelo de regressão binomial, a validação do modelo foi feita, tendo por referência a *Deviance,* $D(\mathbf{y};\hat{\boldsymbol{\mu}})$ e a técnica de envelope simulado para os resíduos.

Convém ressaltar que, em certas condições de regularidade, se o modelo corrente descreve bem os dados então, assintoticamente e aproximadamente, a *Deviance* tem distribuição qui-quadrado com $n-p$ graus de liberdade, sendo n o número de observações e p a quantidade de parâmetros considerados no modelo. A distribuição da *Deviance* é exata para modelos de regressão normal com função de ligação, identidade e variância conhecida (LEE; NELDER; PAWITAN, 2006). Diante desse fato, para uma melhor confirmação do ajuste do modelo, em relação ao efeito de sub ou superdispersão, estimou-se o parâmetro de dispersão, dado que, $Yi \sim Binomial\ (n_i, p_i)$, em particular, $n_i = n$ (COLLET, 2003), utilizando a estatística qui-quadrado para cada modelo ajustado, conforme expressão (7).

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^{n} \frac{(y_i - n\hat{p}_i)^2}{n\hat{p}_i(1-\hat{p}_i)} \quad (7)$$

Assim, a $Var(Yi) = np_i(1-p_i)\sigma^2$, sendo $\sigma^2 = [1+(n-1)\delta]$ e δ a correlação entre as observações, considerado como um fator de heterogeneidade. Dessa forma, segundo recomendações de Willians (1982) resulta nas estimativas (8)

$$\hat{\sigma}^2 = \frac{\chi^2}{n-p} \;\; ; \;\; \hat{\phi} = \frac{\hat{\sigma}^2 - 1}{n-1} \qquad (8)$$

Obtida a estimativa do parâmetro de dispersão, caso seja diagnosticado um efeito de sub ou superdispersão, o mesmo foi incorporado em uma correção nos erros padrões (*Ep*) das estimativas dos parâmetros, de modo que as inferências nos testes de significâncias sejam reformuladas. Tal correção foi realizada em (9)

$$Ep_{corrigido} = \hat{\phi} \times Ep \qquad (9)$$

Os critérios de informação de Akaike (AIC) e bayesiano (BIC), também foram utilizados na seleção do modelo. Segundo Emiliano, Vivanco e Menezes (2014), o modelo que apresentasse menor valor para esses critérios foi selecionado. Todos os resultados discutidos na próxima seção foram obtidos com o auxílio do software estatístico R (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2013).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Pelos resultados obtidos, verifica-se que a predação (resposta funcional) de *E. concordis* aumentou em função do aumento da densidade de presa, com cerca de 100 a 80% de predação até a densidade 10 ácaros/arena de 3 cm de diâmetro. A resposta funcional seguiu o modelo não linear com uma assíntota, representada pela equação de Holling (ROCHA; REDAELLI, 2004). Desse modo, infere-se uma resposta funcional do tipo II, em que o número de presas consumidas por uma fêmea do predador apresenta um rápido acréscimo na taxa de predação em baixas densidades de presa e diminui ao ponto de estabilizar-se em altas densidades de presa. Resposta que, conforme Hassel (1978) é típica de artrópodes predadores e parasitoides.

Muitos trabalhos já realizados com fitoseídeos também apresentam uma resposta funcional do tipo II. Chant (1961) observou resposta do tipo I para o predador *Typhlodromus occidentalis* Nesbitt, 1951 (Phytoseiidae), quando alimentado de *Tetranychus urticae* Koch, 1836 (Tetranychidae). Reis et al. (2003) estudaram o efeito da densidade de presa nas respostas funcional e numérica das espécies *Iphiseiodes zuluagai* Denmark & Muma, 1972 e *Euseius alatus* De Leon, 1966 (Phytoseiidae) e relataram que o ácaro predador *I. zuluagai* apresentou resposta funcional do tipo I e *E. alatus*, resposta do tipo II.

Fantinou et al. (2012) mostraram, em seus estudos sobre a taxa de consumo, que a resposta funcional do predador *Iphiseius degenerans* (Berlese, 1889) (Phytoseiidae), quando alimentado em densidades crescentes com *T. urticae* e *Eutetranychus orientalis* (Klein, 1936) (Tetranychidae), apresentou resposta funcional do tipo II, que é considerada comum para a maioria dos predadores fitoseídeos (SABELIS, 1986).

As estimativas de máxima verossimilhança dos parâmetros dos modelos de regressão binomial são apresentadas na Tabela 1. Os resultados mostram que o parâmetro associado à densidade de presas oferecidas para o predador *E. concordis* é significativo, em todos os modelos ajustados (Tabela 1).

Mantendo o foco na estimativa do parâmetro de dispersão, nota-se que sua estimativa é bem inferior a 1. Tal fato, sugere uma evidência de subdispersão, ou seja, Var(Yi) é menor em relação à variância esperada pelo modelo. Assim, torna-se necessária a realização da correção dos erros padrões das estimativas, conforme procedimento mencionado em (7) - (9). Com a aplicação dessa correção, conforme já esperado, nota-se que, de fato, os erros padrões apresentam uma redução em suas estimativas, porém a significância dos parâmetros não foram afetadas.

Tendo por base esse fato, ainda torna-se questionável a seleção do modelo, portanto justifica-se a continuidade na análise dos envelopes e modo a continuar a análise por meio da técnica de envelope simulado, critérios de informação e comparação do valores preditos e observados, respectivamente descritas a seguir. Dessa forma, há evidências estatísticas para que, de fato,um modelo binomial possa ser recomendável para explicar a relação predador/presa na predação de *E. concordis*.

A Figura 1 apresenta o gráfico de envelope simulado para cada modelo de regressão binomial ajustado e observa-se que a pressuposição de resposta binomial para a proporção de predação do ácaro *E. concordis* no controle do *O. ilicis* é adequada e os modelos Logit, Probit e Gompit apresentaram ajuste satisfatório, uma vez que os resíduos não cruzam o envelope gerado.

A *Deviance* do modelo Logit foi de $D(\mathbf{y};\hat{\boldsymbol{\mu}})$= 2,619 (10 graus de liberdade) que equivale ao *valor-p =0,989*, o que indica que o ajuste do modelo é adequado.

Da mesma forma, a *Deviance* do modelo Probit foi de $D(\mathbf{y};\hat{\boldsymbol{\mu}})$= 2,726 (10 graus de liberdade) que equivale ao *valor-p =0,953*, o que indica que o ajuste do modelo é adequado.

TABELA 1- Estimativas dos parâmetros dos modelos de regressão binomial ajustados aos dados de proporção de predação do *Euseius concordis* no controle do *Oligonychus ilicis*.

Modelo	Parâmetro	Estimativa	Ep	$Ep_{corrigido}$	*Valor p*	Valor p corrigido
Logit	β_0	-1,558	0,269	0,070	<0,0001	<0,0001
	β_1	8,294	1,928	0,502	<0,0001	<0,0001
	ϕ *	0,260	-	-	-	-
Probit	β_0	-0,950	0,159	0,044	<0,0001	<0,0001
	β_1	5,008	1,137	0,529	<0,0001	<0,0001
	ϕ *	0,274	-	-	-	-
Gompit	β_0	-1,444	0,180	0,064	<0,0001	<0,0001
	β_1	5,412	1,174	0,415	<0,0001	<0,0001
	ϕ *	0,354	-	-	-	-

* Estimativa de ϕ utilizando a estatística qui-quadrado (7) e (8).

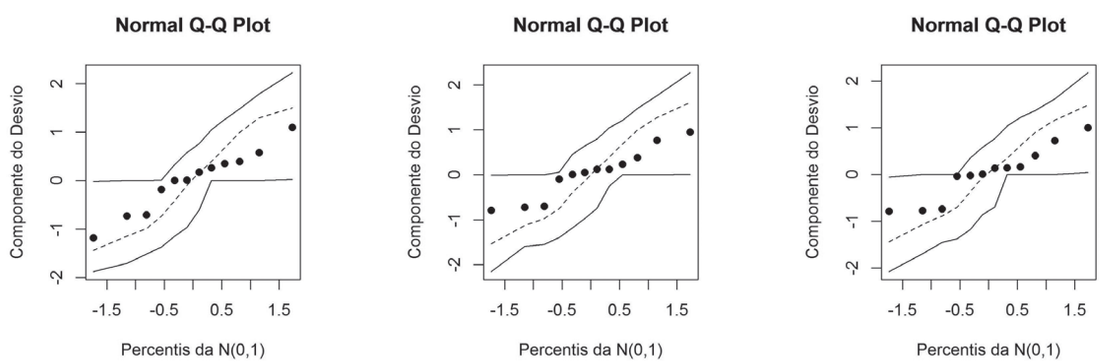

FIGURA 1- Gráficos normais de probabilidades referentes aos modelos Logit (esquerda), Probit (meio) e Gompit (direita) ajustados aos dados de proporção de ácaros.

A *Deviance* do modelo Gompit foi de $D(\mathbf{y};\hat{\boldsymbol{\mu}})$= 3,245 (10 graus de liberdade) que equivale ao *valor-p =0,975*, o que indica que o ajuste do modelo é adequado (Tabela 2). O modelo Logit apresentou os menores AIC, BIC e *Deviance* dentre os modelos ajustados, logo é o modelo mais adequado para explicar a taxa de predação do ácaro *E. concordis,* no controle do *O. ilicis.*

As Figuras 2, 3 e 4 apresentam os gráficos dos modelos Logit, Probit e Gompit, respectivamente. Os três modelos apresentaram comportamento muito semelhantes, justificado pelos valores próximos dos critérios de adequabilidades, apresentados na Tabela 2, embora o modelo Logit seja considerado como sendo o modelo mais adequado. Observa-se que as bandas de confiança de 95% para as proporções preditas apresentaram boa cobertura em relação aos valores amostrados, o que indica a plausibilidade do modelo binomial com a componente sistemática descrita na seção 2.2.

Os valores preditos da proporção de predação, nas diferentes densidades de presas oferecidas com seus respectivos intervalos de confiança de 95%, estão apresentados na Tabela 3. Assim como nas Figuras 2, 3 e 4, os resultados são semelhantes para os três modelos de regressão binomial ajustados. Uma interpretação prática dos valores da Tabela 3 pode ser colocada da seguinte forma: para a densidade 70 de presas/arena oferecidas do ácaro *O. ilicis*, a proporção pontual, ou taxa, esperada de predação do ácaro *E. concordis* é de 36%, cuja proporção intervalar, com 95% de confiança, é de [32%; 41%].

Observa-se, também na Tabela 3, que as amplitudes dos intervalos de confiança, para os valores preditos da proporção de predação, são semelhantes nos três modelos utilizados e todos apresentam amplitude média de 0,12.

TABELA 2 - Resultados do critério de informação de Akaike (AIC) e bayesiano (BIC), *Deviance* e teste *Deviance* (*valor p*) para os modelos de regressão binomial, em diferentes funções de ligação.

