

MANUEL DE JESUS DERAS PERLA

**VARIABILIDADE PATOTÍPICA DE *Hemileia vastatrix* E RESISTÊNCIA DO
CAFEIEIRO A FERRUGEM**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Fitopatologia, para obtenção do título de Doctor Scientiae.

VIÇOSA
MINAS GERAIS - BRASIL
2018

**Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Câmpus Viçosa**

T

D427v
2018 Deras Perla, Manuel de Jesus, 1968-
Variabilidade patotípica de *Hemileia vastatrix* e resistência
do cafeeiro a ferrugem / Manuel de Jesus Deras Perla. – Viçosa,
MG, 2018.
x, 81 f. : il. ; 29 cm.

Orientador: Laércio Zambolim.
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.
Inclui bibliografia.

1. Ferrugem-do-cafeeiro. 2. Café - Resistência a doenças e
pragas. 3. *Hemileia vastatrix*. I. Universidade Federal de Viçosa.
Departamento de Fitopatologia. Programa de Pós-Graduação em
Fitopatologia. II. Título.

CDD 22. ed. 632.9492

MANUEL DE JESUS DERAS PERLA

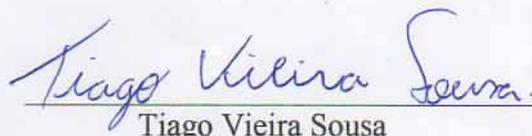
**VARIABILIDADE PATOTÍPICA DE *Hemileia vastatrix* E RESISTÊNCIA DO
CAFEIEIRO A FERRUGEM**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Fitopatologia, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

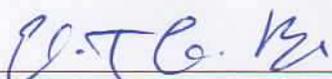
APROVADA: 10 de dezembro de 2018.



Antonio Carlos Baião de Oliveira



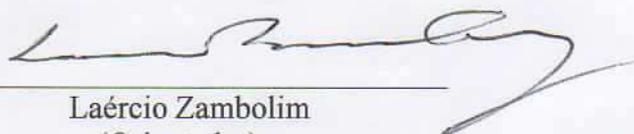
Tiago Vieira Sousa



Eveline Teixeira Caixeta



Jorge Luis Badel Pacheco



Laércio Zambolim
(Orientador)

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo dom da vida e por proporcionar-me a fortaleza e sabedoria em cada momento da minha vida.

Aos meus pais, especialmente à minha mãe Angela Delfina Perla Bonilla, pelo amor e por tudo o que representa para mim. Você é o meu maior exemplo de coragem e força.

A meus irmãos, Maritza e Miguel, pelo apoio moral, principalmente à Xiomara.

À minha caríssima esposa Ana Julia, pelo amor, carinho, compreensão e paciência.

A meus caríssimos filhos Gica, Naje, Enrique, Xiomara e, especialmente, a Jesús Adrián, sem dúvida alguma o mais sacrificado para eu obter esta conquista.

Ao D. Sc. Efrain Trejo Chandia, pelo inesquecível apoio e por ser ator fundamental desta conquista.

Ao Dr. Mauricio Rivera e M. Sc. Oswaldo Espinal, pelo outorgamento das cartas de recomendação.

Aos colegas José Linares, Héctor Flores, Victor Hugo Melgar e German Ruiz, pelo apoio.

Ao meu orientador, professor Laércio Zambolim, pelo conhecimento transmitido, pelos conselhos e pela amizade.

À professora Eveline Teixeira e ao professor Jorge Luis Badel Pacheco, pelas orientações e por estarem sempre dispostos a me ajudar.

Aos Dr. Antonio Carlos Baião de Oliveira e Dr. Antonio Alves Pereira, pelos conhecimentos transmitidos e pelo compartilhamento da informação.

Ao Dr. Tiago Vieira, pela disponibilidade em participar da banca.

Ao Dr. Douglas Ferreira, cuja ajuda foi fundamental para a realização deste trabalho.

À doutoranda Daiana Salles e ao Dr. Tiago Vieira, pela ajuda nas análises estatísticas do capítulo I.

Aos colegas do Laboratório de Proteção de Plantas, pela amizade e companherismo, principalmente a Sergio Nivaldo, pela grande ajuda.

À Organização dos Estados Americanos (OEA), pela concessão da bolsa de estudo.

À Universidade Nacional Autónoma de Honduras (UNAH), nossa Alma Mater, pela concessão da bolsa.

Ao Instituto Hondurenho do Café, pelo financiamento do capítulo III sobre caracterização de isolados de *Hemileia vastatrix* em Honduras.

À Universidade Federal de Viçosa, principalmente ao Programa de Pós-Graduação do Departamento de Fitopatologia, pela oportunidade de realização do curso.

A todos os meus caros amigos e familiares que contribuíram de alguma forma para meu crescimento profissional e pessoal. E a todos que, direta ou indiretamente, aportaram um grão de areia.

Ao senhor Fernando Ching, pelo sábios conselhos.

Ao engenheiro Julio Cesar Guillén (QDDG), por ser a primeira pessoa que acreditou na minha capacidade. Missão cumprida!!!

Muito obrigado!!!!!!

BIOGRAFIA

Manuel de Jesús Deras Perla, filho de Angela Delfina Perla Bonilla e Manuel de Jesús Deras Valle, nasceu no dia 20 de fevereiro de 1968 em Sonaguera, Colón, Honduras.

Em fevereiro de 1986, ingressou na Faculdade de Agronomia da Universidade Nacional Autónoma de Honduras, graduando-se Engenheiro-Agrônomo em junho de 1991.

Em agosto de 1998, iniciou o mestrado na Universidade Autónoma Chapingo, no Departamento de Parasitologia Agrícola, concentrando seus estudos em compostos fenólicos associados com resistência a sigatoka negra (*Mycosphaerella fijiensis* Morelet) em híbridos tetraploides de plátano.

Em março de 2015, iniciou o doutorado no Programa de Pós-Graduação em Fitopatologia da UFV, submetendo-se à defesa de tese no dia 10 de dezembro de 2018.

SUMÁRIO

RESUMO	vii
ABSTRACT	ix
1. INTRODUÇÃO GERAL	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	4
2.1 Ferrugem do cafeeiro (<i>Hemileia vastatrix</i>).....	4
3. REFERÊNCIA	7
CAPÍTULO I.....	11
1. INTRODUÇÃO.....	12
2. MATERIAL E MÉTODOS	14
3. RESULTADOS	16
4. DISCUSSÃO.....	26
5. CONCLUSÕES.....	29
6. REFERÊNCIAS	30
CAPÍTULO II	34
1. INTRODUÇÃO	35
2. MATERIAL E MÉTODOS	38
2.1 Avaliação da resistência e produtividade de cafeeiros resistentes à ferrugem em campo	40
2.2 Avaliação da resistência de cultivares de café às raças II e XXXIII de <i>Hemileia vastatrix</i>	41
2.3 Avaliação do teor de clorofila em genótipos de cafeeiros resistentes à ferrugem.....	42
3. RESULTADOS.....	42
3.1 Avaliação da resistência à ferrugem e produtividade de genótipos de cafeeiros em campo no município de Varginha, Minas Gerais	42
3.2 Avaliação da produtividade e resistência de genótipos de cafeeiros à ferrugem em campo no município de Viçosa, Minas Gerais	44
3.3 Avaliação da resistência de genótipos de cafeeiros às raças II e XXXIII de <i>Hemileia vastatrix</i>	46

3. 4 Avaliação do teor de clorofila a, b, total e carotenoides em genótipos resistentes à ferrugem do cafeeiro	48
4. DISCUSSÃO.....	49
5. CONCLUSÕES.....	56
6. REFERÊNCIAS	57
CAPÍTULO III	61
1. INTRODUÇÃO	62
2. MATERIAL E MÉTODOS	64
2.1 Coleta de isolados de <i>H. vastatrix</i>	64
2.2 Multiplicação do inóculo de <i>H. vastatrix</i>	65
2.3 Inoculação dos isolados nos clones da série diferenciadora de raças de <i>H. vastatrix</i>	66
2.4 Designação dos patótipos de <i>H. vastatrix</i> e possíveis novos genes de resistência nos clones diferenciadores.....	66
3. RESULTADOS.....	67
3.1 Resposta dos clones da série diferenciadora à inoculação com isolados de <i>H. vastatrix</i>	67
3.2 Designação raças fisiológicas de <i>H. vastatrix</i> e possíveis novos genes de resistência	67
4. DISCUSSÃO.....	69
5. CONCLUSÕES.....	73
6. REFERÊNCIAS	74
ANEXOS.....	77

RESUMO

DERAS, Manuel de Jesus, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, dezembro de 2018. **Variabilidade patotípica de *Hemileia vastatrix* e resistência do cafeeiro a ferrugem.** Orientador: Laércio Zambolim.

A ferrugem do cafeeiro, causada pelo fungo *Hemileia vastatrix* Berk. & Br., é a principal doença em todos os países produtores de café no mundo. No Brasil, a doença causa perdas entre 35% e 50% e, na América Central e Colômbia, entre 20% e 80%. O Brasil possui o maior banco de germoplasma com acessos derivados do Híbrido de Timor (HDT), na Universidade Federal de Viçosa (UFV), o qual vem sendo utilizado e, ao longo dos anos, tem sido valioso para os programas de melhoramento, visando encontrar cultivares com resistência durável à ferrugem. Cultivares com resistência à ferrugem geradas por diferentes institutos de melhoramento genético de café no Brasil foram avaliadas em campo para conhecer seu comportamento em diferentes ambientes. As epidemias registradas na América Central de 2011 a 2013 foram decorrentes de diferentes fatores econômicos, ambientais e, possivelmente, do surgimento de novas raças de *H. vastatrix*; a suplantação da resistência de cultivares de café lançadas como resistentes à ferrugem no mundo todo também constitui um problema para os programas de melhoramento genético. Diante desses fatos, este estudo teve como objetivos: (i) avaliar fenotipicamente os acessos de HDT; (ii) estudar o comportamento de cultivares lançadas como resistentes pelos diferentes programas de melhoramento genético do Brasil; (iii) avaliar a resistência de 12 cultivares às raças II (v₅) e XXXIII (v₅, 7, 9) de *H. vastatrix*; (iv) avaliar o teor de clorofila das cultivares resistentes à ferrugem; e (v) caracterizar as raças de *H. vastatrix* Berk. & Br. presentes em Honduras. A avaliação dos HDTs foi realizada no viveiro de café do Departamento de Fitopatologia da UFV. Para avaliação das cultivares com resistência à ferrugem, foram conduzidos experimentos em campo, em Varginha e Viçosa, no Estado de Minas Gerais. A caracterização de raças de *H. vastatrix* foi desenvolvida no Instituto Hondurenho do Café (IHCAFE), em Honduras. Vinte e oito cultivares lançadas como resistentes foram estudadas durante oito anos. Os testes visando avaliar a resistência de 12 cultivares às duas raças de *H. vastatrix* foram conduzidos em câmaras de incubação. O teor de clorofila a, b, total e carotenoides foi determinado nas 28 cultivares. Para caracterização de raças de *H. vastatrix*, isolados do patógeno foram coletados em lavouras de café em Honduras, nas cultivares Lempira e Catuaí vermelho, em diversas altitudes. A caracterização fisiológica de raças do patógeno foi baseada na ausência (resistente) ou

presença (susceptível) de uredósporos nos discos foliares dos clones diferenciadores. Os resultados da avaliação dos acessos de HDT, utilizando a rede de correlações, mostrou que houve correlações significativas diferentes de zero nas características vigor, produção, diâmetro de copa e altura das plantas. Nos testes de cultivares resistentes à ferrugem, verificou-se predominância da resistência quantitativa, além de algumas cultivares terem apresentado tolerância à ferrugem. Cerca de 38,4% das cultivares avaliadas foram resistentes à raça II (v₅) e 100% susceptíveis à raça XXXIII (v₅, 7, 9) de *H. vastatrix*. Quanto aos teores de clorofilas e carotenoides, houve grande variação dos valores entre os genótipos, porém não foi observada correlação com a produtividade e a incidência da ferrugem. Diante da rápida suplantação da resistência qualitativa das cultivares de café lançadas, recomenda-se buscar nos genótipos de café características de tolerância à doença, pelo fato de ser duradoura. Em se tratando da caracterização de raças de *H. vastatrix*, não foi possível enquadrar nenhuma das combinações dos genes de virulências dos isolados em raças patogênicas. Comprovou-se, portanto, a suplantação da resistência da variedade Lempira pelo fungo e foi feita a identificação de 16 patótipos do patógeno.

ABSTRACT

DERAS, Manuel de Jesus, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, December, 2018. **Pathological variability of *Hemileia vastatrix* and resistance to coffee rust.** Advisor: Laércio Zambolim.

The coffee rust, caused by the fungus *Hemileia vastatrix* Berk. & Br., is the main disease in all coffee producing countries in the world. In Brazil, the disease causes losses between 35 and 50% and, in Central America and Colombia, losses from 20 to 80%. Brazil has the largest germplasm bank with accesses derived from the Timor Hybrid (HDT) at the Federal University of Viçosa (UFV), which has been used and, over the years, has been valuable for breeding programs, aiming at to find cultivars with durable resistance to rust. Cultivars with resistance to rust, generated by the different institutes of coffee genetic improvement in Brazil, were evaluated in the field to know their behavior in different environments. The epidemics recorded in Central America from 2011-2013 were due to different economic, environmental and possibly the emergence of new races of *H. vastatrix*; the overriding resistance of coffee cultivars launched as rust resistant worldwide is also a problem for breeding programs. In view of these facts, the work had as objectives: (i) to evaluate phenotypically the accesses of (HDT); (ii) study the behavior of cultivars launched as resistant by the different breeding programs in Brazil; (III) to evaluate the resistance of twelve cultivars to *H. vastatrix* races II (v₅) and XXXIII (v₅, 7, 9); (IV) to evaluate the chlorophyll content of rust-resistant cultivars; (V) characterize the *H. vastatrix* in Honduras. The evaluation of the (HDT) was carried out in the coffee nursery of the Department of Plant Pathology of the UFV. To evaluate the cultivars with resistance to rust were conducted field experiments, in Varginha and Viçosa, Minas Gerais state cities. The *H. vastatrix* isolates characterization was developed at the Honduran Coffee Institute (IHCAFE) in Honduras. Twenty-eight cultivars released as resistant were studied for eight years. The tests to evaluate the resistance of 12 cultivars of the two races of *H. vastatrix* were conducted in incubation chambers. The content of chlorophyll a, b, total and carotenoids was performed in 28 cultivars. For characterization of *H. vastatrix* races isolated from

the pathogen were collected in coffee fields in Honduras, in the cultivars Lempira and Red Catuaí, at different elevations. The physiological characterization the pathogen isolates was based on the absence (resistant) or presence (susceptible) of uredospores in the leaf disks of the differentiating clones. The data access coffee genotypes evaluation (HDT), using a network of correlations, were correlated to different levels in the following variables: vigor, yield, crown diameter and plant height. In the tests of rust resistant cultivars, they showed that there was predominance of quantitative resistance, besides some cultivars presented tolerance to rust. About 38.4% of the evaluated cultivars were resistant to race II (v_5) and, 100% susceptible to race XXXIII ($v_5, 7, 9$), of *H. vastatrix*. In the chlorophyll and carotenoid contents, there was a great variation of the values among the genotypes, however, no correlation was observed with productivity and the rust incidence. In view of the rapid substitutability of the qualitative resistance of the coffee cultivars, it is recommended that coffee genotypes should be considered as tolerant to the disease, because it is durable. In the characterization of *H. vastatrix* races it was not possible to fit any of the combinations of the virulence genes of the isolates into pathogenic races. It was verified, therefore, the substitution of resistance of the variety Lempira by the fungus and the identification of 16 pathotypes of the pathogen.

1. INTRODUÇÃO GERAL

A produção mundial de café no ano 2017/18 aumentou 5,7%, alcançando 164,8 milhões de sacas de 60 kg, sendo a produção de arábica de 101,8 milhões e a de robusta, de 62,9 milhões de sacas (ICO, 2018). O Brasil continua em destaque, com uma produção recorde de 59,9 milhões de sacas beneficiadas – um crescimento de 33,2%, favorecido grandemente pela bialidade positiva (CONAB, 2018).

Estima-se que no ano de 2017/18 o consumo mundial de café tenha aumentado 1,8% (162,23 milhões de sacas), ficando 2,58 milhões de sacas abaixo da produção. O excedente da produção contribuiu para os preços baixos da temporada. O indicativo composto da OIC caiu para 98,17 centavos de dólar americano por 0,5 kg em setembro de 2018 (ICO, 2018).

O café é considerado a mais importante commodity agrícola no mundo, movimentando um valor estimado de 70 bilhões de dólares. É a principal fonte de renda para mais de 125 milhões de pessoas no mundo, sendo crucial para a economia de mais de 60 países (HOFFMAN, 2014; ICO, 2017).

A ferrugem do cafeeiro, principal doença que afeta a produção mundial de café, é causada pelo fungo biotrófico *Hemileia vastatrix* Berk. & Br. (Basidiomycota, Pucciniales) (TONIUTTI et al., 2017), provocando perdas ao redor de dois bilhões de dólares por ano (McCOOK, 2006).

O fungo necessita de temperatura favorável à infecção, entre 21 e 24 °C, e tempo de molhamento foliar mínimo de 24 horas (CAPUCHO et al., 2011). Os danos na produtividade do café causados pela ferrugem ocorrem sempre no ano seguinte ao ataque da ferrugem e são precedidos de desfolha e seca de ramos, no ano anterior. Em geral, os danos variam de 35% a 50%, se medidas de controle não forem adotadas (ZAMBOLIM, 2016). A doença geralmente não causa dano em altitudes acima de 1.200 m, onde o ambiente não favorece a infecção do patógeno. Até o momento não se conhece hospedeiro alternativo para o fungo (TALHINHAS et al., 2014).

Atualmente, o uso de fungicida é a principal estratégia para controle da ferrugem. Entretanto, o desenvolvimento das cultivares resistentes é o melhor método

de controle, pois é econômico, eficiente e não causa danos ao meio ambiente (ZAMBOLIM et al., 2005).

No Brasil, após a introdução do café no século XVIII e posteriormente de outros cultivares de *Coffea arabica*, iniciou-se o melhoramento em 1933, com a formação do Instituto Agrônomo de Campinas (IAC) (CARVALHO et al., 1989). Além do IAC, também existem outros órgãos envolvidos no melhoramento genético do cafeeiro, como o Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR), a Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (Epmig) em parceria com a UFV, a Universidade Federal de Lavras (UFLA), Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), Fundação PROCAFE e Incaper. Todos eles visam a obtenção de cultivares com resistência à ferrugem, alta produtividade e boa qualidade de bebida (FAZUOLI et al., 2007; PEREIRA et al., 2005; SERA et al., 2005).

Na América Central, entre 2011/2012 e 2013/2014 a produção de café caiu 17%, de 20,2 para 16,8 milhões de sacas, devido à epidemia de ferrugem. As perdas variaram significativamente de um país para outro. A produção do México caiu 9,5%, a da Costa Rica, 10%, e a de El Salvador, 45%. A Organização Internacional do Café (OIC) estima que a ferrugem custou à América Central mais de US\$ 616 milhões (ICO, 2014). Em Honduras, a ferrugem reduziu a produção em torno de 25%, na safra 2012/2013 (IHCAFE, 2013).

Acredita-se que essa epidemia ocorrida na América Central tenha sido causada por diferentes combinações de fatores, destacando-se aqueles do tipo: econômicos, tratamentos culturais inadequados e condições climáticas favoráveis à doença (temperatura, umidade relativa e chuva), além de possíveis novas raças do patógeno (AVELINO et al., 2015).

Após a chegada da ferrugem na América Central no final da década de 1970, as epidemias internas dos países produtores nos últimos 37 anos, incluindo a Colômbia, coincidiram com baixos períodos de retorno econômico na cultura de café, como ocorreu na epidemia da América Central de 2012-2013. A baixa rentabilidade na cultura provocou redução nos tratamentos culturais das lavouras de café, aumentando a vulnerabilidade às pragas e doenças (AVELINO et al., 2015).

No tocante às raças de *H. vastatrix*, já foram identificadas e descritas no mundo mais de 50 raças fisiológicas (VÁRZEA; MARQUES, 2005). No Brasil há 16 raças

descritas, porém é possível que haja mais de 10 novas raças ainda não identificadas (ZAMBOLIM, 2016; ZAMBOLIM; CAIXETA, 2018).

Na América Central, principalmente na Costa Rica, foram constatadas as raças XXIV (com genes de virulência $v_{2, 4, 5}$) e XXXVI ($v_{2, 4, 5, 8}$), em genótipos suscetíveis à raça II (v_5 ; Caturra e Catuaí). Na Guatemala foram encontradas as raças XXV ($v_{2, 5, 6}$) e XXVIII ($v_{2, 4, 5, 6}$). Em Honduras, em amostras enviadas ao Centro de Investigações da Ferrugem do Cafeeiro (CIFC), em Oeiras, Portugal, nos anos 1977, 1984, 1992, 1993, 1994 e 1998, foram identificadas as raças II (v_5) e I ($v_{2, 5}$) de *H. vastatrix* (AVELINO et al., 1999).

O parque cafeeiro da América Central, até 2010/2012, era formado principalmente por cultivares altamente suscetíveis a *H. vastatrix*, como Caturra, Bourbon, Pacas, Catuaí e Pacamara (cruzamento obtido a partir de Pacas e Maragogype). Nos anos posteriores, foram introduzidas novas cultivares oriundas do cruzamento realizado no CIFC entre a cultivar Caturra e o Híbrido de Timor CIFC 832/1 e CIFC 832/2. Portanto, todos os países da América Central, a partir do recebimento das sementes do CIFC, iniciaram o cultivo de cultivares com genes de resistência do Híbrido de Timor. As principais cultivares produzidas atualmente nos países da América Central são Lempira, IHCAFE 90, Costa Rica 95, Parainema e Colismor 8667. Outros cafeeiros, denominados de Catimores e Sarchimores e derivados do grupo Icatu, também estão sendo cultivados na América Central.

Portanto, foram introduzidas cultivares com genes de resistência oriundos do cruzamento entre *Coffea arabica* L. (Caturra e Villa Sarchi; carregando o gene SH₅) com os Híbridos de Timor (CIFC 832/1 e CIFC 832/2; portadores dos genes SH₆ a SH₉). No entanto, cultivares que foram plantadas com resistência vertical, como a Lempira, tiveram sua resistência suplantada. Hoje, além da Lempira, outras cultivares, previamente consideradas resistentes, também apresentaram ferrugem nos dois últimos anos (Costa Rica 95, IHCAFE 90 e Colismor 8667). Atualmente, somente a cultivar Parainema é imune à ferrugem na América Central.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Ferrugem do cafeeiro (*Hemileia vastatrix*)

Entre o século XV e meados do século XIX, o cafeeiro foi disseminado nos trópicos globais, porém a ferrugem do cafeeiro foi contida na África oriental. O café cultivado no mundo permaneceu livre da ferrugem até meados do século XIX. O cafeeiro e o fungo da ferrugem coevoluíram ao longo de muitos milênios na África (McCOOK, 2006).

O gênero *Coffea* é composto por mais de 100 espécies, que crescem selvagens na África equatorial e Madagascar, ocupando uma ampla gama de nichos ecológicos. A principal espécie comercial do café é o arábica (botanicamente, *Coffea arabica*). O café arábica selvagem cresce nos ambientes montanhosos frescos e secos do sudoeste da Etiópia e do norte do Quênia. Outras espécies, como o café robusta (*C. canephora* var. *Robusta*), são muito mais amplamente distribuídas nas planícies tropicais quentes e úmidas da África central e ocidental (McCOOK, 2006).

O gênero *Hemileia* foi descrito pela primeira vez por Berkeley e Broome, no Ceilão (atualmente Sri Lanka), em 1869, recebendo esta denominação devido à morfologia dos uredinósporos, que apresentam uma face lisa e outra equinulada (RODRIGUES JR, 1990). O gênero engloba cerca de 50 espécies, provenientes de zonas tropicais, que infectam predominantemente rubiáceas (RODRIGUES JR, 1990). São apenas duas as espécies com importância econômica (*Hemileia coffeicola* e *H. vastatrix*), ambas infectando plantas do gênero *Coffea* de elevado valor econômico (MCCAIN J. W.; HENNEN, 1984; RODRIGUES; BETTENCOURT; RIJO, 1975).

Das duas espécies supracitadas, a mais importante é *H. vastatrix*, uma vez que se encontra disseminada por todos os países produtores de café e causa grandes prejuízos. Nas Américas, o primeiro relato da doença foi no Brasil em janeiro de 1970, no Estado da Bahia (CHAVES et al., 1970). Dez anos após a sua descoberta no País, a ferrugem do cafeeiro já havia se disseminado por quase todos os países produtores de café da América Latina (SCHIEBER; ZENTMYER, 1982). Acredita-se que os uredinósporos do fungo tenham sido trazidos para o hemisfério oeste por correntes de ventos vindas da Angola (BOWDEN; GREGORY; JOHNSON, 1971), ou introduzidos acidentalmente em plantas, bagagens ou roupas contaminadas (KUSHALAPPA, 1989).