Modelo	AIC	BIC	*Deviance*	Teste *Deviance*
Logit	44,729	45,699	2,619	0,9890
Probit	44,780	45,750	2,756	0,9872
Gompit	45,184	46,154	3,245	0,9751

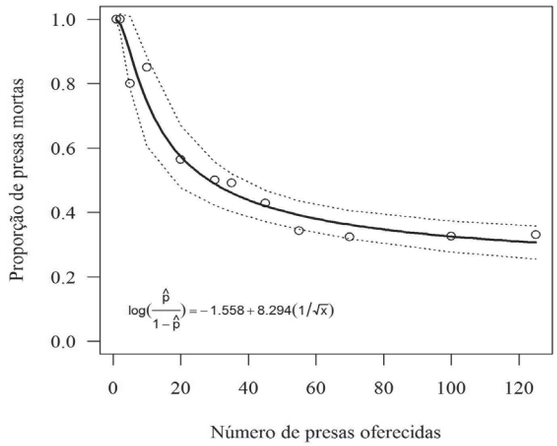

FIGURA 2 - Gráfico dos valores ajustados no modelo Logit.

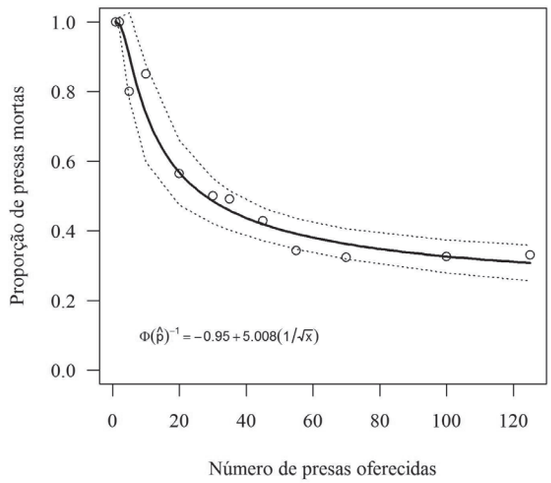

FIGURA 3 - Gráfico dos valores ajustados no modelo Probit.

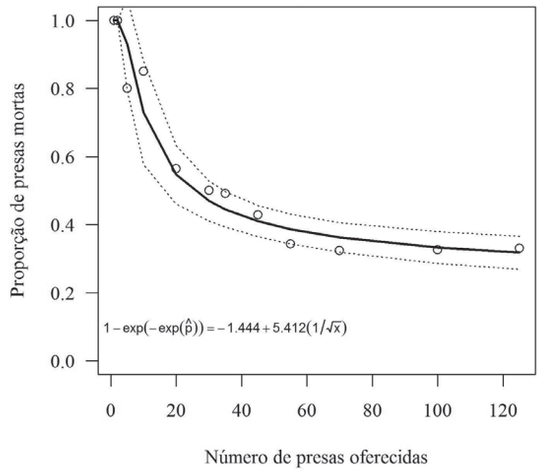

FIGURA 4 - Gráfico dos valores ajustados no modelo Gompit.

TABELA 3 - Estimativas das proporções ($\hat{p}$) de predação pelos modelos Logit, Probit e Gompit e seus respectivos intervalos de confiança de 95%.

Densidade (Nº de ácaros/arena de 3cm de diâmetro)	Logit		Probit		Gompit	
	$\hat{p}$	IC (95%)	$\hat{p}$	IC (95%)	$\hat{p}$	IC (95%)
1	1,00	[0,99; 1,00]	1,00	[1,00; 1,00]	1,00	[1,00; 1,00]
2	0,99	[0,96; 1,02]	1,00	[0,98; 1,01]	1,00	[1,00; 1,00]
5	0,90	[0,78; 1,01]	0,90	[0,78; 1,03]	0,93	[0,80; 1,06]
10	0,74	[0,61; 0,88]	0,74	[0,60;0,88]	0,73	[0,58; 0,88]
20	0,57	[0,48; 0,67]	0,57	[0,47; 0,66]	0,55	[0,46; 0,63]
30	0,49	[0,42; 0,56]	0,49	[0,42; 0,55]	0,47	[0,41; 0,53]
35	0,46	[0,40; 0,52]	0,46	[0,40;0,52]	0,45	[0,39; 0,50]
45	0,42	[0,37; 0,47]	0,42	[0,37;0,47]	0,41	[0,37; 0,46]
55	0,39	[0,35; 0,44]	0,39	[0,35;0,44]	0,39	[0,34; 0,43]
70	0,36	[0,32; 0,41]	0,36	[0,32; 0,41]	0,36	[0,32; 0,41]
100	0,33	[0,28; 0,37]	0,33	[0,28;0,37]	0,33	[0,29; 0,38]
125	0,31	[0,26; 0,36]	0,31	[0,26; 0,36]	0,32	[0,27; 0,37]

4 CONCLUSÕES

A pressuposição de resposta binomial para a proporção de predação do ácaro *E. concordis,* no controle do *O. ilicis,* é satisfatória e, dentre os modelos propostos, o modelo Logit apresentou melhor ajuste ao problema exposto e é condizente com a situação real.

O desempenho de *E. concordis* em densidades superiores a 30 ácaros/3 cm de diâmetro de arena (4,3 ácaros/cm^2) é menor do que 50%. Em densidades superiores a 45 (6,4 ácaros/cm^2), a taxa de predação do ácaro *E. concordis* apresenta ligeiro decréscimo e tendência de constância.

5 AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq e Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, pelas bolsas concedidas e ao Consórcio Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento do Café - CBP&D/CAFÉ, pelo suporte financeiro.

6 REFERÊNCIAS

CARRILLO, D.; PENÃ, J. E. Prey-stage preferences and functional and numerical responses of *Amblyseius largoensis* (Acari: Phytoseiidae) to *Raoiella indica* ***(Acari: Tenuipalpidae)***. **Experimental and Applied Acarology,** Amsterdam, v. 57, p. 361-372, 2012.

CHANT, D. A. The effect of prey density on prey consumption and oviposition in adults of Typhlodromus (T.) occidentalis Nesbitt (Acarina: Phytoseiidae) in the laboratory. **Canadian Journal of Zoology**, Ottawa, v. 39, p. 311-315, 1961.

COLLET, D. **Modelling binary data**. 2nd ed. London: Chapman & Hall, 2003.

CORDEIRO, G. M.; BARROSO, L. P.; BOTTER, D. A. Covariance matrix formula for generalized linear models with unknown dispersion. **Communications in Statistics - Theory and Methods**, Philadelphia, v. 35, p. 113-120, 2006.

EMILIANO, P. C.; VIVANCO, M. J. F.; MENEZES, F. S. Information criteria: how do they behave in different models? **Computational Statistics & Data Analysis**, Cambridge, v. 69, p. 141-153, 2014.

FANTINOU, A. A. et al. Consumption rate, functional response and preference of the predaceous mite *Iphiseius degenerans* to *Tetranychus urticae* and *Eutetranychus orientalis*. **Experimental and Applied Acarology**, Amsterdam, v. 58, p. 133-144, 2012.

FERRERO, M. et al. Biological control of Tetranychus evansi Baker & Pritchard and Tetranychus urticae Koch by Phytoseiulus *longipes* Evans in tomato greenhouses in Spain [Acari: Tetranychidae, Phytoseiidae]. **Biological Control**, Orlando, v. 58, p. 30-35, 2011.

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

FRANCO, R. A. et al. Influência da infestação de O*ligonychus ilicis* (McGregor, 1917) (Acari: Tetranychidae) sobre a taxa de fotossíntese potencial de folhas de cafeeiro. **Arquivos do Instituto Biológico**, São Paulo, v. 76, n. 2, p. 205-210, 2009.

HASSEL, M. P. **The dynamics of arthropod predator-prey systems**. Princeton: Princeton University, 1978. 237 p.

KOMATSU, S. S.; NAKANO, O. Estudo visando o manejo do ácaro da leprose em citros através do ácaro predador *Euseius concordis* (Acari: Phytoseiidae). **Laranja**, Cordeirópolis, v. 9, p. 125-146, 1988.

LEE, Y.; NELDER, J. A.; PAWITAN, Y. **Generalized linear models with random effects:** unified analysis via H-likelihood. London: Chapman & Hall, 2006. 396 p.

MINEIRO, J. L. C. et al. Ácaros associados ao cafeeiro (*Coffea* spp.) no Estado de São Paulo, Brasil: parte I, Mesostigmata. **Biota Neotropica**, Campinas, v. 9, n. 1, p. 37-46, 2009.

MINEIRO, J. L.C. et al. Diversidade de ácaros (Arachnida: Acari) em *Coffea arabica* L. cv. Mundo Novo, nos municípios de Jeriquara e Garça, Estado de São Paulo. **Biota Neotropica**, Campinas, v. 6, n. 2, p. 1-15, 2006.

MORAES, G. J.; LIMA, H. C. Biology of *Euseius concordis* (Chant) (Acarina: Phytoseiidae) a predator of tomato russet mite. **Acarologia**, Paris, v. 24, n. 3, p. 251-255, 1983.

NELDER, J. A.; WEDDERBURN, R. W. M. Generalized linear models. **Journal of the Royal Statistical Society, Series A**, Belfast, v. 135, n. 3, p. 370-384, 1972.

OLIVEIRA, H. et al. Evaluation of the predatory mite *Phytoseiulus macropilis* (Acari: Phytoseiidae) as a biological control agent of the two-spotted spider mite on strawberry plants under greenhouse conditions. **Experimental and Applied Acarology**, Amsterdam, v. 47, p. 275-283, 2009.

OLIVEIRA, H. et al. A phytoseiid predator from the tropics as potential biological control agent for the spider mite *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae). **Biological Control**, Orlando, v. 42, p. 105-109, 2007.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. **R:** a language and environment for statistical computing. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2013. Disponível em: <http://www.r-project.org>. Acesso em: 20 dez. 2013.

REIS, P. R. et al. Effect of prey density on the functional and numerical response of two species of predaceous mites (Acari: Phytoseiidae). **Neotropical Entomology**, Londrina, v. 32, p. 461-467, 2003.

REIS, P. R. et al. Life history of *Amblyseius herbicolus* (Chant) (Acari: Phytoseiidae) on coffee plants. **Neotropical Entomology**, Londrina, v. 36, n. 2, p. 282-287, 2007.

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

ROCHA, L.; REDAELLI, L. R. Functional response of *Cosmoclopius nigroannulatus* (Hem.: Reduviidae) to different densities of *Spartocera dentiventris* (Hem.: Coreidae) nymphae. **Brazilian Journal of Biology**, Rio de Janeiro, v. 64, n. 2, p. 309-316, 2004.

SABELIS, M. W. The functional response of predatory mites to the density of two-spotted spider mites. In: METZ, J. A. J.; DIEKMANN, O. (Ed.). **Dynamics of physiologically structured populations**. Berlin: Springer, 1986. p. 298-328.

SARNELLE, O.; WILSON, A. E. Type III functional response in *Daphnia*. **Ecology**, Durham, v. 89, n. 6, p. 1723-1732, 2008.

SATO, M. E. et al. Abamectin resistance in *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae): selection, cross-resistance and stability of resistance. **Neotropical Entomology**, Londrina, v. 34, n. 6, p. 1-8, 2005.

SATO, M. E. et al. Seleções para resistência e suscetibilidade, detecção e monitoramento da resistência de *Tetranychus urticae* ao acaricida clorfenapir. **Bragantia**, Campinas, v. 66, n. 1, p. 89-95, 2007.

SILVA, E. A. et al. Fitoseídeos (Acari: Phytoseiidae) associados a cafezais e fragmentos florestais vizinhos. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 34, n. 5, p. 1146-1153, set./out. 2010.

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

WILLIAMS, D. Extra binomial variation in logistic linear models. **Applied Statistics**, Malden, v. 31, p. 144-148, 1982.

AMOSTRAGEM DE PLANTAS EM CAFEEIRO PARA AVALIAÇÃO DO ESTADO NUTRICIONAL

Antonio Carlos de Oliveira Cintra[1], Danilo Eduardo Rozane[2], William Natale[3], Silvia Helena Modenese Gorla da Silva[4], José Carlos Barbosa[5], Marcelo Domingos Chamma Lopes[6]

(Recebido: 10 de abril de 2014; aceito: 03 de julho de 2014)

RESUMO: A análise foliar auxilia os programas de adubação com o intuito de obter maiores produtividades, no entanto, é imprescindível conhecer o número adequado da amostra. Objetivou-se, no trabalho, determinar em lavouras comerciais de café, submetidas a dois regimes hídricos, o número de plantas a serem amostradas e estimar o erro amostral para a diagnose do estado nutricional dessa cultura. O trabalho foi composto por dois estudos, onde foram realizadas amostragens de folhas, em lavoura de sequeiro e irrigado. Para ambos os estudos foi utilizado o delineamento experimental inteiramente casualizado, com quatro tratamentos e cinco repetições, que constaram da coleta de folhas em 5, 10, 20 e 40 plantas de cafeeiro por unidade amostral. Assim, para manter o erro amostral menor que 10% para os teores de macronutrientes, a amostragem de folhas de cinco amostras, compostas em 10 e 20 plantas por unidade amostral nos sistemas irrigado e sequeiro, respectivamente, é suficiente. Já para o teor de micronutrientes é necessária coleta de 20 plantas nos sistemas, exceto o Cu e Mn que necessitam de amostragem superior a cinco amostras, compostas de 40 plantas, no sistema de sequeiro.

Termos para indexação: *Coffea arabica*, diagnose foliar, amostra foliar, nutrição de plantas.

SAMPLING OF PLANT IN COFFEE FOR EVALUATION OF NUTRITIONAL STATUS

ABSTRACT: *The foliar fertilization assists programs in order to obtain higher yields, however, it is essential to know the ideal number of plants to be sampled. The study aimed to determine in commercial coffee plantations, subjected to two water regimes, the number of plants to be sampled and estimate the sample error for the diagnosis of nutritional status of that culture. The work consisted of two studies where samples of leaves were collected in rainfed and irrigated farming. For both studies the completely randomized design, with four treatments and five repetitions that consisted of leaf collection in 5, 10, 20 and 40 coffee plants per sampling unit was used. So to keep the sampling error below 10 % for the macronutrient, leaf sampling five composite samples at 10 and 20 plants per sampling unit under irrigated and rainfed conditions, respectively, is sufficient. As for the content of micronutrients collecting 20 plants in systems except Cu and Mn requiring higher sampling five composite samples of 40 plants in rainfed systems are needed.*

Index Terms: *Coffea arabica, leaf analysis, sample leaf, plant nutrition.*

1 INTRODUÇÃO

A agricultura competitiva recomenda, entre outras técnicas, o monitoramento das plantas por meio de análises foliares como instrumento de avaliação do estado nutricional da cultura (PARENT et al., 2013b).

Para Parent et al. (2013a, 2013b), a diagnose foliar mostra-se eficiente na avaliação do estado nutricional, com sensibilidade às variações de fornecimento de nutrientes, tendo como vantagem a relação direta com a produtividade, em plantas perenes. Um aspecto importante da análise foliar para as culturas perenes, é a possibilidade do monitoramento do estado nutricional da planta, fornecendo os teores foliares dos nutrientes em época hábil para realizar ajustes na adubação, caso algum nutriente esteja com teores considerados inadequados (SOUZA et al., 2013).

Damatto Júnior et al. (2011) enfatizam que a diagnose foliar é atualmente recomendada para aprimorar ajustes em programas de adubação, contribuindo para o fornecimento equilibrado dos nutrientes, a fim de obter produções economicamente viáveis (MELO et al., 2010).

Na cafeicultura, entretanto, persistem divergências na literatura entre autores, com relação ao número de folhas adequadas a serem coletadas por unidade amostral, para fins de diagnose do estado nutricional. Guimarães et al. (1999) indicam a coleta de 50 folhas por gleba, que devem ser amostradas em 25 plantas (1 par de cada lado do renque), o 3º ou 4º par de folhas a partir do ápice de ramos produtivos, em altura mediana na planta, no estádio de chumbinho; Raij (2011) indica a amostragem de 200 folhas (quatro folhas com pecíolo por planta), nos quatro pontos cardeais, sendo o 3º par a partir do ápice dos ramos, na altura média da planta.

[1,3,5]Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho"/Unesp - Câmpus de Jaboticabal - Departamento de Solos e Adubos - Via de Acesso Paulo Donato Castelane, s/n - Km 5 - 14884-900 - Jaboticabal - SP - acocintra@bol.com.br, natale@fcav.unesp.br, jcbarbosa@fcav.unesp.br
[2,4,6]Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho"/ Unesp - Câmpus de Registro - Rua Nelson Brihi Badur, nº 430 Vila Tupy - 11900-000 - Registro - SP - danilorozane@registro.unesp.br, silvia@registro.unesp.br, lopesmdc@registro.unesp.br

Tais divergências, aliadas à falta de informações sobre a variação do erro na estimativa da média amostral para a cultura do cafeeiro, é motivo de preocupação. Para o diagnóstico foliar em culturas como o eucalipto (LAMB, 1976), mangueira (ROZANE et al., 2007), goiabeira (ROZANE et al., 2009) e caramboleira (HERNANDES et al., 2011), propõem um erro na estimativa da média amostral aceitável entre 5% e 10%.

Objetivou-se, neste estudo, determinar para a cultura do café, cultivado sob dois sistemas (irrigado e sequeiro), o número de plantas por gleba a serem amostradas para fins de diagnose nutricional.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado em lavouras comerciais de café (*Coffea arabica* L. cv. Mundo Novo IAC 379-19), com oito anos de plantio no sistema sequeiro e 12 anos no sistema irrigado, ambas plantadas no espaçamento convencional de 3,5 x 0,8 m, contendo 3.571 plantas por hectare. Essas lavouras representam amplamente a cafeicultura regional de Minas Gerais. A lavoura no sistema de sequeiro está instalada no município de Ibiraci e a lavoura irrigada, no município de Delfinópolis, distantes 26,5 km entre si, situadas na região Sul do estado de Minas Gerais.

O talhão avaliado em Ibiraci possui 1,4 hectares, está situado a 780 metros de altitude, possui clima do tipo Cwa, de acordo com a classificação de Köppen, chuvoso com inverno seco, com índice pluviométrico médio de 1.700 milímetros. O talhão avaliado em Delfinópolis possui 2,0 hectares, equipado com sistema de irrigação por gotejo, com 4 emissores por planta de 2,3 l/h e manejado por tensiômetro, está situado a 700 metros de altitude, e o clima segundo a classificação de Köppen é do tipo Cwa, chuvoso e quente, com chuvas de verão e precipitação média anual superior a 1.600 milímetros.

Os solos dos talhões nos sistemas de cultivo sequeiro e irrigado avaliados foram caracterizados como Latossolo Vermelho Distrófico (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA, 2006). Para avaliar a fertilidade do solo, com o auxílio de uma sonda com 18 mm de diâmetro interno, foram coletadas na camada de 0-20 cm de profundidade 20 subamostras, em zigue-zague e de maneira aleatória, sob a projeção da copa do cafeeiro, conforme recomendado por Raij, Cantarella e Quaggio (1997). Os resultados das análises químicas do solo dos talhões estão apresentados na Tabela 1.

Os talhões apresentavam-se homogêneos quanto aos tratos culturais e fitossanitários, não havendo a prática da fertilização foliar e apresentaram produtividades de 2.570 kg e 2.142 kg de café beneficiado na safra agrícola 2010/2011, para as lavouras de Ibiraci e Delfinópolis, respectivamente.

O delineamento experimental empregado foi o inteiramente casualizado, com quatro tratamentos e cinco repetições. Os tratamentos constaram da coleta do 3º par de folhas, a partir da ponta de ramos produtivos, terço médio, no estádio de "chumbinho" (67 dias após a antese da florada principal), em igual número em ambos os lados da linha do cafeeiro, seguindo a recomendação da época e da folha diagnóstica, indicada por Guimarães et al. (1999) para a cultura. As coletas foram realizadas nos sistemas de cultivo sequeiro e irrigado em dezembro de 2010. Foi realizada amostragem aleatória simples para cada um dos tratamentos (5, 10, 20 e 40 plantas) por talhão homogêneo, somando um total de 20, 40, 80 e 160 folhas, respectivamente, para cada unidade amostral.

TABELA 1 - Propriedades químicas do solo referentes à camada de 0-20cm, dos talhões de cafeeiros avaliados.

Talhão	pH	M.O.	P(resina)	K	Ca	Mg	H+Al	SB	CTC	V
	($CaCl_2$)	g/dm^3	mg/dm^3	mmol$_c$/dm^3						%
Sequeiro	5,3	32	27	2,5	33	7	34	42,5	76,5	56
Irrigado	4,9	31	54	1,7	40	11	38	52,7	90,7	58

	Al	S-SO_4^{-2}	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	mmol$_c$/dm^3	mg/dm^3					
Sequeiro	0	113	0,47	6,8	17	4,4	5,0
Irrigado	0	144	0,66	3,2	33	6,2	4,5

O material após lavado e seco em estufa de ventilação forçada de ar a 65°C, até atingir peso constante foi moido em moinho tipo Willey, e determinados os teores de macronutrientes em g kg^{-1} e micronutrientes em mg kg^{-1}, como descrito por Miyazawa et al. (2009).

Com base nos resultados dos teores dos nutrientes, para cada atributo foi calculada a média, a variância, o erro-padrão da média, o intervalo de confiança para a média e a porcentagem de erro na estimativa da média, através da semiamplitude do intervalo de confiança (a um coeficiente de 95% de confiança), expresso em porcentagem da média, dado por:

$$\%Erro = \frac{t.s(\hat{m})}{\hat{m}} \cdot 100$$

onde:

t é o valor da distribuição *t* de Student, a 5% de probabilidade;

$s(\hat{m})$ é o erro padrão da média, e

$\hat{m}$ é a estimativa da média amostral.

Os teores dos nutrientes obtidos foram submetidos à análise de variância pelo teste F e a comparação de médias pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2011).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados da Tabela 1, referentes às amostras de solo, indicam que todos os atributos analisados são considerados como médios a altos para as culturas perenes, de acordo com a classificação proposta por Raij, Cantarella e Quaggio (1997).