H. vastatrix é classificado no filo Basidiomycota, subfilo Pucciniomycotinae, classe Pucciniomycetes, ordem Pucciniales e família Incertae sedis (“Index Fungorum”, 2019). Os fungos causadores de ferrugens produzem até cinco tipos de estruturas de frutificação, cada uma delas correspondendo a uma fase do ciclo de vida do patógeno (KOLMER et al., 2011). *H. vastatrix* é classificada como microcíclica, pois seu ciclo biológico apresenta apenas as fases de urédia, télia e basídia (COUTINHO; RIJKENBERG; VANASCH, 1995; FERNANDES; EVANS; BARRETO, 2009).

Na fase uredinial ocorre a produção dos uredósporos dicarióticos, que representam a fase repetitiva da ferrugem, responsáveis pelo aumento da doença em condições de ambiente favoráveis (AGRIOS, 2005). Os teliósporos são formados ocasionalmente, aparecendo excepcionalmente em condições de chuva moderada e baixas temperaturas (COUTINHO; RIJKENBERG; VANASCH, 1995; FERNANDES; EVANS; BARRETO, 2009).

Nos teliósporos ocorre a cariogamia, e o núcleo diploide migra para o promicélio, onde a meiose é completada. Em seguida, ocorre a formação de quatro células no promicélio, cada uma sustentando terminalmente um basidiósporo. O núcleo haploide de cada célula do promicélio migra para dentro dos basidiósporos (VISHVESHWAEA; NAG RAJ, 1960).

Todas as tentativas envolvendo inoculação de cafeeiros com basidiósporos não resultaram em infecção, e nenhum hospedeiro alternativo suscetível para esse tipo de propágulo sustentou as fases de pínio e écio no ciclo de vida da ferrugem do cafeeiro (GOPALKRISNAN, 1951). Teoricamente, *H. vastatrix* seria um fungo estritamente clonal, pois as combinações alélicas formadas durante a meiose, por recombinação gênica, não se estabelecem na população do patógeno, uma vez que os basidiósporos não são infectivos.

No entanto, estudos sobre o comportamento nuclear, realizados na década de 1960, levantaram a possibilidade de ocorrência da cariogamia e meiose nos uredósporos (RAJENDREN, 1967). Esse fenômeno, que faz com que os uredósporos se comportem geneticamente como teliósporos, levou Rajendren (1967) a denominar o uredósporo de *H. vastatrix* como teliósporos-uredinioide, e esse fenômeno ficou conhecido como “fenômeno Kamat”.

Apesar de muitos pesquisadores terem ignorado essa descoberta por vários anos, um estudo, no Brasil, sobre citometria de imagem do conteúdo de DNA revelou a presença de um tipo inédito de reprodução sexual oculta dentro dos esporos assexuais

de *H. vastatrix*, o que comprova a hipótese de que a cariogamia, seguida de haploidização, pode ocorrer nos uredósporos, sendo esse evento denominado de criptossexualidade (CARVALHO et al., 2011). Segundo os autores, esse tipo de reprodução poderia explicar o surgimento frequente e rápido de novas raças fisiológicas de *H. vastatrix*.

3. REFERÊNCIA

AGRIOS, G. N. **Plant pathology**. 5th ed. New York: Elsevier Academic Press, 2005. 922 p.

AVELINO, J. et al. La Roya Anaranjada del Cafeto: mito y realidad. In: BERTRAND, B.; RAPIDEL, B. (Ed.). **Desafios de la caficultura en centroamerica**. San José: IICA, PROMECAFE, CIRAD, IRD, CCCR, 1999. p. 193-242.

AVELINO, J. et al. The coffee rust crises in Colombia and Central America (2008-2013): impacts, plausible causes and proposed solutions. **Food Sec.**, v. 7, n. 2, p. 303-321, 2015.

BOWDEN, J.; GREGORY, P. H.; JOHNSON, C. G. Possible wind transport of coffee leaf rust across the atlantic ocean. **Nature**, v. 229, n. 5285, p. 500-501, fev. 1971.

CAPUCHO, A. S. et al. Germinação e infecção da ferrugem em cafeeiro conilon sob diferentes temperaturas e molhamentos foliares: In SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 7., Araxá. **Resumos**. Araxá, MG: 2011.

CARVALHO, A. et al. Bredding programs. In: **Coffee rust: epidemiology, resistance, and management**. Boca Raton, Florida: CRC Press, Inc., 1989. p. 293-345.

CARVALHO, C. R. et al. Cryptosexuality and the genetic diversity paradox in coffee rust, *Hemileia vastatrix*. **PLoS ONE**, p. 6, 2011.

CHAVES, G. M. et al. A ferrugem do cafeeiro (*Hemileia vastatrix* Berk Br.). **Seiva**, v. 30, p. 1-76, 1970.

CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira**. Brasília, DF: Disponível em: <<http://conab.gov.br>>. Acesso em: 19 maio 2018.

COUTINHO, T. A.; RIJKENBERG, F. H. J.; VANASCH, M. A. J. Teliospores of *Hemileia vastatrix*. **ScienceDirect**, v. 99, n. 8, p. 932-934, 1995.

FAZUOLI, L. C. et al. Cultivares de café arábica (*Coffea arabica* L.). In: CARVALHO, C. H. S. de (Ed.). **Cultivares de café**. Brasília: p. 125–198.

FERNANDES, R. D. C.; EVANS, H. C.; BARRETO, R. W. Confirmation of the occurrence of teliospores of *Hemileia vastatrix* in Brazil with observations on their

- mode of germination. **Plant Pathology**, v. 34, n. 2, p. 108–113, 2009.
- GOPALKRISNAN, K. S. Notes on the morphology of the Genus *Hemileia*. **Mycologia**, v. 43, n. 3, 1951.
- HOFFMAN, J. **The world atlas of coffee: from beans to brewing -- coffees explored, explained and enjoyed**. 2014. p. 272.
- ICO. **Annual Review**. Disponível em: <<http://www.ico.org/documents/cy2014-15/annual-review-2013-14-electronic-e.pdf>>. Acesso em: 28 nov. 2018.
- ICO - **Annual Review**, p. 50, 2017.
- ICO. **Relatório sobre o mercado de café**. maio 2018.
- IHCAFE. **Informe estadístico anual cosecha**. Tegucigalpa 2012-2013.
- INDEX Fungorum. Disponível em: <<http://www.indexfungorum.org/Names/NamesRecord.asp?RecordID=16158>>. Acesso em: 6 jun. 2019.
- KOLMER, J. A. et al. Genetic differentiation of *Puccinia triticina* populations in the Middle East and genetic similarity with populations in Central Asia. **Phytopathology**, v. 101, n. 7, p. 870-877, 2011.
- KUSHALAPPA, A. C. Introduction. In: KUSHALAPPA, A. C.; ESKES, A. B. (Ed.). **Coffee rust: epidemiology, resistance, and management**. Boca Raton, Florida: CRC Press, Inc., 1989. p. 12.
- McCAIN J. W.; HENNEN, J. F. Development of the uredinial thallus and sorus in the orange coffee rust fungus, *Hemileia vastatrix*. **Phytopathology**, v. 74, p. 714-721, 1984.
- McCOOK, S. Global rust belt: *Hemileia vastatrix* and the ecological integration of world coffee production since 1850. **Journal of Global History**, v. 1, n. 2, p. 177-195, 2006.
- PEREIRA, A. A. et al. Identification and use of sources of durable resistance to coffee leaf rust in the UFV, EPAMIG breeding program. In: ZAMBOLIM, L.; ZAMBOLIM, E. M.; VÁRZEA, V. M. P. (Ed.). **Durable resistance to coffee leaf rust**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2005. p. 215-232.

RAJENDREN, R. B. New type of nuclear life cycle in *Hemileia vastatrix*. **Nature**, v. 213, p. 105-106, 1967.

RODRIGUES, C. J.; BETTENCOURT, A. J.; RIJO, L. Races of the Pathogen and Resistance to Coffee Rust. **Annual Review of Phytopathology**, v. 13, n. 1, p. 49-70, 1975.

RODRIGUES JR, C. J. Coffee rust: history, taxonomy, morphology, distribution and host resistance. **Fitopatologia Brasileira**, p. 5-9, 1990.

SCHIEBER, E.; ZENTMYER, G. A. Distribution and spread of coffee rust in Latin America. In: FULTON, R. H. (Ed.). **Coffee rust in the Americas**. St. Paul: The American Phytopathological Society, 1982. p. 120.

SERA, T. et al. Coffee breeding for durable resistance to leaf rust disease at Instituto Agronômico de Paraná. In: ZAMBOLIM, Laercio; ZAMBOLIM, Eunice Maciel; VÁRZEA, Vitor Manuel Pinto (Ed.). **Durable resistance to coffee leaf rust**. Viçosa, MG: UFV, 2005. p. 187-214.

TALHINHAS, P. et al. Overview of the functional virulent genome of the coffee leaf rust pathogen *Hemileia vastatrix* with an emphasis on early stages of infection. **Frontiers in plant science**, v. 5, p. 88, 2014.

TONIUTTI, L. et al. Influence of environmental conditions and genetic background of arabica coffee (*C. arabica* L) on leaf rust (*Hemileia vastatrix*) pathogenesis. **Frontiers in Plant Science**, v. 8, November 2017.

VÁRZEA, V. M. P.; MARQUES, D. V. Population variability of *Hemileia vastatrix* vs. coffee durable resistance. In: ZAMBOLIM, L.; ZAMBOLIM, E. M.; VÁRZEA, V. M. P. (Ed.). **Durable resistance to coffee leaf rust**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2005. p. 53-74.

VISHVESHWAEEA, S.; NAG RAJ, T. R. Nuclear status in basidiospores of *Hemileia vastatrix* Berk. Br. **Indian coffee**, v. 24, n. 3, p. 118-119, 1960.

ZAMBOLIM, L. et al. Physiological races of *Hemileia vastatrix* Berk. et Br. in Brazil-Physiological variability, current situation future prospects. In: ZAMBOLIM, L.; ZAMBOLIM, E. M.; VÁRZEA, V. M. P. (Ed.). **Durable resistance to coffee leaf rust**.

Viçosa, MG: UFV, 2005. p. 53-74.

ZAMBOLIM, L. Current status and management of coffee leaf rust in Brazil. **Tropical Plant Pathology**, v. 41, n. 1, p. 1-8, 2016.

ZAMBOLIM, L.; CAIXETA, E. T. Ferrugem. In: ZAMBOLIM, L.; BRENES, B. M. (Ed.). **Doenças no café no Brasil - enfermedades del café en Central America**. Viçosa, MG.: Universidade Federal de Viçosa, 2018. p. 17-45.

CAPÍTULO I
AVALIAÇÃO FENOTÍPICA DOS ACESSOS DERIVADOS DE
HÍBRIDOS DE TIMOR

1. INTRODUÇÃO

Na safra 2017/18, a produção mundial de café foi de 164,8 milhões de sacas de 60 kg de café beneficiado (ICO, 2018). O Brasil continua em destaque como maior produtor de café no mundo, com produção recorde de 59,9 milhões de sacas, apresentando crescimento de 33,2% em relação à safra 2016/2017. A área total em produção é de 2.156,5 mil hectares (CONAB, 2018).

O consumo mundial de café em 2017/18 aumentou 1,8%, atingindo 162,2 milhões de sacas, sendo excedido pela produção em 2,58 milhões. A produção excedida contribuiu para os preços baixos da temporada. De acordo com a OIC, o preço caiu para 98,17 centavos de dólar americano por 0,5 kg em setembro de 2018 (ICO, 2018).

O café é a principal fonte de renda para mais de 100 milhões de pessoas no mundo e crucial para a economia de mais de 60 países. Por esse motivo, é considerado a mais importante commodity agrícola no mundo, movimentando a sua produção um valor estimado de 70 bilhões de dólares (HOFFMAN, 2014; ICO, 2017).

A produção de café arábica (*Coffea arabica*), além do problema com os baixos preços nos últimos cinco anos, é severamente limitada pela principal doença que afeta a cultura, a ferrugem do cafeeiro, ocasionada pelo fungo biotrófico *Hemileia vastatrix*, que provoca perdas de uns dois bilhões de dólares por ano (McCOOK, 2006).

Na atualidade, a principal estratégia para o controle da ferrugem é o uso de fungicida. Entretanto, o desenvolvimento de variedades resistentes é o melhor método de controle, pois é econômico, eficiente e não causa danos ao meio ambiente (ZAMBOLIM et al., 2005).

Após a introdução do café no século XVIII no Brasil, e posteriormente de outras cultivares de *Coffea arabica*, iniciou-se o melhoramento em 1933, no Instituto Agrônomo de Campinas (IAC) (CARVALHO et al., 1989).

No Brasil, além do IAC, também existem outros centros envolvidos no melhoramento genético do cafeeiro, como o Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR), a Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG) em parceria com a Universidade Federal de Viçosa (UFV), a Universidade Federal de Lavras (UFLA) e a

Embrapa Café. Todos eles visam a obtenção de variedades com resistência à ferrugem, alta produtividade e boa qualidade de bebida (FAZUOLI et al., 2007; PEREIRA et al., 2005; SERA et al., 2005).

No caso do programa de melhoramento em café da UFV/EPAMIG, iniciou-se em 1970 com a introdução de germoplasmas provenientes do Centro Investigações de Ferrugem do Cafeeiro (CIFC), em Portugal, do Centro Nacional de Investigações do Café (CENICAFE), na Colômbia, do Instituto Internacional de Ciências Agrícolas (IICA), na Costa Rica, e do IAC, no Brasil. Cerca de 450 acessos com grande variabilidade genética foram introduzidos, os quais apresentavam genes de resistência aos fungos *Hemileia vastatrix* e *Colletotrichum kahawae* e ao nematoide *Meloidogyne exigua* (PEREIRA et al., 2005).

As principais introduções incluíram materiais genéticos das seleções de Híbrido de Timor (HDT) e também vários cruzamentos e retrocruzamentos nas gerações F1, F2 e F3. Os descendentes obtidos a partir do cruzamento entre *Coffea arabica* cultivar Caturra Vermelho CIFC 19/1 e HDT CIFC 832/1 foram denominados de Catimores; do cruzamento entre *Coffea arabica* cultivar Villa Sarchi CIFC 971/10 e HDT CIFC 832/2, como Sarchimores; do cruzamento entre Catuaí Amarelo CIFC 2482/20 e Catimor CIFC HW 26/13, de Cavimor; do retrocruzamento entre o híbrido Sarchimor CIFC H 361/4 e Caturra Amarelo CIFC 1637/56, de Cachimor; do cruzamento entre Caturra Vermelho CIFC 19/1 e S 795 CIFC 1344/19, de Catindu; do cruzamento entre Blue Mountain CIFC 187/8 e HDT CIFC 832/2, de Blumor; e do cruzamento entre os descendentes do híbrido CIFC H 275 (Caturra Vermelho CIFC 19/1 e S 795 CIFC 1344/19), de Catiafa (PEREIRA et al., 2005).

As introduções foram feitas por meio de propagação vegetativa, com amostras de sementes coletadas no CIFC, Estação Experimental do Instituto de Investigação Agronômica de Angola (IIAA) e Estação Regional de Uige (ERU), do Instituto de Café de Angola (PEREIRA et al., 2005).

O banco de germoplasma da UFV vem sendo utilizado e, ao longo dos anos, tem sido valioso para os programas de melhoramento que visam a busca de variedades com resistência durável à ferrugem do cafeeiro. Alguns desses acessos genéticos já foram utilizados nos programas de melhoramento, porém não houve nenhuma caracterização fenotípica do germoplasma que forneceu genes de resistência à ferrugem. Diante desse

fato, o presente trabalho teve por objetivo avaliar fenotipicamente os acessos de Híbrido de Timor do banco de germoplasma de *Coffea sp.* da UFV.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Plantas de café de 133 acessos derivados do HDT (Tabela 1) foram estabelecidas no viveiro do Departamento de Fitopatologia da Universidade Federal de Viçosa, em 2013. Cada acesso apresentava duas plantas, que foram cultivadas em manilhas de 1,50 m de diâmetro e 0,40 m de profundidade. O espaçamento adotado foi de 2,0 x 1,2 m. Os tratamentos culturais foram irrigação por gotejo, controle de plantas daninhas e adubação (750 gramas de 20 - 5 - 20, em três aplicações).

Foram avaliadas 12 características: 1. Produção, foi obtida pelo peso em gramas de cada acesso avaliado (colheita realizada quando aproximadamente 70% dos frutos atingiram a fase de cereja; iniciou-se no mês de março de 2016); 2. Época de floração (tardia, nota 1 - até 25% da floração; nota 2 - média de 26-50%; nota 3 – precoce, mais de 51% de floração em toda a planta); 3. Severidade de ferrugem (*Hemileia vastatrix*) – escala 1 (lesões não esporuladas) a 4 (pústulas com intensa esporulação), segundo metodologia de Fazuoli (1991); 4. Severidade de mancha de olho pardo (*Cercospora coffeicola*) – escala 1 (pontuação marrom) a 5 (intensa seca de ramos e lesões esporuladas nas folhas e frutos), avaliada conforme Petek et al. (2007); 5. Vigor vegetativo (escala de 1 - baixo vigor a 10 - alto vigor), segundo Severino et al. (2002); 6. Infestação de bicho-mineiro (*Leucoptera coffeella*) – escala de 1 (folhas sem nenhuma lesão) a 9 (folhas com mais de três minas); 7. Seca de ponteiros, escala de 1 (ausência) a 9 (mais de 25% de seca de ponteiros em toda a planta); 8. Deficiência de magnésio, escala de 1 (nenhuma folha com deficiência) a 9 (mais de 25% das folhas da planta com deficiência de magnésio); 9. Deficiência de fósforo, escala de 1 (nenhuma folha com deficiência) a 9 (mais de 25% das folhas da planta com deficiência de fósforo); 10. Número de nós, no ramo do terço médio, na orientação este; 11. Altura da planta (medida pela distância, em metro, do nível do solo até o broto terminal, da haste principal); e 12. Diâmetro da copa (medido pela distância, em metro, a cerca de 1,0 m do solo de uma extremidade a outra da copa (FAZUOLI et al., 1994).

Os dados das características avaliadas foram coletados em 2016, e a produção, registrada nos anos 2015, 2016 e 2017.

Tabela 1 - Acessos de Híbrido de Timor utilizados para avaliação de características fenotípicas em campo

Genótipo	Origem	Genótipo	Origem	Genótipo	Origem	Genótipo	Origem
UFV 376-01	CIFC 2234	UFV 428-04	CIFC 1343/136	UFV 441-02	CIFC 2570	UFV 446-98	CIFC 2570
UFV 376-02	CIFC 2234	UFV 428-05	CIFC 1343/136	UFV 441-03	CIFC 2570	UFV 446-99	CIFC 2570
UFV 376-05	CIFC 2234	UFV 432-02	CIFC 2568	UFV 441-04	CIFC 2570	UFV 446-104	CIFC 2570
UFV 376-08	CIFC 2234	UFV 432-07	CIFC 2568	UFV 441-05	CIFC 2570	UFV 447-43	CIFC 2570
UFV 376-09	CIFC 2234	UFV 432-25	CIFC 2568	UFV 441-13	CIFC 2570	UFV 447-47	CIFC 2570
UFV 376-11	CIFC 2234	UFV 433-11	CIFC 2568	UFV 441-14	CIFC 2570	UFV 447-48	CIFC 2570
UFV 376-12	CIFC 2234	UFV 435-08	CIFC 2568	UFV 441-20	CIFC 2570	UFV 447-50	CIFC 2570
UFV 376-14	CIFC 2234	UFV 437-02	CIFC 2570	UFV 442-34	CIFC 2570	UFV 447-51	CIFC 2570
UFV 376-31	CIFC 2234	UFV 437-03	CIFC 2570	UFV 442-40	CIFC 2570	UFV 447-67	CIFC 2570
UFV 376-37	CIFC 2234	UFV 437-06	CIFC 2570	UFV 442-42	CIFC 2570	UFV 448-12	CIFC 2570
UFV 376-52	CIFC 2234	UFV 437-09	CIFC 2570	UFV 442-44	CIFC 2570	UFV 448-16	CIFC 2570
UFV 376-57	CIFC 2234	UFV 437-10	CIFC 2570	UFV 442-47	CIFC 2570	UFV 448-40	CIFC 2570
UFV 376-79	CIFC 2234	UFV 438-03	CIFC 2570	UFV 442-50	CIFC 2570	UFV 448-42	CIFC 2570
UFV 377-01	CIFC 2235	UFV 438-40	CIFC 2570	UFV 442-108	CIFC 2570	UFV 448-48	CIFC 2570
UFV 377-02	CIFC 2235	UFV 438-49	CIFC 2570	UFV 443-01	CIFC 2570	UFV 448-69	CIFC 2570
UFV 377-04	CIFC 2235	UFV 438-52	CIFC 2570	UFV 443-02	CIFC 2570	UFV 448-75	CIFC 2570
UFV 377-05	CIFC 2235	UFV 439-01	CIFC 2570	UFV 443-03	CIFC 2570	UFV 449-20	CIFC 2571
UFV 377-15	CIFC 2235	UFV 439-02	CIFC 2570	UFV 443-07	CIFC 2570	UFV 450-12	CIFC 2571
UFV 377-21	CIFC 2235	UFV 439-03	CIFC 2570	UFV 443-08	CIFC 2570	UFV 450-18	CIFC 2571
UFV 377-23	CIFC 2235	UFV 439-04	CIFC 2570	UFV 444-01	CIFC 2570	UFV 450-61	CIFC 2571
UFV 377-24	CIFC 2235	UFV 439-05	CIFC 2570	UFV 444-02	CIFC 2570	UFV 450-63	CIFC 2571
UFV 377-51	CIFC 2235	UFV 439-11	CIFC 2570	UFV 444-04	CIFC 2570	UFV 450-65	CIFC 2571
UFV 408-10	CIFC 1343/136	UFV 439-13	CIFC 2570	UFV 444-05	CIFC 2570	UFV 450-84	CIFC 2571
UFV 408-18	CIFC 1343/136	UFV 439-14	CIFC 2570	UFV 445-01	CIFC 2570	UFV 451-28	CIFC 2571
UFV 408-26	CIFC 1343/136	UFV 440-04	CIFC 2570	UFV 445-12	CIFC 2570	UFV 451-41	CIFC 2571
UFV 408-28	CIFC 1343/136	UFV 440-07	CIFC 2570	UFV 445-02	CIFC 2571	UFV 451-42	CIFC 2571
UFV 427-01	CIFC 1343/136	UFV 440-10	CIFC 2570	UFV 445-03	CIFC 2570	UFV 452-11 *	CIFC 2571
UFV 427-09	CIFC 1343/136	UFV 440-18	CIFC 2570	UFV 445-53	CIFC 2570	UFV 452-30	CIFC 2571
UFV 427-15	CIFC 1343/136	UFV 440-19	CIFC 2570	UFV 445-70	CIFC 2570	UFV 452-33	CIFC 2571
UFV 427-22	CIFC 1343/136	UFV 440-20	CIFC 2570	UFV 445-92	CIFC 2570	UFV 452-64	CIFC 2571
UFV 427-24	CIFC 1343/136	UFV 440-32	CIFC 2570	UFV 446-08	CIFC 2570	UFV 452-65	CIFC 2571
UFV 427-55	CIFC 1343/136	UFV 440-37	CIFC 2570	UFV 446-09	CIFC 2570	UFV 452-73	CIFC 2571
UFV 427-56	CIFC 1343/136	UFV 441-01	CIFC 2570	UFV 446-29	CIFC 2570	UFV 454-43 *	CIFC 2571
UFV 427-65	CIFC 1343/136						

* Híbrido de Timor

Análise estatística

Os resultados foram analisados com auxílio dos programas GENES (CRUZ, 2013, 2016) e (R CORE TEAM, 2019). Para efeito das análises estatísticas, foi considerada apenas a produção de 2016, pelo fato de que este ano foi de alta carga frutífera.

Na análise de agrupamento, foi utilizado o método unweighted pair-group method using arithmetic averages (UPGMA), mais conhecido como método da ligação média não ponderada entre grupos baseado na distância euclidiana, de acordo com o critério de Mojena (1977).

3. RESULTADOS

Foram obtidos dados das 12 características avaliadas nos 133 acessos derivados de Híbrido de Timor (HDT), pertencentes ao banco de germoplasma da UFV (Tabela 2).

Tabela 2 - Avaliação das características fenotípicas de 133 acessos derivados do Híbrido de Timor.