Guimarães et al. (1999) indicam para a cultura do cafeeiro, no Sul de Minas, as seguintes faixas de teores foliar consideradas adequadas: N = 28-32; P = 1,2-1,6; K = 21-30; Ca = 8-12; Mg = 2,9-5,1; S = 1,4-2,2 g kg^{-1} e, ainda, B = 41-65; Cu = 14-26; Fe = 81-124; Mn = 89-182 e Zn = 6-24 mg kg^{-1}. Os teores foliares de N, Ca, Mg, B, Mn e Zn nos sistemas de cultivo avaliados estão dentro ou próximos aos limites inferiores e superiores da faixa proposta por Guimarães et al. (1999).

Observa-se nas Tabelas 2 e 3 que os teores foliares médios de P, Ca, S, B e Cu foram superiores nas plantas do sistema irrigado, porém, o B nos dois sistemas e o Ca no sistema de sequeiro estão dentro da faixa considerada adequada por Guimarães et al. (1999). O fato dos teores foliares médios no sistema irrigado serem superiores à faixa considerada adequada pode ser explicado pela maior concentração desses nutrientes no solo (Tabela 1).

Concentrações de S e Cu consideradas altas no solo, segundo Raij, Cantarella e Quaggio (1997) para culturas perenes, também explicariam os teores foliares acima do adequado para esses dois nutrientes.

Já os teores de N e Mg, nos dois sistemas, o Fe e o Zn, no sistema irrigado, encontram-se dentro da faixa considerada adequada por Guimarães et al. (1999), porém os teores de N e Mg não mostraram variações entre os dois sistemas. Dantas Neto et al. (2013) também observaram efeitos isolados de lâminas de água no teor foliar de N, em dois ciclos produtivos em goiabeiras. O que é condizente com o processo de absorção, por fluxo de massa do nitrogênio, assim, infere-se que o aumento da disponibilidade de água no solo pode ter promovido o aumento da disponibilidade do nitrogênio na faixa de solo explorada pelo sistema radicular do cafeeiro, otimizando a absorção e translocação até as folhas.

Assim um incremento na aplicação de água para uma mesma adubação pode levar à maior absorção de nutrientes pelas plantas, resultando em maiores teores de nutrientes nessas (DANTAS NETO et al., 2013).

Nas Tabelas 2 e 3, na estimativa da média amostral para cada gleba, observa-se que os maiores erros foram detectados quando se coletavam um número menor de plantas por unidade amostral, diminuindo esse erro com o aumento do número de cafeeiros amostrados. A mesma observação foi feita por Rozane et al. (2007, 2009) amostrando folhas de mangueiras e goiabeiras, respectivamente, bem como por Hernandes et al. (2011) para a cultura da carambola.

Para compor a amostra foliar, para fins de diagnose nutricional, Lamb (1976), trabalhando com a cultura do eucalipto, propõe um erro aceitável na estimativa da média amostral de 5% a 10%. Rozane et al. (2007, 2009), para a mangueira e goiabeira, respectivamente e Hernandes et al. (2011), para caramboleira, também preconizam o mesmo erro na estimativa da média amostral. Para o presente trabalho, admitindo-se um erro na estimativa da média nesse mesmo intervalo proposto, observa-se que a amostragem de cinco amostras compostas em 20 plantas de cafeeiro seria suficiente para a análise dos macro e micronutrientes (Tabela 2 e 3) para as lavouras no sistema irrigado e sequeiro, com exceção ao Cu e Mn no sistema de sequeiro, assim, seria necessária a coleta de 400 folhas, ou seja, o dobro do indicado por Raij (2011).

TABELA 2 - Estatística descritiva e porcentagem de erro na estimativa da média amostral, para nutrientes em folhas de cafeeiros cultivar Mundo Novo (IAC 379-19), no sistema de sequeiro, em função do tamanho da amostra

Parâmetros*	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
					5 Plantas						
$\hat{m}$	31,14	0,94	22,54	9,36	3,58	2,81	47,70	37,00	157,60	184,10	21,40
s²	2,26	0,00	1,75	0,69	0,15	0,02	1,04	31,69	151,80	987,42	18,02
S	1,50	0,03	1,32	0,83	0,39	0,12	1,02	5,63	12,32	31,42	4,24
s($\hat{m}$)	0,67	0,01	0,59	0,37	0,17	0,05	0,46	2,52	5,51	14,05	1,90
LI	29,27	0,90	20,89	8,33	3,10	2,65	46,43	30,01	142,30	145,08	16,13
LS	33,00	0,98	24,18	10,39	4,07	2,96	48,97	43,99	172,90	223,12	26,67
E	5,99	4,07	7,29	11,04	13,55	5,42	2,65	18,89	9,71	21,19	24,63
CV	4,83	3,28	5,87	8,89	10,91	4,37	2,14	15,21	7,82	17,07	19,84
					10 Plantas						
$\hat{m}$	31,47	0,94	22,14	9,46	3,79	2,79	44,64	36,26	156,60	183,70	21,60
s²	0,96	0,00	1,27	0,25	0,03	0,01	0,84	18,03	68,80	463,10	0,95
S	0,98	0,03	1,13	0,50	0,19	0,12	0,92	4,25	8,29	21,52	0,97
s($\hat{m}$)	0,44	0,01	0,50	0,22	0,08	0,05	0,41	1,90	3,71	9,62	0,44
LI	30,25	0,91	20,74	8,84	3,56	2,64	43,50	30,99	146,30	156,98	20,39
LS	32,69	0,98	23,54	10,08	4,02	2,94	45,78	41,53	166,90	210,42	22,81
E	3,87	3,89	6,33	6,60	6,07	5,33	2,55	14,54	6,58	14,55	5,60
CV	3,12	3,13	5,10	5,32	4,89	4,29	2,05	11,71	5,30	11,71	4,51
					20 Plantas						
$\hat{m}$	31,16	0,93	18,73	9,10	3,80	2,62	49,52	29,05	182,60	157,38	21,86
s²	0,58	0,00	0,67	0,19	0,03	0,01	0,86	10,38	45,80	189,85	0,73
S	0,76	0,01	0,82	0,44	0,17	0,09	0,93	3,22	6,77	13,78	0,86
s($\hat{m}$)	0,34	0,01	0,37	0,19	0,08	0,04	0,41	1,44	3,03	6,16	0,38
LI	30,22	0,91	17,71	8,56	3,58	2,51	48,37	25,05	174,20	140,27	20,80
LS	32,11	0,94	19,75	9,64	4,01	2,73	50,67	33,05	191,00	174,49	22,92
E	3,04	1,53	5,42	5,95	5,70	4,29	2,32	13,77	4,60	10,87	4,86
CV	2,45	1,23	4,37	4,79	4,59	3,46	1,87	11,09	3,71	8,75	3,92
					40 Plantas						
$\hat{m}$	31,14	0,90	17,42	8,92	3,56	2,45	49,26	29,22	180,40	176,92	21,90
s²	0,56	0,00	0,47	0,17	0,02	0,00	0,64	8,74	38,30	207,28	0,47
S	0,75	0,01	0,69	0,41	0,13	0,06	0,80	2,96	6,19	14,40	0,69
s($\hat{m}$)	0,34	0,00	0,31	0,18	0,06	0,03	0,36	1,32	2,77	6,44	0,31
LI	30,20	0,89	16,57	8,41	3,39	2,38	48,27	25,55	172,72	159,04	21,04
LS	32,07	0,91	18,28	9,43	3,73	2,52	50,25	32,89	188,08	194,80	22,76
E	3,00	1,15	4,91	5,69	4,70	2,89	2,01	12,56	4,26	10,10	3,91
CV	2,41	0,93	3,95	4,58	3,78	2,32	1,62	10,12	3,43	8,14	3,15

* $\hat{m}$ - estimativa da média amostral; s² - variância; s - desvio padrão; s($\hat{m}$) - erro padrão da média; LI - limite inferior do intervalo de confiança para a média; LS - limite superior do intervalo de confiança para a média; E - porcentagem de erro na estimativa da média e CV - coeficiente de variação.

TABELA 3 - Estatística descritiva e porcentagem de erro na estimativa da média amostral para nutrientes em folhas de cafeeiros cultivar Mundo Novo (IAC 379-19), no sistema irrigado, em função do tamanho da amostra.

Parâmetros*	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
					5 Plantas						
$\hat{m}$	28,50	1,76	16,77	13,24	3,86	3,20	61,24	44,70	106,20	114,02	19,52
s²	2,02	0,05	1,68	0,91	0,03	0,01	20,76	19,29	52,20	123,25	20,90
S	1,42	0,22	1,29	0,96	0,18	0,09	4,56	4,39	7,22	11,10	4,57
s($\hat{m}$)	0,64	0,10	0,58	0,43	0,08	0,04	2,04	1,96	3,23	4,96	2,04
LI	26,74	1,48	15,16	12,05	3,63	3,09	55,58	39,25	97,23	100,24	13,84
LS	30,27	2,03	18,38	14,43	4,08	3,31	66,90	50,15	115,17	127,80	25,20
E	6,20	15,56	9,58	8,96	5,86	3,38	9,24	12,20	8,45	12,09	29,08
CV	4,99	12,53	7,72	7,22	4,72	2,72	7,44	9,83	6,80	9,74	23,42
					10 Plantas						
$\hat{m}$	29,96	1,69	15,97	13,22	3,45	3,18	58,96	49,44	111,80	124,36	14,64
s²	0,66	0,02	1,45	0,22	0,02	0,00	16,39	10,75	39,70	79,16	1,56
S	0,81	0,12	1,20	0,47	0,15	0,07	4,05	3,28	6,30	8,90	1,25
s($\hat{m}$)	0,36	0,06	0,54	0,21	0,07	0,03	1,81	1,47	2,82	3,98	0,56
LI	28,95	1,54	14,47	12,64	3,26	3,10	53,93	45,37	103,98	113,31	13,09
LS	30,97	1,84	17,47	13,80	3,64	3,27	63,99	53,51	119,62	135,41	16,19
E	3,37	9,07	9,36	4,38	5,53	2,70	8,53	8,24	7,00	8,88	10,60
CV	2,71	7,31	7,54	3,52	4,46	2,17	6,87	6,63	5,64	7,15	8,54
					20 Plantas						
$\hat{m}$	29,52	1,75	15,77	13,30	3,48	3,17	64,72	49,98	113,60	130,84	14,78
s²	0,61	0,00	0,71	0,16	0,02	0,00	8,04	4,17	39,80	59,38	0,91
S	0,78	0,06	0,84	0,40	0,15	0,05	2,83	2,04	6,31	7,71	0,95
s($\hat{m}$)	0,35	0,03	0,38	0,18	0,07	0,02	1,27	0,91	2,82	3,45	0,43
LI	28,55	1,67	14,73	12,80	3,29	3,11	61,20	47,44	105,77	121,27	13,60
LS	30,49	1,82	16,82	13,80	3,67	3,23	68,24	52,52	121,43	140,41	15,96
E	3,28	4,46	6,61	3,73	5,39	1,87	5,44	5,07	6,90	7,31	8,00
CV	2,64	3,59	5,33	3,01	4,34	1,50	4,38	4,09	5,55	5,89	6,44
					40 Plantas						
$\hat{m}$	31,16	1,80	16,45	12,72	3,39	3,12	59,96	50,84	124,60	130,32	14,34
s²	0,24	0,00	0,56	0,07	0,02	0,00	4,90	3,78	32,80	58,17	0,39
S	0,49	0,05	0,75	0,26	0,13	0,04	2,21	1,94	5,73	7,63	0,62
s($\hat{m}$)	0,22	0,02	0,34	0,12	0,06	0,02	0,99	0,87	2,56	3,41	0,28
LI	30,55	1,73	15,52	12,40	3,23	3,07	57,21	48,43	117,49	120,85	13,56
LS	31,77	1,86	17,38	13,04	3,55	3,17	62,71	53,25	131,71	139,79	15,11
E	1,94	3,63	5,66	2,53	4,65	1,65	4,59	4,75	5,71	7,27	5,40
CV	1,56	2,93	4,56	2,03	3,75	1,33	3,69	3,82	4,60	5,85	4,35

* $\hat{m}$ - estimativa da média amostral; s² - variância; s - desvio padrão; s($\hat{m}$) - erro padrão da média; LI - limite inferior do intervalo de confiança para a média; LS - limite superior do intervalo de confiança para a média; E - porcentagem de erro na estimativa da média e CV - coeficiente de variação.