No. Acessos	Acessos	Pro (g)	Flor	Fer	Cer	Vig	BiM	Sep	DeM	DeF	NoN	Alt (m.)	DiC (m)
1	UFV 376-01	9740	1	1	2	7	2	1	1	2	14	1.87	1.95
2	UFV 376-02	6460	1	1	1	7	3	1	1	2	22	1.82	1.66
3	UFV 376-05	410	1	1	1	2	1	3	1	3	8	1.39	0.99
4	UFV 376-08	3480	2	1	2	5	2	4	1	1	10	1.68	1.23
5	UFV 376-09	6460	2	1	1	8	2	1	1	2	19	1.75	1.65
6	UFV 376-11	3960	3	1	1	8	1	1	1	1	19	1.90	1.57
7	UFV 376-12	6000	3	1	1	9	1	1	1	1	18	1.63	1.66
8	UFV 376-14	7240	3	1	1	8	1	1	1	2	18	2.09	2.22
9	UFV 376-31	-	3	1	1	3	2	1	1	1	3	1.45	1.22
10	UFV 376-37	6290	2	1	2	8	2	1	1	4	17	1.60	1.93
11	UFV 376-52	5000	3	1	1	7	3	1	1	1	23	2.02	1.90
12	UFV 376-57	2920	1	1	2	4	3	1	2	1	5	1.25	1.40
13	UFV 376-79	60	1	1	2	4	3	1	1	1	18	1.30	1.46
14	UFV 377-01	4310	3	1	1	8	3	1	1	1	15	1.90	1.76
15	UFV 377-02	3670	3	1	1	5	2	1	1	1	13	1.96	1.65
16	UFV 377-04	3260	1	1	1	6	3	1	1	1	21	1.84	2.08
17	UFV 377-05	8040	3	1	2	8	2	1	1	1	14	2.11	2.48
18	UFV 377-15	3520	3	2	2	8	2	1	1	2	17	2.05	1.80
19	UFV 377-21	4010	3	1	1	6	1	1	3	1	13	1.96	1.67
20	UFV 377-23	2780	1	2	2	5	2	2	1	1	18	2.15	2.30
21	UFV 377-24	5870	1	2	1	7	1	1	1	1	16	2.18	2.23
22	UFV 377-51	740	1	2	1	3	3	1	1	1	17	1.40	1.45
23	UFV 408-10	2660	2	4	2	6	2	1	2	1	12	1.79	2.03
24	UFV 408-18	3750	2	1	1	7	3	1	1	3	15	1.98	2.14
25	UFV 408-26	48	1	1	2	4	2	1	1	1	17	1.50	1.42
26	UFV 408-28	6390	3	2	1	7	1	1	1	1	19	2.13	1.90
27	UFV 427-01	2650	2	2	1	4	2	1	1	1	21	2.09	1.85
28	UFV 427-09	20	1	1	1	2	1	5	1	1	6	1.33	1.03
29	UFV 427-15	3230	1	1	1	2	2	5	1	1	10	1.11	0.85
30	UFV 427-22	3250	1	1	1	7	2	1	1	1	21	1.96	1.75
31	UFV 427-24	115	1	1	3	3	2	2	1	1	14	2.02	1.33
32	UFV 427-55	3210	1	1	2	6	3	1	2	2	20	1.63	1.69
33	UFV 427-56	1200	1	1	1	6	1	1	2	1	8	1.57	1.27
34	UFV 427-65	3770	2	1	1	7	3	1	1	2	22	1.87	2.15
35	UFV 428-04	122	1	1	1	5	2	1	1	1	15	1.99	1.63
36	UFV 428-05	1420	1	1	1	5	1	1	4	2	16	1.65	1.75
37	UFV 432-02	1860	1	4	1	5	2	1	1	1	12	1.70	1.51
38	UFV 432-07	1540	1	1	1	8	3	1	3	4	13	1.30	1.31
39	UFV 432-25	1210	1	1	2	4	2	4	1	2	12	1.17	1.42
40	UFV 433-11	360	1	1	2	4	3	1	2	2	10	0.99	1.30
41	UFV 435-08	2060	1	2	1	6	2	1	2	2	15	1.82	1.85
42	UFV 437-02	250	1	1	1	6	1	1	1	1	9	1.44	1.47
43	UFV 437-03	60	1	1	1	4	1	3	1	1	11	1.57	1.39
44	UFV 437-06	1130	1	1	1	6	2	1	2	1	20	1.76	1.99
45	UFV 437-09	550	1	1	1	5	1	1	1	1	17	1.71	1.79
46	UFV 437-10	1000	1	1	1	6	1	1	1	1	16	1.81	1.86
47	UFV 438-03	405	1	2	1	5	1	1	1	1	9	1.22	1.73
48	UFV 438-40	9190	1	2	1	8	3	1	2	1	11	2.20	1.87
49	UFV 438-49	730	1	1	1	5	1	1	3	1	18	1.97	1.75
50	UFV 438-52	700	1	2	1	7	2	1	1	1	13	1.53	1.44
51	UFV 439-01	920	1	2	1	6	1	1	2	1	18	1.65	1.81
52	UFV 439-02	5060	1	2	1	7	3	1	2	1	18	1.97	2.11
53	UFV 439-03	5042	2	2	1	7	2	2	2	1	10	2.03	1.80
54	UFV 439-04	640	1	2	1	5	2	1	1	1	17	2.02	2.09
55	UFV 439-05	10	1	1	1	4	2	2	1	1	7	1.09	0.95
56	UFV 439-11	6630	1	2	1	7	1	1	1	2	17	1.68	1.91
57	UFV 439-13	7690	1	1	1	7	3	1	2	2	20	2.22	2.53
58	UFV 439-14	840	1	2	1	5	1	1	2	2	14	1.75	1.70
59	UFV 440-40	3310	2	2	1	8	1	1	2	1	17	1.63	1.99
60	UFV 440-07	3220	2	1	1	7	1	1	2	1	20	2.10	1.97
61	UFV 440-10	5930	1	2	1	6	2	1	1	1	15	1.91	1.66
62	UFV 440-18	2360	1	1	1	5	2	2	2	1	16	1.97	1.87
63	UFV 440-19	1630	1	1	1	5	1	1	2	1	14	1.74	1.80
64	UFV 440-20	8010	1	1	1	8	2	1	1	1	16	1.80	2.42
65	UFV 440-32	450	1	1	1	5	1	1	1	1	16	1.46	1.43
66	UFV 440-37	2250	1	1	1	5	2	1	1	1	10	1.68	1.76
67	UFV 441-01	1120	1	1	1	5	1	1	2	1	9	1.25	1.48

Tabela 2 Continuação

No. Acessos	Acessos	Pro (g)	Flor	Fer	Cer	Vig	BiM	Sep	DeM	DeF	NoN	Alt (m.)	DiC (m)
68	UFV 441-02	13	1	1	1	4	1	1	1	1	7	1,24	0,99
69	UFV 441-03	4390	2	1	1	7	1	1	1	1	15	2,16	2,20
70	UFV 441-04	5270	1	1	1	8	1	2	1	1	16	2,20	2,26
71	UFV 441-05	4670	1	2	1	8	1	1	1	1	18	2,19	2,27
72	UFV 441-13	1450	1	1	1	6	1	1	2	2	18	1,82	1,69
73	UFV 441-14	6204	1	1	1	6	1	1	1	1	11	2,04	1,80
74	UFV 441-20	6430	1	2	1	7	2	1	2	1	15	1,83	1,94
75	UFV 442-34	7910	1	1	1	8	2	1	1	1	17	2,24	2,43
76	UFV 442-40	6790	1	1	1	7	1	1	1	1	17	2,04	2,07
77	UFV 442-42	6093	1	1	1	7	1	1	1	2	17	2,01	2,00
78	UFV 442-44	2000	1	2	1	4	2	1	1	1	12	1,97	1,90
79	UFV 442-47	2240	1	2	1	7	2	1	1	1	9	1,67	1,75
80	UFV 442-50	2310	1	2	1	3	2	4	1	1	11	2,14	1,83
81	UFV 442-108	3120	3	2	1	7	1	2	2	2	14	2,08	2,13
82	UFV 443-01	-	1	1	3	5	3	1	1	1	10	1,62	1,58
83	UFV 443-02	4050	1	1	1	6	1	1	1	1	8	1,83	1,58
84	UFV 443-03	950	1	2	1	4	2	2	1	1	13	1,60	1,60
85	UFV 443-07	50	1	2	1	6	1	1	1	1	7	1,51	1,10
86	UFV 443-08	1400	2	2	2	6	1	2	2	2	14	2,12	2,16
87	UFV 444-01	640	1	1	1	6	1	1	1	1	17	1,97	2,14
88	UFV 444-02	690	1	1	1	4	1	2	1	1	16	1,96	1,63
89	UFV 444-04	2260	1	1	1	7	2	1	1	1	14	1,57	1,56
90	UFV 444-05	390	3	1	1	6	1	1	1	1	4	1,16	1,07
91	UFV 445-01	1640	3	2	1	6	2	2	2	1	10	2,01	2,02
92	UFV 445-12	2800	2	2	1	5	1	1	1	1	14	1,62	1,55
93	UFV 445-02	3650	2	2	1	7	2	1	1	4	16	1,99	2,26
94	UFV 445-03	2100	2	2	1	5	1	1	1	1	15	1,77	1,41
95	UFV 445-53	280	2	2	1	4	2	1	1	1	13	1,68	1,52
96	UFV 445-70	4340	2	2	1	6	4	1	1	1	16	1,30	2,33
97	UFV 445-92	4830	2	1	1	7	1	2	1	1	16	2,10	2,16
98	UFV 446-08	4930	1	2	1	7	2	1	2	2	13	1,90	1,95
99	UFV 446-09	2910	1	2	1	5	1	1	2	2	12	2,02	1,88
100	UFV 446-29	1280	1	2	1	7	1	1	1	1	14	2,18	2,24
101	UFV 446-98	2790	1	2	1	6	2	2	1	1	15	2,10	2,29
102	UFV 446-99	11610	1	2	1	7	2	1	1	1	14	2,08	2,10
103	UFV 446-104	4860	2	2	1	7	2	1	1	1	10	2,04	2,02
104	UFV 446-109	3180	1	1	1	6	2	1	1	1	13	1,94	2,17
105	UFV 447-43	6450	1	2	1	7	2	1	1	1	12	2,10	2,09
106	UFV 447-47	830	1	1	1	5	1	1	1	2	9	1,70	1,38
107	UFV 447-48	2770	1	2	1	7	1	1	1	1	8	1,86	1,62
108	UFV 447-50	3180	1	2	1	8	1	1	1	1	14	2,20	2,15
109	UFV 447-51	1180	2	2	1	8	1	1	1	1	12	2,06	1,93
110	UFV 447-67	4600	1	1	1	8	1	1	1	2	14	1,89	1,59
111	UFV 448-12	1600	1	1	1	5	1	2	1	1	12	2,06	1,92
112	UFV 448-16	3820	1	1	1	5	1	1	1	2	11	1,39	1,80
113	UFV 448-40	1790	3	1	1	6	1	1	2	2	10	1,36	1,77
114	UFV 448-42	2740	1	2	1	8	2	1	2	2	13	1,96	2,29
115	UFV 448-48	4500	1	2	1	7	1	1	1	1	16	2,11	2,33
116	UFV 448-69	6260	1	1	1	7	2	1	2	1	7	2,20	2,18
117	UFV 448-75	330	1	2	1	8	1	1	1	2	14	2,03	1,86
118	UFV 449-20	7830	1	1	1	9	2	1	1	1	15	1,93	1,85
119	UFV 450-12	460	1	1	1	5	1	1	1	1	8	1,27	1,68
120	UFV 450-18	7010	3	1	1	9	2	1	1	1	19	1,44	1,66
121	UFV 450-61	3570	2	1	2	5	2	1	1	1	18	1,25	1,80
122	UFV 450-63	1930	1	1	1	6	1	1	1	1	11	1,37	1,28
123	UFV 450-84	6440	1	2	1	7	3	1	1	1	16	1,43	1,96
124	UFV 451-28	9430	1	2	1	8	3	1	1	3	14	1,82	2,16
125	UFV 451-41	4940	1	2	1	6	1	1	1	1	7	1,63	1,80
126	UFV 451-42	770	2	1	1	7	1	1	1	1	9	0,93	0,91
127	UFV 452-11	1950	2	1	1	6	1	1	1	1	8	1,91	1,98
128	UFV 452-30	800	2	2	1	7	2	1	1	1	15	2,01	2,60
129	UFV 452-33	4620	3	2	1	8	2	1	1	1	13	1,93	2,13
130	UFV 452-64	4150	1	2	1	8	2	1	1	1	11	1,45	1,75
131	UFV 452-65	200	1	1	1	5	1	2	2	1	8	2,06	0,98
132	UFV 452-73	350	1	1	1	6	1	2	1	1	13	2,01	1,72
133	UFV 454-43	4740	1	1	1	7	1	1	2	1	17	1,95	1,70

(-) plantas novas sem frutos.

Produção (peso em gramas) (Pro); Época de floração (Flor); Severidade de ferrugem (Fer); Severidade de Cercospora (Cer); Vigor (Vig); Infestação de bicho-mineiro (BiM); Seca de ponteiros (Sep); Deficiência de Magnésio (DeM); Deficiência de Fósforo (DeF); No. de nós, no ramo do terço médio na orientação este (NoN); Altura da planta (Alt); Diâmetro da copa (DC).

Das 12 características avaliadas, quatro são quantitativas (produção, n.º de nós, altura da planta e diâmetro de copa); as outras foram consideradas qualitativas. Foram obtidos gráficos da distribuição da frequência (Figuras 1 e 2), para cada uma das características qualitativas, e histogramas (Figura 3), para as características quantitativas.

Na Figura 1 é apresentada a distribuição de frequências das características: época de floração (Flor), severidade de ferrugem (Fer), severidade de mancha de olho pardo (*Cercospora coffeicola*) (Cer) e vigor (Vig). Observou-se que 67% dos acessos apresentaram floração tardia, 22%, média, e 11%, precoce (Figura 1a).

Com relação à severidade de ferrugem, todos os acessos foram resistentes, com exceção de dois deles, que apresentaram suscetibilidade (UFV 408-10 e UFV 432-02) (Figura 1b). Quanto à severidade da mancha de olho pardo (*Cercospora coffeicola*), 84,90% dos acessos apresentaram pontuação marrom (nota 1); 12,03%, algumas pontuações de cor marrom espalhadas pelas plantas e alguns sintomas nos frutos (nota 2); e 3,07% tinham sintomas nos frutos espalhados pela planta e algumas manchas grandes e negras chegando às bordas das folhas (nota 3) (Figura 1c). Para vigor, 5,26% dos acessos apresentaram vigor baixo, com notas entre 2 e 3; 49,62%, médio, com notas entre 4 e 6; e 45,10%, alto, com notas entre 7 e 90 (Figura 1d).

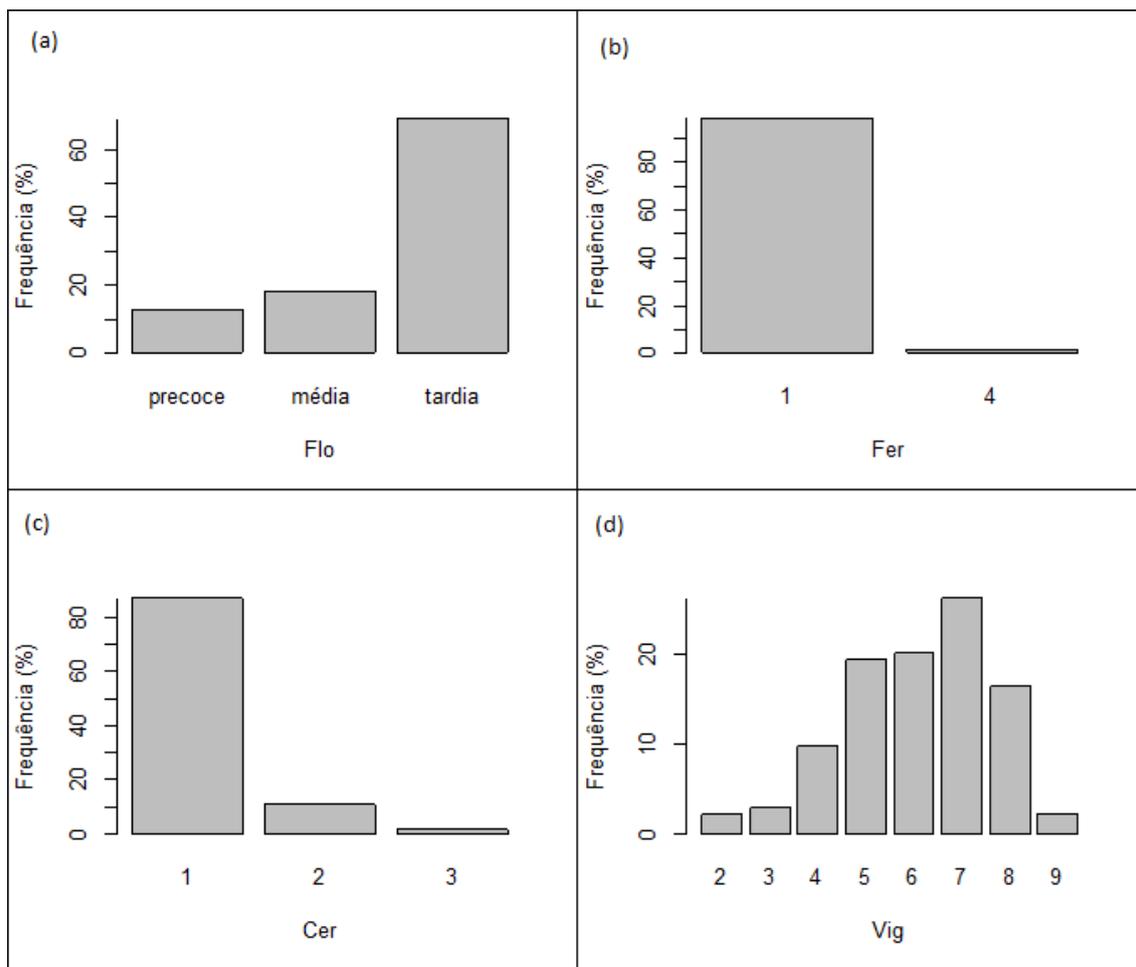


Figura 1 - Distribuição de frequência de (a) épocas de floração, (b) severidade de ferrugem, (c) severidade de mancha de olho pardo (*Cercospora coffeicola*) e (d) vigor, observada nos 133 acessos de Híbridos de Timor.

Na Figura 2 são apresentadas as distribuições de frequência das características: infestação de bicho-mineiro (Bim); seca de ponteiros (Sep); deficiência de magnésio (DeM) e deficiência de fósforo (DeF). Para infestação de bicho-mineiro (Figura 2a), os resultados indicaram que 47,36% dos acessos não apresentaram nenhuma folha com lesão; 37,59% tiveram uma mina; 13,53%, duas minas; e 1,50%, três a quatro minas nas folhas. Observou-se (Figura 2b) que 79,69% dos acessos apresentaram ausência de seca de ponteiros; 13,5%, de uma a duas secas de ponteiros; 1,5%, três a quatro; 3,8%, cinco a seis; e 1,5%, sete a dez.

Quanto à deficiência de magnésio, 72,93% dos acessos não apresentaram folhas com deficiência; 22,55%, de uma a duas folhas; 3,00%, três a quatro folhas; e 1,50%; cinco a dez folhas (Figura 2c). Para deficiência de fósforo, 75,18% dos acessos não apresentaram folhas com deficiência; 18,8%, de uma a duas folhas; 3,0%, de três a quatro folhas; e 3,0%, entre cinco e dez folhas (Figura 2d).

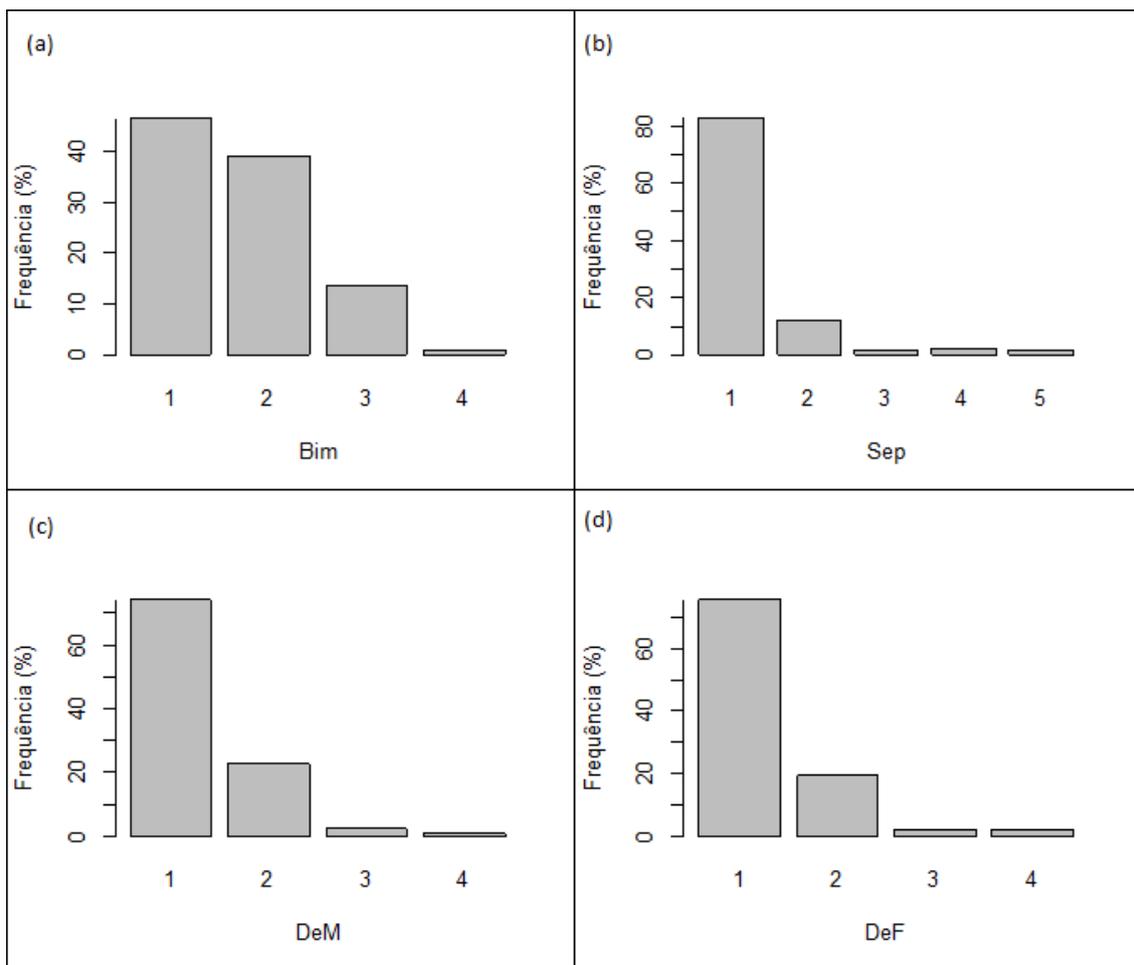


Figura 2 - Distribuição de frequência de (a) infestação de bicho-mineiro, (b) seca de ponteiros, (c) deficiência de magnésio e (d) deficiência de fósforo.

As distribuições de frequência das características produção (peso em gramas) (Pro), no. de nós no ramo do terço médio na orientação este (NoN), altura da planta (Alt) e diâmetro de copa (DC) são apresentadas na Figura 3. Observou-se que 27,00% dos acessos apresentaram produção entre 2 e 1.000 g; 13,53%, entre 1.001 e 2.000 g; e 3.001-4.000 g; 12,00%, entre 2.001 e 3.000 g; e 4.001-5.000 g; 4,51%, entre 5.001 e 6.000 g; 9,00%, entre 6.001 e 7.000 g; 3,80%, entre 7.001 e 8.000 g; 1,50%, entre 8.001 e 9.000 g; 2,25%, entre 9.001 e 10.000 g; e 0,75%, entre 11.001 e 2.000 g (Figura 3a).

Para altura da planta (Figura 3b), 29,32% dos acessos tiveram altura entre 1,81 e 2,00 m; 27,06%, entre 2,01 e 2,20; 17,29%, entre 1,61 e 1,80; 11,27%, entre 1,41 e 1,60; 10,52%, entre 1,21 e 1,40; 3,00%, entre 1,01 e 1,20; e 1,50%, entre 0,80 e 1,00 m.

Com relação ao número de nós, 19,54% dos acessos apresentaram entre 12,1 e 14 nós; 18,04%, entre 14,1 e 16; 17,29%, entre 16,1 e 18; 11,27%, entre 8,1 e 10;

10,1-12; 9,00%, entre 6,1 e 8; 6,01%, entre 18,1 e 20; 3,00%, entre 20,1 e 22; 1,50%, entre 2,1 e 4; 4,1-6 e 22,1-24 nós (Figura 3c).

Quanto ao diâmetro de copa (Figura 3d), 24,81% dos acessos apresentaram entre 1,61 e 1,80 m; 19,55%, entre 1,81 e 2,00; 19,55%, entre 1,81 e 2,00; 15,78%, entre 2,01 e 2,20; 8,27%, entre 2,21 e 2,40; 7,52%, entre 1,21 e 1,40; 4,51%, entre 0,80 e 1,00; 3,76%, entre 2,41 e 2,60; e 2,26%, entre 1,01 e 1,20 m.