Porém, se o Cu e Mn forem considerados para o sistema de sequeiro, deveriam ser coletadas mais que cinco amostras compostas em 40 plantas, para manter o erro na estimativa da média amostral menor que 10%.

Em florestas de eucalipto, para analisar os macronutrientes (N, P, K e Mg), com um erro amostral aceitável entre 5 e 10%, Lamb (1976) recomenda amostrar no mínimo 11 plantas, e se considerar o Ca, seria necessário amostrar 22 plantas. Para os micronutrientes, o mesmo autor recomenda um número ainda maior, 37 plantas.

Maiores erros amostrais foram observados quando se coletaram folhas em menor número de plantas e, para os micronutrientes, a mesma observação pode ser feita para o coeficiente de variação (Tabelas 2 e 3), o que corrobora com os resultados de Hernandes et al. (2011), Lamb (1976) e Rozane et al. (2007, 2009).

Admitindo-se o erro amostral menor que 10%, a amostragem de cinco amostras compostas de 10 plantas por unidade amostral no sistema de sequeiro seria suficiente para as determinações dos macro e micronutrientes, exceto para o Cu e Mn (Tabela 2), porém a média desse tratamento não diferiu dos demais somente para os macronutrientes N, P, Ca e Mg, e o micronutriente Zn. Entretanto, para abranger todos os macro e micronutrientes, exceto o Cu e Mn, a amostragem de cinco amostras compostas em 20 plantas por unidade amostral é suficiente, pois esse tratamento não diferiu da amostragem de folhas em 40 plantas (Tabela 4).

Para o sistema irrigado, também considerando o erro amostral menor que 10%, a amostragem de cinco amostras compostas em 10 plantas por unidade amostral é suficiente para as determinações dos macro e micronutrientes, exceto o Zn (Tabela 3).

Entretanto, para o Zn, a amostragem de folhas em cinco amostras compostas de 10 plantas não diferiu dos tratamentos que amostravam 20 e 40 plantas. Para a determinação do micronutriente Fe, a amostragem de folhas em 10 plantas mantém o erro amostral abaixo de 10%, porém esse tratamento difere das amostragens de folhas em 20 e 40 plantas, mostrando ser necessário para esse micronutriente amostrar cinco amostras compostas de 20 plantas por unidade amostral (Tabela 5).

Para a determinação dos macro e micronutrientes nas lavouras de cafeeiros amostradas, a amostragem de folhas, em cinco amostras compostas em 20 plantas, nos sistemas irrigado e sequeiro proporciona um erro na estimativa da média amostral menor que 10%, não diferindo do tratamento onde se amostravam mais plantas (40 plantas). Isso pode ser explicado pela pequena variação entre os teores foliares de nutrientes nesses dois sistemas. Dados semelhantes foram obtidos por Martinez et al. (2003) quando amostraram, como recomenda Guimarães et al. (1999), várias lavouras de café com produtividades variadas, no Sul de Minas Gerais, e concluíram que os teores foliares dos nutrientes, nos anos de alta e baixa produtividade são semelhantes, corroborando com os resultados de Valarini, Bataglia e Fazuoli (2005), que, avaliando a remobilização de macronutrientes de folhas para frutos em cultivares de café arábica, de porte baixo, não encontraram relação entre os teores de nutrientes e a produtividade. Amaral et al. (2011) explicam que a variação do teor foliar está relacionado à taxa de crescimento, o que evidencia a influência do efeito concentração/diluição com a relação teor de nutrientes e produtividade.

TABELA 4 - Teores foliares de macro e micronutrientes, em função do número de plantas amostradas por talhão, em lavoura adulta de cafeeiros cultivar Mundo Novo (IAC 379-19), no sistema de sequeiro.

Número plantas	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
5	31,14	0,94a	22,54a	9,36	3,58	2,81a	47,70b	37,00a	157,61b	184,10	21,40
10	31,47	0,94a	22,14a	9,46	3,79	2,79ab	44,64c	36,26ab	156,60b	183,70	21,60
20	31,16	0,93ab	18,73b	9,10	3,80	2,62bc	49,52a	29,05b	182,60[a]	157,38	21,86
40	31,14	0,90b	17,42b	8,92	3,56	2,45c	49,26ab	29,22b	180,40[a]	176,92	21,90
Teste F	0,123[ns]	3,363*	30,534**	0,927[ns]	1,388[ns]	13,895**	29,813**	5,143*	13,090**	1,701[ns]	0,055[ns]
DMS	1,89	0,04	1,85	1,03	0,44	0,18	1,66	7,74	15,80	38,90	4,06
CV (%)	3,35	2,4	5,1	6,2	6,6	3,8	1,9	13,0	5,2	12,2	10,4

[ns]; * e ** Não significativo, significativo a 5% e a 1% respectivamente pelo Teste F. Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

TABELA 5 - Teores foliares de macro e micronutrientes, em função do número de plantas amostradas por talhão, em lavoura adulta de cafeeiros cultivar Mundo Novo (IAC 379-19), no sistema irrigado.

Número plantas	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
5	28,50b	1,76	16,77	13,24	3,86 a	3,20	61,24	44,70b	106,20b	114,02b	19,52a
10	29,96ab	1,69	15,97	13,22	3,45b	3,18	58,96	49,44ab	111,80b	124,36 ab	14,64b
20	29,52ab	1,75	15,77	13,30	3,48b	3,17	64,72	49,98ab	113,60ab	130,84a	14,78b
40	31,16a	1,80	16,45	12,72	3,39b	3,12	59,96	50,84a	124,60a	130,32a	14,34b
Teste F	6,862**	0,562[ns]	0,935[ns]	1,065[ns]	9,313**	1,474[ns]	2,521[ns]	3,993*	7,221**	3,820*	5,154*
DMS	1,70	0,24	1,90	1,05	0,28	0,12	6,41	5,58	11,61	16,19	4,41
CV(%)	3,2	7,6	6,5	4,4	4,4	2,0	5,8	6,3	5,6	7,2	15,4

[ns]; * e ** Não significativo, significativo a 5% e a 1% respectivamente pelo Teste F. Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

4 CONCLUSÕES

Para manter o erro amostral menor que 10% para os teores de macronutrientes, a amostragem de folhas de cinco amostras compostas em 10 e 20 plantas, por unidade amostral, nos sistemas irrigado e sequeiro respectivamente, é suficiente.

Para o teor de micronutrientes, considerando-se o erro amostral menor que 10%, é necessária a coleta de 20 plantas nos sistemas; exceto para o Cu e Mn, que necessitam de amostragem superior a cinco amostras compostas de 40 plantas, no sistema de sequeiro.

5 REFERÊNCIAS

AMARAL, J. F. T. do et al. Produtividade e eficiência de uso de nutrientes por cultivares de cafeeiro. **Coffee Science**, Lavras, v. 6, n. 1, p. 65-74, jan./abr. 2011. Disponível em: <http://www.coffeescience.ufla.br/index.php/Coffeescience/article/viewFile/186/pdf>. Acesso em: 10 mar. 2013.

DAMATTO JÚNIOR, E. R. et al. Alterações nos teores nutricionais foliares de bananeira 'prata-anã' adubada com composto orgânico em cinco ciclos de produção. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, p. 692-698, out. 2011. Volume especial. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-29452011000500097&script=sci_arttext>. Acesso em: 10 mar. 2013.

DANTAS NETO, J. et al. Teores de macronutrientes em folhas de goiabeira fertirrigada com nitrogênio. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 17, n. 9, p. 962-968, set. 2013. Disponível em: <http://www.agriambi.com.br/revista/v17n09/v17n09a08.pdf>. Acesso em: 10 mar. 2013.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro, 2006. 306 p.

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**. Viçosa, MG: CFSEMG, 1999. v. 1, p. 289-302.

HERNANDES, A. et al. Amostragem para diagnose do estado nutricional e avaliação da fertilidade do solo em caramboleiras. **Bragantia**, Campinas, v. 70, n. 3, p. 657-663, jul./set. 2011. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/brag/v70n3/a22v70n3.pdf>. Acesso em: 10 mar. 2013.

LAMB, D. Variations in the foliar concentrations of macro and micro elements in a fast-growing tropical eucalypt. **Plant and Soil**, The Hague, v. 45, n. 4, p. 477-492, Oct. 1976. Disponível em: <http://link.springer.com/article/10.1007%2FBF00011708>. Acesso em: 10 mar. 2013.

MARTINEZ, H. E. P. et al. Faixas críticas de concentrações de nutrientes e avaliação do estado nutricional de cafeeiros em quatro regiões de Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, n. 6, p. 703-713, jun. 2003. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/pab/v38n6/18219.pdf>. Acesso em: 10 mar. 2013.

MELO, A. S. de et al. Crescimento, produção de biomassa e eficiência fotossintética da bananeira sob fertirrigação com nitrogênio e potássio. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 41, n. 3, p. 417-426, jul./set. 2010. Disponível em: <http://www.ccarevista.ufc.br/seer/index.php/ccarevista/article/view/489/460>. Acesso em: 10 mar. 2013.

MIYAZAWA, M. et al. Análise química de tecido vegetal. In: SILVA, F. C. da (Ed.). **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília: EMBRAPA, 2009. v. 1, p. 191-233.

PARENT, S. E. et al. Plant ionome diagnosis using sound balances: case study with mango (*Mangifera Indica*). **Frontiers in Plant Science**, Lund, v. 4, p. 1-12, Nov. 2013a. Disponível em: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3824108/>. Acesso em: 10 mar. 2013.

_____. The plant ionome revisited by the nutrient balance concept. **Frontiers in Plant Science**, Lund, v. 4, p. 1-10, Mar. 2013a. Disponível em: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3605521/>. Acesso em: 10 mar. 2013.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. **R:** a language and environment for statistical computing. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2011. Disponível em: <http://www.R-project.org>. Acesso em: 10 mar. 2013.

RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e manejo de nutrientes**. Piracicaba: International Plant Nutrition Institute, 2011. 420 p.

RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. **Estimulantes**. In: RAIJ, B. van et al. (Ed.). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2. ed. Campinas: Fundação IAC, 1997. p. 93-95.

ROZANE, D. E. et al. Amostragem para diagnose do estado nutricional de mangueiras. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 29, n. 2, p. 371-376, ago. 2007. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-29452007000200035&script=sci_arttext>. Acesso em: 10 mar. 2013.

ROZANE, D. E. et al. Tamanho da amostra foliar para avaliação do estado nutricional de goiabeiras com e sem irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 13, n. 3, p. 233-239, maio/jun. 2009. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1415-43662009000300003&script=sci_arttext>. Acesso em: 10 mar. 2013.

SOUZA, H. A. et al. Normas preliminares DRIS e faixas de suficiência para goiabeira 'Paluma'. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 35, p. 282-291, mar. 2013. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-29452013000100033>. Acesso em: 10 mar. 2013.

VALARINI, V.; BATAGLIA, O. C.; FAZUOLI, L. C. Macronutrientes em folhas e frutos de cultivares de café arábica de porte baixo. **Bragantia**, Campinas, v. 64, n. 4, p. 661-672, out./dez. 2005. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/brag/v64n4/a16v64n4.pdf>. Acesso em: 10 mar. 2013.

NOTA PRÉVIA

AGRUPAMENTO DE ACESSOS DE CAFÉ IRRIGADO COM MELHORES ATRIBUTOS PARA BEBIDA

Sonia Maria Costa Celestino[1], Juaci Vitória Malaquias[2], Manaira Ferreira Franco Xavier[3]

(Recebido: 18 de novembro de 2013; aceito: 04 de junho de 2014)

RESUMO: A Embrapa Cerrados possui um Banco Ativo de Germoplasma de C*offea arabica* L. com 900 acessos cultivados com a tecnologia do Estresse Hídrico Controlado com pivô central, sendo 30 deles considerados produtivos. Objetivou-se, neste trabalho, proceder ao agrupamento desses acessos produtivos de cafeeiro e posterior identificação de grupo(s) de acessos com os melhores atributos para bebida, além de determinar a contribuição relativa das propriedades físico-químicas e químicas para a divergência genética relacionada com a qualidade da bebida. Os frutos cereja das 30 cultivares foram processados por via seca. Parte dos grãos de café das 30 cultivares foi submetida à torração clara e parte permaneceu como matéria crua. O método de Singh foi utilizado para verificar o quanto as características pH, acidez total titulável, sólidos solúveis, proteína e polifenóis contribuem para a divergência genética observada entre os 30 acessos de café avaliados. A análise de Cluster permitiu a organização das cultivares de café homogêneas em quatro grupos (Clusters), sendo tal homogeneidade referente aos valores de variação das propriedades químicas e físico-químicas antes e após a torração, responsáveis pelo corpo e doçura da bebida (sólidos solúveis), pela acidez (acidez total titulável e pH), pelo sabor (polifenóis) e pelo aroma (proteína), sendo a menor redução de sólidos solúveis, o maior aumento de acidez, o menor aumento de polifenóis e a maior redução de proteína desejáveis para a escolha de cafés de qualidade. A variável polifenóis apresentou a maior contribuição para a diversidade genética com 28,84%, seguida de pH, proteína, sólidos solúveis e acidez com contribuições expressivas de 19,23%, 19,11%, 17,79% e 15,03%, respectivamente. O grupo 4, constituído pelos acessos Icatu 2944, MG0188, MG1177 e Topázio foi o mais promissor no que concerne à qualidade da bebida, pois esses acessos se caracterizaram pelo maior acréscimo na acidez total titulável e maiores reduções do teor de proteína após a torração. Esse grupo também apresentou valores de redução de sólidos solúveis e aumento de polifenóis após a torração mais apropriados ao consumo que os apresentados pelos demais grupos.

Termos para indexação: Composição química, *Coffea arabica*, torração do café, estresse hídrico controlado.

CLUSTERING OF IRRIGATED COFFEE ACCESS WITH BEST ATTRIBUTES TO BEVERAGE

ABSTRACT: *Embrapa Cerrados has an Active Germoplasm Bank of Coffea arabica L. compound of 900 access cultivated with the Controlled Water Stress technology with central pivot, 30 of theses accesses are productive. The aim of this work was to grouping these productive coffee access and to identify group (s) of access with the best attributes to beverage, besides to determine the relative contribution of the physical-chemical and chemical properties for the genetic divergence related to the beverage quality. The cherry coffee fruits of 30 cultivars were pre-processing by natural way. Part of coffee grains of 30 cultivars were submeted to light roasting and another part remains raw material. The Singh's method was used to check how much the characteristics pH, total titratable acidity, soluble solids, protein and e polyphenols contribute for the genetic divergence observed among the 30 coffee access avaliable. The Cluster analysis promoted the organization of homogeneous coffee cultivars in four groups (Clusters). The homogeneity was based in the variation of values of the chemical and physical-chemical properties before and after the roasting, which compose the body and the sweetness of beverage (soluble solids), the acidity (total titratable acidity and pH), the flavor (polyphenols) and the aroma (protein), lowest soluble solids reduction, the greatest acidity increase, the lowest polyphenols increase and the greatest protein reduction desirable to the choice of quality coffees. The variable polyphenols had the highest contribution for the genetic divergence with 28,84%; pH, protein, soluble solids and acidity presented highlighted contributions of 19,23%, 19,11%, 17,79% and 15,03%, respectively. The group 4 constituted by access Icatu 2944, MG0188, MG1177 and Topázio was the most promising with respect to quality of beverage. These access were characterized by the greatest total titratable acidity increase and the highest protein reductions after roasting. This group also showed values of soluble solids reduction and polyphenols increasing more satisfactory to consumption than the others groups.*

Index terms: *Chemical composition, Coffea arabica, coffee roasting, controlled water stress.*

1 INTRODUÇÃO

Vários períodos de floração podem ocorrer no cafeeiro se a planta for irrigada durante todo o ano, causando grande desuniformidade na maturação dos frutos. A tecnologia de Estresse Hídrico Controlado, desenvolvida pela Embrapa Cerrados, permite a uniformização dos botões florais, e consequentemente, uma maturação

[1,2,3]Embrapa Cerrados - CPAC - BR 020 - Km 18 - Rodovia Brasília/Fortaleza - 73310-970 -Planaltina - DF - sonia.celestino@embrapa.br, juaci.malaquias@embrapa.br, manairaxavier@hotmail.com

dos frutos também uniforme (GUERRA et al., 2006), o que aumenta a produção de café cereja e a redução da produção de grãos defeituosos. O Estresse Hídrico Controlado consiste na interrupção das irrigações de 15 de junho até o final de agosto, ou quando o potencial de água na folha atingir valores de, aproximadamente, -2,0 MPa. Essa racionalização da irrigação promove a redução das operações e dos custos de colheita e quantidades de água e energia usadas normalmente na irrigação. Com todas essas vantagens de produtividade e redução dos custos de produção proporcionadas pelo Estresse Hídrico, faz-se necessária a avaliação da qualidade dos frutos de café dos cafeeiros submetidos a essa tecnologia para uma bebida com boa aceitabilidade.

Os atributos sensoriais da bebida são conferidos por compostos voláteis e não voláteis produzidos durante a torração, sendo esse processo considerado uma das etapas mais importantes para o desenvolvimento do sabor e do aroma do café (NEBESNY; BUDRYN, 2006). Quanto aos constituintes químicos presentes no café, uma maior quantidade de sólidos solúveis é desejada para assegurar o corpo da bebida. No entanto, durante a torração, os teores de sólidos solúveis diminuem, como consequência da perda de ácidos orgânicos e da volatilização de alguns compostos no processo pirolítico (MENDONÇA; PEREIRA; MENDES, 2005). O pH do café tem sido correlacionado com a acidez perceptível, por isso tem sido estudado como forma de avaliação desse importante atributo sensorial. Ao mesmo tempo, pesquisadores sugerem que a acidez total titulável é a que apresenta melhor correlação para determinar a acidez do café (VOILLEY et al., 1981). O atributo sensorial aroma do café é devido, em grande parte, à quebra das proteínas durante a torração (SCHOLZ et al., 2011). Assim, os valores de proteína dos grãos torrados são inferiores aos dos grãos crus, e uma maior redução é desejável para propiciar a formação dos compostos aromáticos. Os polifenóis encontrados no café são considerados responsáveis pela adstringência dos grãos, o que diminui a qualidade da bebida em maiores concentrações. O teor de polifenóis, normalmente, tem seu valor aumentado do café cru para o café torrado.

A Embrapa Cerrados possui um Banco de Germoplasma de *Coffea arabica* L. com 30 acessos altamente produtivos cultivados com a tecnologia do Estresse Hídrico Controlado. Além da avaliação da produtividade, a qualidade desses acessos para bebida também deve ser estudada por meio das análises de qualidade (pH, acidez titulável total, sólidos solúveis, proteína e polifenóis).

O estabelecimento de uma hierarquia de importância destas características de qualidade do café, segundo o grau de explicação da variabilidade dos dados que as mesmas possuem, é necessário para estabelecer um critério de verificação de quais delas devem ser consideradas prioritariamente diante de um possível impasse entre os valores médios e a necessidade de tomada de decisão, para a definição dos grupos de cultivares (SINGH, 1981). Cada grupo deve ser composto por indivíduos (cultivares) que sejam entre si tão semelhantes quanto possível, em relação às características de qualidade. Diante de um grande número de amostras, a análise de Cluster, que designa uma série de procedimentos estatísticos, é apropriada para agrupar indivíduos em função da informação existente.

Objetivou-se, portanto, neste trabalho, proceder ao agrupamento dos 30 acessos produtivos de cafeeiro do BAG da Embrapa Cerrados, cultivados com a tecnologia do Estresse Hídrico Controlado e posterior identificação de grupo(s) de acessos com os melhores atributos para bebida, além de determinar a contribuição relativa das propriedades físico-químicas e químicas para a divergência genética, relacionada com a qualidade da bebida.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Os frutos cereja de café irrigado de 30 cultivares de *Coffea arabica* L, provenientes do Banco de Germoplasma da Embrapa Cerrados, foram colhidos por derriça de pano durante o mês de maio de 2012. A área total do experimento foi de 10 ha, irrigados por pivô central. Foi utilizado o espaçamento de 0,7 a 1,0 m entre plantas e 3,6 a 3,8 m entrelinhas, para possibilitar a expressão do potencial produtivo das plantas. O delineamento experimental adotado foi o de blocos casualizados com quatro repetições, sendo cada parcela representada por 5 plantas.

O processo por via seca foi o escolhido por representar o método mais utilizado por cafeicultores brasileiros. Os frutos permaneceram no terreiro de concreto por duas semanas, ao fim das quais os frutos de café apresentaram um teor de umidade de, aproximadamente, 14%. Para acelerar o processo de secagem, os frutos foram secos artificialmente durante 20 horas em um secador com circulação de ar forçada a 40 ^{o}C, e a

umidade final, apresentada pelo café em coco, foi de 10 a 11%. O beneficiamento para a obtenção dos grãos envolveu as etapas mecânicas de descascamento e remoção do pergaminho do fruto café em coco. Os grãos crus foram armazenados em embalagens opacas.

Parte dos grãos de café das 30 cultivares foi torrada e parte permaneceu como matéria crua. A torração dos grãos crus foi realizada em torrador aquecido a gás e com rotação contínua. Após 40 minutos de aquecimento, a temperatura no interior do torrador atingiu, aproximadamente, 230 ^{o}C e uma porção de 300 g de café cru foi torrada durante quatro minutos. A torração obtida foi a clara, tipo americana. Após esse tempo, os grãos torrados foram imediatamente resfriados em corrente de ar e armazenados em embalagens opacas. Os grãos crus e torrados foram moídos e passados através de uma peneira de 20 mesh. Os peneirados obtidos foram armazenados em vidros cobertos com papel alumínio para a proteção contra a luz.

Os atributos de qualidade avaliados nos grãos crus e torrados foram pH, acidez total titulável, proteína, sólidos solúveis e polifenóis. As análises foram realizadas para três repetições com sub-repetições em triplicata (ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS - AOAC, 2005).

O método proposto por Singh (1981) foi empregado, a fim de determinar a contribuição relativa de cada atributo de qualidade para a divergência genética observada entre os 30 acessos de café avaliados. Esse procedimento estatístico foi realizado usando o aplicativo computacional GENES (CRUZ, 2006).

Para proceder à análise de Cluster, os valores dos atributos de qualidade mensurados foram previamente padronizados para escala Z (normal padrão), de modo que as diferentes unidades de medida dos atributos não interferissem nos cálculos. O método de agrupamento adotado foi o método da mínima variância (Wards) e como medida de dissimilaridade optou-se pela distância euclidiana quadrática. Ao final da análise de agrupamento foi feita a representação gráfica num dendograma. A delimitação do ponto de corte no dendrograma foi feita mediante análise visual, ou seja, como sendo o ponto de alta mudança de nível. Essas análises de agrupamento foram realizadas com o auxílio do software SPSS - Statistical Package for the Social Sciences, versão19.0 (SPSS, 2010).

Após a identificação dos grupos foi realizada a análise de variância para verificar a existência de divergência entre grupos para cada variável estudada. Para a comparação dos grupos de acessos foram utilizados contrastes ortogonais, da forma proposta pela função "contrast" do procedimento GLM, do software SAS, versão *9.2* (STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM INSTITUTE - SAS INSTITUTE, 2009).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir dos resultados das contribuições relativas das características de qualidade de bebida de café, de acordo com a utilização da metodologia de Singh (Tabela 1), foi possível identificar que a variável polifenóis apresentou a maior contribuição para a dissimilaridade total (28,84%). Destacam-se também, as outras quatro variáveis pH, proteína, sólidos solúveis e acidez, apresentando autovalores próximos, mostrando que apesar da maior contribuição da variável polifenóis, as demais variáveis também devem ser consideradas na seleção do (s) grupo (s) formados pela análise de Cluster (Tabela 2).

A análise de Cluster teve como principal objetivo formar grupos das 30 cultivares de café com características semelhantes, em relação aos resultados dos atributos de qualidade. Na Figura 1, apresenta-se o dendograma que ilustra como estão posicionados cada grupo de cultivares em relação ao conjunto total.

Pela interpretação gráfica do dendrogama (Figura 1) e observando-se o ponto de corte (linha vertical em negrito) tem-se formados quatro grupos de cultivares de café:

Grupo 1: ARAPONGA MG, CATINGUA MG3PL4(B), CATUAI62, MG0189, MG0190, MG0201, MG1120, MG1158, MG1181, MG1474 e PAU BRASIL42;

Grupo 2: CATINGUA MG2, CATINGUA MG3PI3(B), CATINGUA MG3PL19(B), CATINGUA MG3PL5(BOR), CATUAI IAC99, MG0187, MG0194, MG0203, MG0225, NOVO MUNDO379/19 e PAU BRASIL52;

Grupo 3: CATINGUA MG3PL12(B), MG0198, MG0204 e MG1109;

Grupo 4: ICATU2944, MG0188, MG1177 e TOPAZIO.

O estudo da composição química do café antes e após a torração de seus grãos fez-se importante pela possibilidade de verificação da manutenção ou perda das características responsáveis pelo corpo e doçura da bebida (sólidos solúveis), acidez (acidez total titulável e pH), sabor (polifenóis) e formação de aroma (proteína).

TABELA 1 - Contribuição relativa (%) das variáveis relacionadas com a qualidade de bebida das cultivares de café, baseada na estatística de Singh (1981).

Variável	Autovalores (S.j)	Contribuição Relativa (%)
pH	42,34	19,23
Acidez	33,09	15,03
Proteína	42,08	19,11
Sólidos Solúveis	39,16	17,79
Polifenóis	63,52	28,84

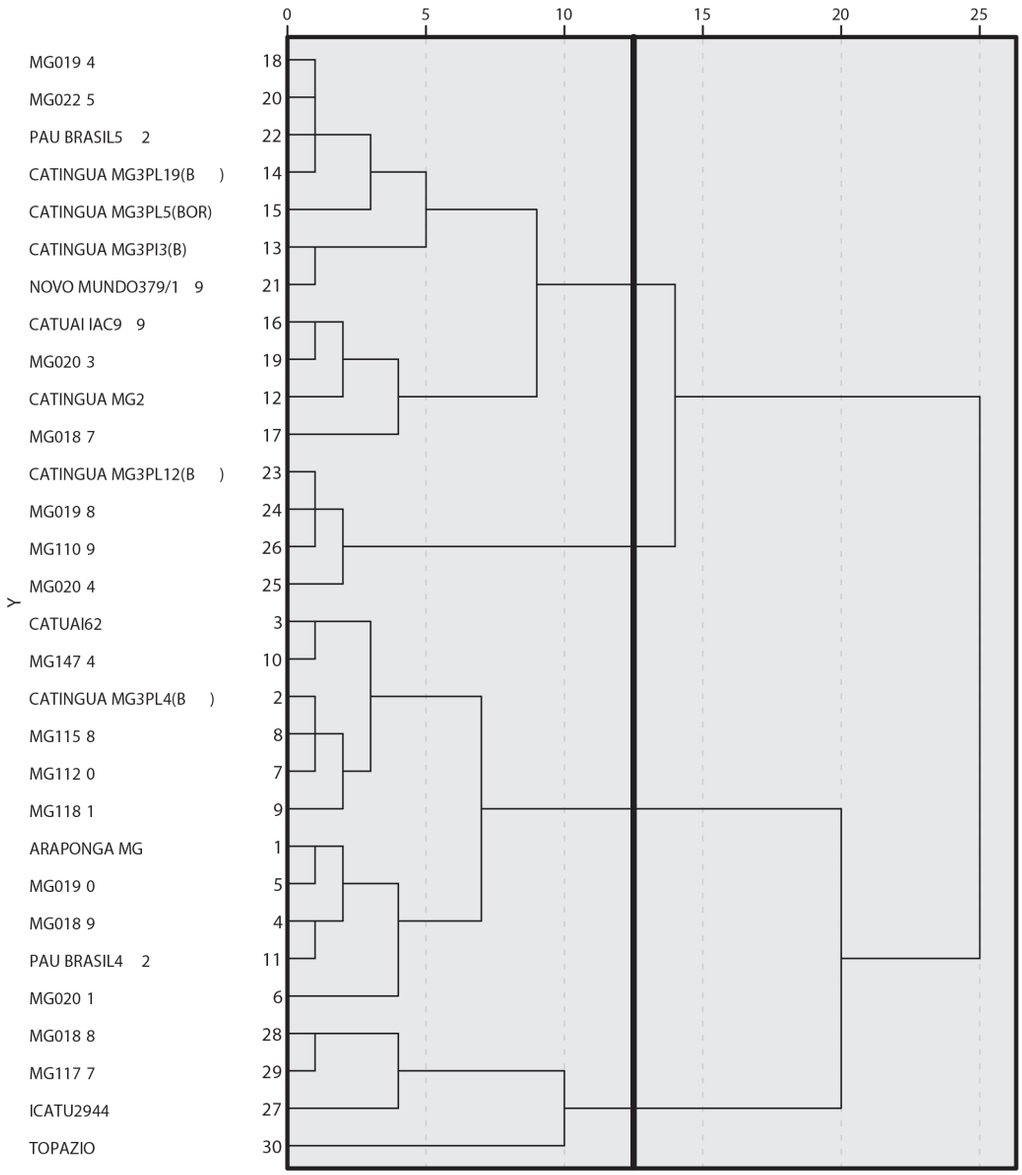

FIGURA 1 - Dendograma obtido pelo método da mínima variância (Ward), com base na distância euclidiana quadrática entre 30 acessos do Banco de Germoplasma da Embrapa Cerrados. A linha vertical em negrito representa o ponto de corte.

TABELA 2 - Valor absoluto da redução média de pH, aumento médio de acidez, redução média de proteína, redução média de sólidos solúveis e aumento médio de polifenóis entre grãos crus e grãos torrados, por grupo.

Grupos	pH	Acidez (mL NaOH/ 100g de matéria seca)	Proteína (% matéria seca)	Sólidos Solúveis (% matéria seca)	Polifenóis (mg /100g de matéria seca)
1	$0,384^{C}\pm0,040$	$34,092^{B}$ $\pm5,999$	$0,233^{B}$ $\pm0,049$	$4,243^{B}$ $\pm0,732$	$47,136^{A}$ $\pm4,883$
2	$0,503^{B}\pm0,028$	$13,087^{B}$ $\pm7,593$	$0,048^{B}$ $\pm0,063$	$8,258^{A}$ $\pm0,830$	$16,982^{BC}$ $\pm5,847$
3	$0,360^{C}\pm0,060$	$12,812^{B}$ $\pm11,132$	$0,625^{A}$ $\pm0,105$	$9,373^{A}$ $\pm0,625$	$0,722^{C}$ $\pm1,825$
4	$0,732^{A}\pm0,076$	$71,671^{A}$ $\pm26,973$	$0,505^{A}$ $\pm0,165$	$6,667^{AB}$ $\pm0,341$	$26,468^{B}$ $\pm12,555$

Dados seguidos de mesma letra na mesma coluna não diferem entre si, ao nível de 5% de significância pelo

O grupo 4 (Tabela 2) representou as cultivares que mais diminuíram o pH (0,732) e as que mais aumentaram a acidez (71,671), entre grãos crus e torrados, diferindo significativamente dos outros grupos. Como todas as 30 cultivares apresentaram, para os grãos crus, valores de acidez total titulável inferiores (dados não mostrados) aos encontrados por Mendonça, Pereira e Mendes (2005), para cultivares Coffea arabica do Sul de Minas Gerais, e como a acidez pode ser desejável em cafés, o grupo 4 se mostrou, para esses critérios de qualidade, o mais apropriado.