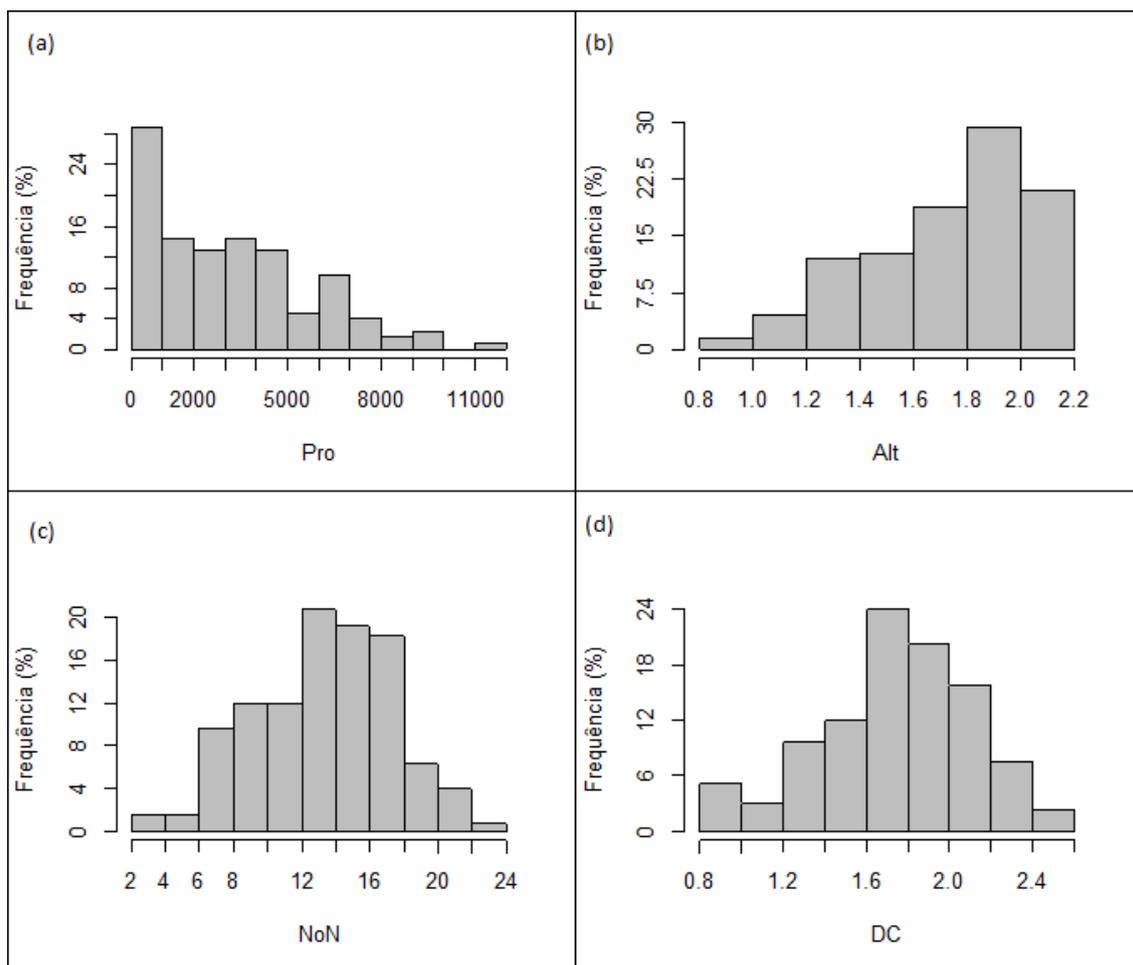


Figura 3 - Distribuição das frequências das características (a) produção (peso em gramas), (b) altura de planta (m), (c) número de nós no ramo do terço médio na orientação este e (d) diâmetro de copa (m).

Das características estudadas foram obtidas as suas medidas descritivas e os respectivos coeficientes de variação (Tabela 3).

Tabela 3 - Medidas descritivas das variáveis quantitativas no ano de 2016

Variável	Mínima	Máximo	Média	CV%	DP
Vigor	2.0	9.0	6.0	25.2	1.5
Época de floração	1.0	3.0	2.0	49.5	0.7
Incidência de Ferrugem	1.0	5.0	1.5	45.3	0.7
Incidência de Cercospora	1.0	3.0	1.1	34.3	0.4
Bicho-mineiro	1.0	4.0	1.7	43.5	0.7
Seca de Ponteiros	1.0	5.0	1.3	58.0	0.7
Deficiência de Magnésio	1.0	4.0	1.3	42.3	0.5
Deficiência de Fosforo	1.0	4.0	1.3	49.2	0.4
Altura da Planta	0.9	2.2	1.8	17.5	0.3
Diâmetro de Copa	0.8	2.6	1.8	20.6	0.4
Número de Nós	3.0	23.0	13.8	29.5	4.1
Produção	10.0	11610.0	3173.0	80.6	2556.0

As correlações fenotípicas positivas e de maior magnitude foram obtidas entre as características quantitativas (Figura 4) Pro e Vig (0,6236), Pro e DC (0,5169), Vig e DC (0,5481) e Alt e DC (0,6917). A característica Pro foi a que mais interagiu, além das já nomeadas; também foram obtidas correlações positivas entre as características Pro e Alt (0,408), Pro e NoN (0,3213), Pro e Bim (0,2365), Pro e DeF (0,133), Pro e DeF (0,133), Pro e Flo (0,1457) e Pro e Fer (0,0374). Contudo, foram obtidas também correlações negativas entre Pro e DeM (-0,0833), Pro e Sep (-0,1969) e Pro e Cer (-0,0814).

A característica Sep foi a que mostrou maior quantidade de correlações negativas: Sep e Flo (-0,0881), Sep e Vig (-0,4878), Sep e Alt (-0,1227), Sep e DC (-0,312), Sep e Fer (-0,104), Sep e NoN (-0,2466), Sep e Bim (-0,0602), Sep e DeF (-0,034) e Sep e DeM (-0,0904).

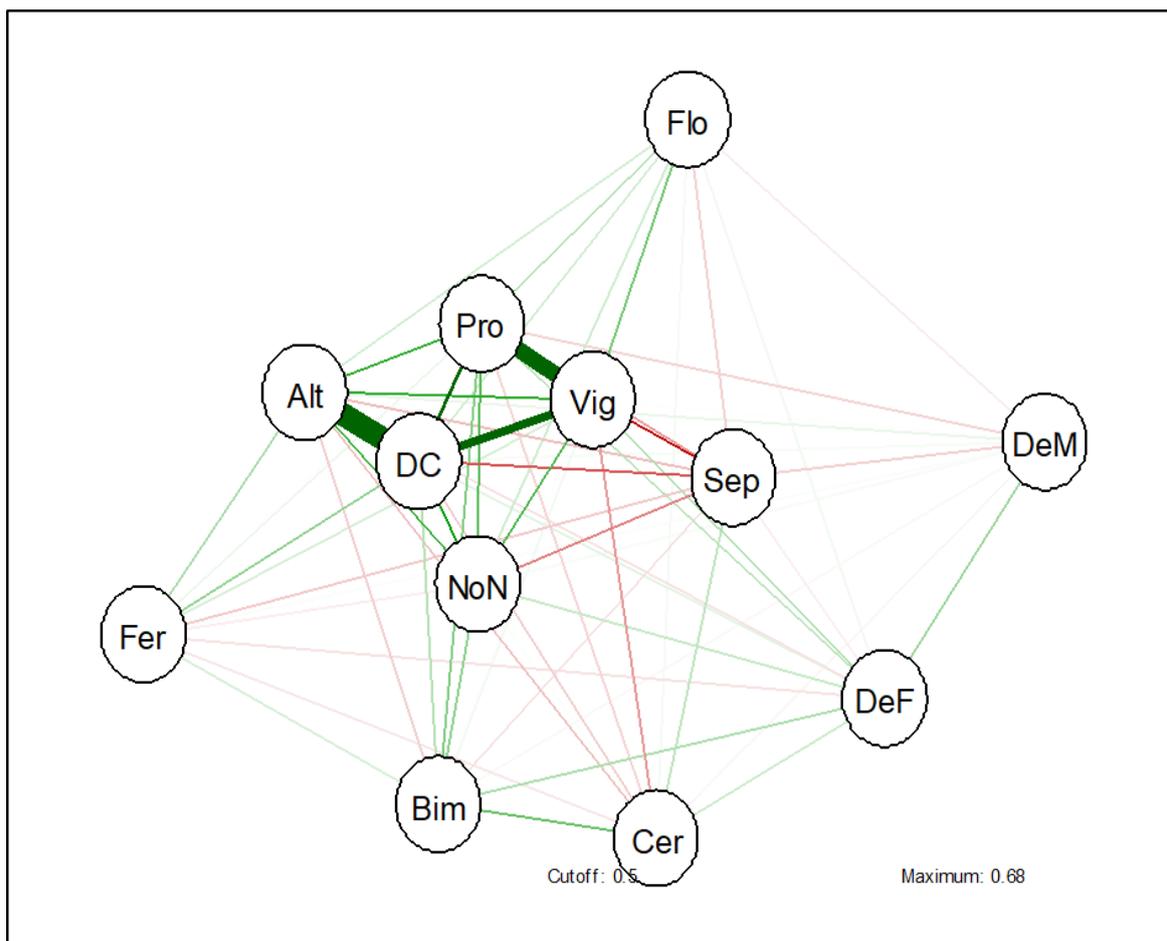


Figura 4 - Rede de correlações entre características fenotípicas em acessos de Híbridos de Timor. Linhas vermelhas e verdes representam correlações negativas e positivas, respectivamente. A largura da linha é proporcional à força da correlação. Descritores das plantas: produção, peso em gramas (Pro); época de floração (Flo); severidade de ferrugem (Fer); severidade de Cercospora (Cer); vigor (Vig); infestação de bichomineiro (Bim); seca de ponteiros (Sep); deficiência de magnésio (DeM); deficiência de fósforo (DeF); no. de nós (NoN); altura (Alt); e diâmetro de copa (DC).

Na análise de agrupamento, realizada pelo método UPGMA (Figura 5) e distância euclidiana, foi verificada a formação de 14 grupos distintos (Tabela 5), de acordo com o critério de Mojena (1977). Os grupos XIV e IX foram os que apresentaram maiores números de acessos de HDT, com 66,20% e 11,30%, respectivamente. Os grupos I, IV e VII foram formados somente por um indivíduo, sugerindo que os acessos pertencentes a esses grupos são os mais divergentes dentro da população de Híbridos de Timor.

Tabela 5 - Agrupamento de acessos derivados do Híbrido de Timor, segundo dendrograma baseado em UPGMA

Grupos	Acessos	Acessos	
		por grupo	Porcentagem
I	80 (UFV 442-50)	1	0,75
II	4 39 (UFV 376-08; Ufv 432-25)	2	1,50
III	3 28 29 (UFV 376-05;UFV 427-09;UFV 427-15)	3	2,25
IV	38 (UFV 432-07)	1	0,75
V	126 9 90 (UFV 451-42; Ufv 376-31; Ufv 444-05)	3	2,25
VI	23 37 (UFV 408-10; Ufv 432-02)	2	1,50
VII	96 (UFV 445-70)	1	0,75
VIII	10 93 5 24 34 (UFV 376-37; Ufv 445-02; Ufv 376-09; Ufv 408-18; Ufv 427-65)	5	3,75
IX	113 19 81 91 17 18 8 26 120 6 7 11 14 15 129 (UFV 448-10; Ufv 377-21; Ufv 442-108; Ufv 445-01; Ufv 377-05; Ufv 377-15; Ufv 376-14; Ufv 408-28; Ufv 450-18; Ufv 376-11; Ufv 376-12; Ufv 376-52; Ufv 377-01; Ufv 377-02; Ufv 452-33).	15	11,30
X	31 82 (UFV 427-24; Ufv 443-01)	2	1,50
XI	12 40 121 32 13 25 (UFV 376-57; Ufv 433-11; Ufv 450-11; Ufv 427-55; Ufv 376-09; Ufv 408-26)	6	4,50
XII	36 49 (UFV 428-05; Ufv 438-49)	2	1,50
XIII	20 86 (UFV 377-23; Ufv 443-08)	2	1,50
XIV	1 124 52 57 123 2 16 30 48 116 102 118 64 75 41 98 114 74 61 105 117 70 71 21 115 100 108 133 110 56 76 77 27 95 92 94 128 53 103 59 109 127 60 69 97 43 131 22 84 44 62 58 99 72 51 63 88 111 132 87 65 45 46 101 66 104 35 54 78 79 130 50 89 73 83 107 125 55 68 106 112 33 67 85 47 122 42 119 (UFV 376-01; Ufv 451-28; Ufv 439-02; Ufv 439-13; Ufv 450-84; Ufv 376-02; Ufv 377-04; Ufv 427-22; Ufv 438-40; Ufv 448-69; Ufv 446-99; Ufv 449-20; Ufv 440-20; Ufv 442-34; Ufv 435-08; Ufv 446-08; Ufv 448-41; Ufv 441-20; Ufv 440-10; Ufv 447-43; Ufv 448-75; Ufv 441-04; Ufv 441-05; Ufv 377-24; Ufv 448-48; Ufv 446-09; Ufv 447-50; Ufv 454-43; Ufv 447-67; Ufv 439-11; Ufv 442-40; Ufv 442-42; Ufv 427-01; Ufv 445-53; Ufv 445-12; Ufv 445-03; Ufv 452-30; Ufv 439-03; Ufv 446-104; Ufv 440-40; Ufv 447-51; Ufv 452-11; Ufv 440-07; Ufv 441-03; Ufv 445-92; Ufv 437-03; Ufv 452-65; Ufv 377-51; Ufv 443-03; Ufv 437-06; Ufv 440-18; Ufv 439-14; Ufv 446-09; Ufv 441-14; Ufv 439-01; Ufv 440-19; Ufv 444-02; Ufv 448-12; Ufv 452-73; Ufv 444-01; Ufv 440-32; Ufv 437-09; Ufv 437-10; Ufv 446-98; Ufv 440-37; Ufv 446-109; Ufv 428-04; Ufv 439-04; Ufv 442-44; Ufv 442-47; Ufv 452-64; Ufv 438-52; Ufv 444-04; Ufv 441-14; Ufv 443-02; Ufv 447-08; Ufv 451-41; Ufv 439-05; Ufv 441-02; Ufv 447-47; Ufv 448-16; Ufv 427-56; Ufv 441-01; Ufv 443-07; Ufv 438-03; Ufv 450-63; Ufv 437-02; Ufv 450-12.	88	66,20

O agrupamento dado pelo método UPGMA resultou em grau de distorção de 3,65% e coeficiente de estresse de 19,12%. Segundo Cruz, Medeiros e Alberto (2011), para que o agrupamento seja consistente, os valores de distorção e estresse devem ser inferiores a 20%.