Pela Tabela 2, observa-se que o grupo 3 apresentou a maior redução do teor de proteína (0,625 % de matéria seca), mas não foi estatisticamente diferente da apresentada pelo grupo 4 de 0,505 % de matéria seca, sendo os dois grupos que apresentaram cultivares com maiores possibilidades de produção de aromáticos.

Cafés de qualidade apresentam altos valores de sólidos solúveis e após a torração esses valores diminuem. O aumento de temperatura provoca, principalmente, a decomposição dos açúcares e a descarboxilação de ácidos carboxílicos (ARRUDA et al., 2012). As cultivares que ainda permanecem com os maiores valores de sólidos solúveis para os seus grãos torrados, ou seja, apresentam as menores reduções entre cru e torrado, sobressaem-se como cafés que produzirão uma bebida de qualidade superior. Pela Tabela 2, o grupo 1 foi o que apresentou a menor redução de sólidos solúveis, característica desejável, mas também esse grupo apresentou o maior aumento de polifenóis, o que é indesejável, por serem responsáveis pela adstringência do café. Os grupos 2 e 3 apresentaram os menores aumentos de polifenóis, no entanto maiores reduções de sólidos solúveis também foram verificadas (Tabela 02). Já o grupo 4 apresentou valores de redução de sólidos solúveis e aumento de polifenóis, respectivamente, de 6,667% de matéria seca e 26,468 mg/100g de matéria seca, sendo valores intermediários aos dos grupos 1, 2 e 3, o que equilibrou essas características desejáveis e indesejáveis do café. Portanto, o grupo 4 destacou-se em todos os critérios de qualidade do café como bebida.

Pela Tabela 3, evidenciou-se que os valores de pH dos grãos torrados para as cultivares do grupo 4 não situaram-se na faixa considerada ideal (5,08 a 5,22) (MANZOCCO; LAGAZIO, 2009). No entanto, essas cultivares apresentaram valores de acidez total titulável inferiores aos encontrados por Mendonça, Pereira e Mendes (2005), para cultivares de Coffea arabica do Sul de Minas Gerais submetidas à torração americana. As cultivares Icatu amarelo (LGC3282) e Icatu amarelo (H2944) cultivadas nessa região apresentaram valores de acidez total titulável, respectivamente, de 314,05 e 283,15 mL NaOH/100g de matéria seca. Siqueira e Abreu (2006) encontraram um valor de acidez total titulável de 400,30 mL NaOH/100g de matéria seca para a variedade Rubi (Coffea *arabica* L), cultivada sob irrigação.

TABELA 3 - Valores de pH, acidez total titulável, proteína, sólidos solúveis e polifenóis para os grãos das cultivares do grupo 4 submetidas à torração clara.

Cultivar	pH	Acidez Total Titulável (mL NaOH/ 100g de matéria seca)	Proteína (% matéria seca)	Sólidos Solúveis (% matéria seca)	Polifenóis (mg /100g de matéria seca)
Icatu 2944	4,84 ±0,03	168,17 ±1,83	6,60 ±2,20	29,17 ±0,68	261,06 ±87,03
MG 0188	4,97 ±0,01	154,83 ±4,27	6,45 ±2,15	30,00 ±1,18	267,58 ±86,69
MG 1177	5,04 ±0,04	135,85 ±2,36	6,88 ±2,30	29,17 ±1,36	264,56 ±88,20
Topazio	5,02 ±0,02	151,25 ± 1,51	6,68 ±2,23	28,33 ±0,68	262,57 ±87,53

Erro padrão da média.

Carvalho et al. (1994) encontraram valores médios de 211,2; 235,5; 218,3; 250,4; 272,2 e 284,5 mL de NaOH/100g de matéria seca para cafés de bebida estritamente mole, mole, apenas mole, dura, riado e rio, respectivamente. Coradi et al. (2007) encontraram acidez de 212,50 mL de NaOH/100g e de 175,50 mL de NaOH/100g para Topázio em processamento com secagem artificial a 60 ºC e 40 ºC, respectivamente. Os grãos classificados como bebida estritamente mole, mole, apenas mole e duro apresentam padrões superiores. As cultivares Icatu 2944, MG 0188 e MG 1177 e Topázio (Tabela 03) apresentam valores inferiores a 211,2 mL de NAOH/100g de matéria seca.

A diminuição do teor de sólidos solúveis após a torração é devida à volatilização de ácidos e outras moléculas com a ação do calor. As menores porcentagens de redução de sólidos solúveis entre grão cru e grão torrado são desejáveis para que, nesse último, mantenham-se compostos responsáveis pela palatabilidade da bebida. Barrios (2001) encontrou para cafés torrados do Sul de Minas Gerais teores de sólidos solúveis de 27,75 a 30 %. Fernandes et al. (2003) obtiveram valores de 26,97 e 28,17 % para café arábica torrado. As cultivares do grupo 4 apresentaram teor de sólidos solúveis próximos aos encontrados por esses autores.

As proteínas dão origem à maioria dos aromas (voláteis e não voláteis) característicos do café. Os teores de proteína encontrados neste trabalho para as cultivares do grupo 4 (Tabela 3) foram baixos em relação aos encontrados por Fernandes et al. (2001) de 15,24 a 16,02%; por Silva, Ascheri e Pereira (2007) de 15,75% para café arábica torrado; e por Morgano et al. (2005), com a variação de 12,8% a 14,33 %.

Como a concentração de polifenóis é responsável pela adstringência, quanto menor a porcentagem de aumento desses compostos após a torração, mais indicada é a variedade para a obtenção de uma bebida de qualidade. Siqueira e Abreu (2006) encontraram uma média de 9220 mg/100g da cultivar Rubi (Coffea arabica) submetida à torração clara e proveniente de um cultivo irrigado. Pinto et al. (2001) encontram valores de 5240; 4780 e 5030 e 4730 mg/100g para grãos submetidos à torração média-clara, sendo as bebidas classificadas, respectivamente, de estritamente mole, mole, apenas mole e dura. Lima et al. (2010) encontraram um teor de 4730 mg/100g para café arábica submetido à torração média. As quatro cultivares do grupo 4 apresentaram porcentagens de teor de polifenóis, após a torração, inferiores ao valor de classificação de estritamente mole (Tabela 03), o que indica o padrão superior das cultivares estudadas quanto à adstringência dos grãos.

4 CONCLUSÕES

A análise de Cluster possibilitou o agrupamento das 30 cultivares de café em quatro grupos. Pelo método Singh, a variável polifenóis teve a maior contribuição relativa para a divergência genética observada entre os 30 acessos de café avaliados, mas as demais variáveis (pH, acidez total titulável, sólidos solúveis e proteína)

também apresentaram significativa porcentagem de contribuição para a seleção do grupo 4. As cultivares desse grupo, Icatu 2944, MG0188, MG1177 e Topázio, para as condições de manejo apresentadas neste trabalho, se destacaram por apresentar valores de pH, acidez total titulável, sólidos solúveis e polifenois característicos de uma bebida de boa qualidade.

5 REFERÊNCIAS

ARRUDA, N. P. et al. Correlação entre precursores e voláteis em café arábica brasileiro processado pelas vias seca, semiúmida e úmida e discriminação através da análise por componentes principais. **Química Nova**, São Paulo, v. 35, n. 10, p. 2044-2051, 2012.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists**. 15th ed. Arlington, 2005.

BARRIOS, B. B. E. **Caracterização física, química, microbiológica e sensorial de cafés (*Coffea arabica* L.) da região Alto Rio Grande, sul de Minas Gerais**. 2001. 72 p. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2001.

CARVALHO, V. D. et al. Relação entre a composição físico-química e química do grão beneficiado e a qualidade de bebida do café. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 29, n. 3, p. 449-454, mar. 1994.

CORADI, P. C. et al. Effect of drying and storage conditions on the quality of natural and washed coffee. **Coffee Science**, Lavras, v. 2, n. 1, p. 38-47, 2007.

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

FERNANDES, S. M. et al. Constituintes químicos e teor de extrato aquoso de café arábica (*Coffea arabica* L.) e conilon (*Coffea canephora* Pierre) torrados. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 27, n. 5, p. 1076-1081, set./out. 2003.

FERNANDES, S. M. et al. Teores de polifenóis, ácido clorogênico, cafeína e proteína em café torrado. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v. 7, n. 3, p. 197-199, 2001.

GUERRA, A. F. et al. Manejo da irrigação do cafeeiro, com estresse hídrico controlado, para uniformização de florada. In: ZAMBOLIM, L. (Ed.). **Boas práticas agrícolas na produção de café**. Viçosa, MG: UFV, 2006. p. 83-115.

LIMA, A. R. et al. Compostos bioativos do café: atividade antioxidante *in vitro* do café verde e torrado antes e após a descafeinação. **Química Nova**, São Paulo, v. 33, n. 1, p. 20-24, 2010.

MANZOCCO, L.; LAGAZIO, C. Coffee brew shelf-life modelling by integration of acceptability and quality data. **Food Quality and Preference**, Oxford, v. 20, n. 1, p. 24-29, 2009.

MENDONÇA, L. M. V. L.; PEREIRA, R. G. F. A.; MENDES, A. N. G. Parâmetros bromatológicos de grãos crus e torrados de cultivares de café (*Coffea arabica L.*). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 25, n. 2, p. 239-243, 2005.

MORGANO, M. A. et al. Determinação de proteína em café cru por espectroscopia NIRe regressão PLS. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 25, n. 1, p. 25-31, 2005.

NEBESNY, E.; BUDRYN, G. Evaluation of sensory attributes of brews from robusta coffee roasted under different conditions. **European Food Research and Technology**, Berlin, v. 224, n. 1, p. 159-165, 2006.

PINTO, N. A. V. D. et al. Avaliação dos polifenóis e açúcares em padrões de bebida do café torrado tipo expresso. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v. 7, n. 3, p. 193-195, 2001.

SCHOLZ, M. B. S. et al. Características físico-químicas de grãos verdes e torrados de cultivares de café (*Coffea arabica* L.) do IAPAR. **Coffee Science**, Lavras, v. 6, n. 3, p. 245-255, 2011.

SILVA, R. F.; ASCHERI, J. L. R.; PEREIRA, R. G. F. A. Composição centesimal e perfil de aminoácidos de arroz e pó de café. **Alimentos e Nutrição**, Araraquara, v. 18, n. 3, p. 325-330, 2007.

SINGH, D. The relative importance of characters affecting genetic divergence. **The Indian Journal of Genetics and Plant Breeding**, New Delhi, v. 41, n. 2, p. 237-245, 1981.

SIQUEIRA, H. H.; ABREU, C. M. P. Composição físico-química e qualidade do café submetido a dois tipos de torração e com diferentes formas de processamento. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 30, n. 1, p. 112-117, jan./fev. 2006.

SPSS. **SPSS for Windows**. Release 19.0.0. Chicago, 2010.

STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM INSTITUTE. **SAS/STAT:** user's guide. Version 9.2. Cary, 2009.

VOILLEY, A. et al. Influence of some processing conditions on the quality of coffee brew. **Journal Food Process Preservation**, Hoboken, v. 5, n. 3, p. 135-143, 1981.