4. DISCUSSÃO

Em geral, os coeficientes de variação obtidos foram baixos, com exceção das características seca de ponteiros e produção, as quais superaram 50%. Os 133 acessos derivados de Híbrido de Timor em estudo, são fenotípica e genotipicamente diferentes, 67% deles apresentaram época de floração tardia.

Observou-se que 98,50% dos acessos de banco de germoplasma mostraram resistência completa à ferrugem, não havendo, portanto, esporulação, e 1,50% foi suscetível. Apesar desses resultados, quando os HDTs foram inoculados com as raças II

(v 5) e XXXII (v 5,7 ou , v 5,7,9), foi verificado que todos apresentaram resistência à raça II, e somente 11 acessos foram suscetíveis à raça XXXIII (UFV376-01, Ufv376-02, Ufv 376-08, Ufv 376-09, Ufv 376-14, Ufv 376-37, Ufv 377-51, Ufv 408-10, Ufv 408-18, Ufv 432-30 e Ufv 445-70) (SILVA, 2013). Daí a necessidade do teste de inoculação, em condições controladas, para comprovar o tipo de resistência de germoplasmas, antes do processo de hibridação visando o melhoramento na resistência a patógenos.

Neste estudo, dos acessos suscetíveis à raça XXXIII, somente o Ufv 408-10 mostrou-se suscetível em campo. O acesso Ufv 432-02 que se mostrou suscetível à ferrugem em campo não foi suscetível à raça XXXIII em laboratório.

Para a mancha de olho pardo causada por *Cercospora coffeicola*, também se encontrou que a maioria do germoplasma se mostrou resistente à doença. Cerca de 86,5% do germoplasma apresentou nota 1, e 12,0%, nota 2, significando resistência à doença, perfazendo um total de 98,5%. Entretanto, apesar de a grande maioria ser resistente a *C. coffeicola*, não quer dizer que tais acessos apresentam resistência completa ao fungo. Inúmeros fatores influenciam a severidade da mancha de olho pardo, como a nutrição e insolação (POZZA; POZZA; PRIETO, 2001).

O vigor variou de 2,0 a 9,0, com média de 6,0; 65,6% dos acessos apresentaram vigor acima da escala 6, indicando que, em geral, os acessos tiveram bom vigor vegetativo.

A grande maioria dos acessos foram resistentes ao bicho-mineiro (*Leucoptera coffeella*). Cerca de 50% deles apresentaram nota 1 e 39%, nota 2, perfazendo um total de 89%. A nota 3 foi registrada em 10,5% do germoplasma. Aqui também não se trata de resistência genética dos acessos ao bicho-mineiro. De acordo com a literatura, as fontes de resistência ao bicho-mineiro são oriundas de *C. eugenioides*, *C. dewevrei*, *C. racemosa*, *C. liberica* e *C. kapakata*, que apresentam reduzida porcentagem de folhas atacadas, e *C. stenophylla*, praticamente imune (MEDINA; CARVALHO; MONACO, 1977).

A seca de ponteiros do cafeeiro, conhecida mundialmente como dieback, é um distúrbio fisiopatogênico que ocorre comumente nas lavouras cafeeiras do Brasil e de outros países produtores de café. É causada, em lavouras adultas, por carência

nutricional de nitrogênio ou de potássio e, em lavouras novas, por vento frio, que provoca injúria a folhas e ramos, com conseqüente ataque de patógenos (FIGUEIREDO et al., 1981).

Na década de 1970, o Catimor 1359 apresentava resistência completa à ferrugem do cafeeiro e alta produtividade. Entretanto, da quarta para a quinta colheita, as plantas apresentavam depauperamento severo, com seca dos ramos, atingindo quase 60% do total por planta (comunicação pessoal, professor Laércio Zambolim, 2018). Deficiências de magnésio e fósforo foram observadas em inúmeros acessos.

A altura da planta variou de 0,8 a 2,2 m, com média de 1,5 m, e 73,67% dos acessos apresentaram altura acima da média. O diâmetro de copa variou de 0,8 a 2,6 m, com média de 1,80 m; 47,36% dos acessos apresentaram diâmetro de copa acima da média. O número de nós variou de 2 a 24, com média de 13, e 45,84% dos acessos mostraram número de nós acima da média.

A produção variou de 10 a 11.000 gramas, com média de 3.173 gramas; cerca de 53% dos acessos produziram abaixo da média, e o restante (47%), acima da média.

A característica agrônômica produção de café apresentou correlação alta com o vigor vegetativo (0,6235) e diâmetro de copa (0,5169), indicando que os acessos com maior vigor e maior diâmetro de copa tendem a ser mais produtivos. Esses resultados foram similares aos obtidos por Severino et al. (2008). Isso é explicado pelo fato de que o vigor vegetativo está entre as características de uso mais frequente para estimação da capacidade produtiva de cafeeiros (FAZUOLI, 1977; SILVAROLLA et al., 1997).

O diâmetro de copa, característica altamente relacionada com a produção, apresentou a maior correlação com a altura da planta (0,6917) e o vigor (0,5481), indicando que os acessos mais altos e com maior vigor tendem a apresentar maior diâmetro de copa.

Alguns dos acessos do banco de germoplasma já foram utilizados no passado em programas de melhoramento genético de café (UFV 376-31; UFRV 427-01; UFRV 427-15; UFRV 443-03; UFRV 445-46; UFRV 446-08; UFRV 450-63; UFRV 452-11; UFRV 454-43; UFRV 457-13) (DIOLA et al., 2013; MIRANDA; PERECIN; PEREIRA, 2008; PESTANA et al., 2015; SOBREIRA et al., 2015; VIANA et al., 2018). Esses acessos

pertencem aos grupos III, V e XIV no dendrograma obtido neste estudo. Essa descoberta é muito importante, pois evidencia que os acessos presentes nos outros 11 grupos ainda não foram explorados, e a maioria desses grupos apresentou acessos com maior divergência.

5. CONCLUSÕES

Das 12 variáveis estudadas, as quatro consideradas quantitativas foram as que mostraram correlações maiores que 50%.

Dos 133 acessos em estudo, somente dois (UFV 408-10 e UFV 432-02) apresentaram suscetibilidade à ferrugem em campo.

De acordo com redes de correlação, o vigor vegetativo é bom critério de avaliação do potencial produtivo dos acessos derivados de Híbridos de Timor.

Com base no método de agrupamento UPGMA, que utiliza a distância euclidiana, e de acordo com o critério de Mojena, foi possível a formação de 14 grupos distintos. Os grupos XIV e IX foram os mais numerosos, com 66,20% e 11,30%, respectivamente.

Os grupos I, IV e VII foram formados somente por um acesso, sugerindo que os acessos pertencentes a esses grupos sejam os mais divergentes dentro da população de Híbridos de Timor.

6. REFERÊNCIAS

- CARVALHO, A. et al. Breeding programs. In: KUSHALAPPA, A. C.; ESKES, A. B. **Coffee rust: epidemiology, resistance, and management**. Boca Raton, Florida: CRC Press, Inc., 1989. 345 p.
- CONAB. Acompanhamento da safra brasileira. Brasília, DF. Disponível em: <<http://conab.gov.br>>. Acesso em: 19 maio 2018.
- CRUZ, C. D. A software package for analysis in experimental statistic and quantitative genetics. **Acta Scientiarum**, v. 35, n. 3, p. 271-276, 2013.
- CRUZ, C. D. Genes software. **Acta Scientiarum**, v. 38, n. 4, p. 547-552, 2016.
- CRUZ, C. D.; MEDEIROS, F.; ALBERTO, L. P. **Biometria aplicada ao estudo da diversidade genética**. Viçosa: 2011. 620 p.
- SILVA, R. A. **Caracterização de raças fisiológicas e análise de proteínas candidatas a efetoras em população de Hemileia vastatrix no Brasil**. 2013. 75 f. Tese (Doutorado em Fitopatologia – Universidade Federal de Viçosa, 2013
- DIOLA, V. et al. A new set of differentially expressed signaling genes is early expressed in coffee leaf rust race II incompatible interaction. **Funct Integr Genomics**, p. 379-389, 2013.
- FAZUOLI, L. C. **Avaliação de progênies de café Mundo Novo (Coffea arabica L.)**. Sao Paulo, SP: Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 1977.
- FAZUOLI, L. C. **Metodologias, critérios e resultados da seleção em progênies do café Icatu com resistência a Hemileia vastatrix**. 1991. 322 f. Tese (Doutorado em Biologia) – Universidad Estadual de Campinas, 1991.
- FAZUOLI, L. C. et al. **Descritores mínimos para o registro institucional de cultivares: café**. Campinas: Instituto Agronômico, 1994.
- FAZUOLI, L. C. et al. A ferrugem alaranjada do cafeeiro e a obtenção de cultivares resistentes. **O Agrônomo**, Campinas, v. 59, n. 1, 2007.
- FIGUEIREDO, P. et al. Controle da “seca do ponteiro” do cafeeiro ‘catuai’ por fungicida, quebra-vento e adubação NK, avaliado pela produção de grãos **Bragantia**, n.

8, p. 205-209, set. 1981.

HOFFMAN, J. **The world atlas of coffee: from beans to brewing -- coffees explored, explained and enjoyed.** 2014. 272 p.

ICO. **Annual review.** 2017. p. 50.

ICO. **Relatório sobre o mercado de café - setembro 2018.** Disponível em: <www.ico.org>. Acesso em: 12 out. 2018.

MCCOOK, S. Global rust belt: *Hemileia vastatrix* and the ecological integration of world coffee production since 1850. **Journal of Global History**, v. 1, n. 2, p. 177-195, 2006.

MEDINA, H. P.; CARVALHO, A.; MONACO, L. C. Melhoramento do cafeeiro XXXVII — observações sobre a resistência do cafeeiro ao bicho-mineiro. **Bragantia**, v. 36, n. 11, p. 131-137, 1977.

MIRANDA, J. M.; PERECIN, D.; PEREIRA, A. A. Produtividade e resistência à ferrugem do cafeeiro (*Hemileia vastatrix* Berk. et Br.) de progênies F5 de Catuí Amarelo com o híbrido de timor. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 29, n. 6, p. 1195-1200, 2008.

MOJENA, R. Hierarchical grouping methods and stopping rules: an evaluation. **The Computer Journal**, v. 20, n. 4, p. 359-363, 1977.

PEREIRA, A. A.; OLIVEIRA, A.C.B.; SAKIYAMA, N.S. Híbrido de Timor como fonte de resistência a doenças e de qualidade da bebida do cafeeiro. In: **Manejo fitossanitário da cultura do cafeeiro.** Brasília DF: Sociedade Brasileira de Fitopatologia, 2008

PEREIRA, A. A. et al. Identification and use of sources of durable resistance to coffee leaf rust in the UFV EPAMIG breeding program. In: ZAMBOLIM, L.; ZAMBOLIM, E. M.; VÁRZEA, V. M. P. (Ed.). **Durable resistance to coffee leaf rust.** Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2005. p. 215-232.

PESTANA, K. N. et al. Inheritance study and linkage mapping of resistance loci to *Hemileia vastatrix* in Híbrido de Timor UFV 443-03. **Tree Genetics and Genomes**, v. 11, n. 4, 2015.

PETEK, M. R. et al. Correlações e análise de trilha entre reação à cercosporiose e outras variáveis em progênies de café arábica In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 50., 2007. **Anais**. Águas de Lindóia: 2007 Disponível em: <http://www.sapc.embrapa.br/arquivos/consorcio/spcb_anais/simposio5/p269.pdf>. Acesso em: 22 maio 2018.

POZZA, Adélia A. A.; POZZA, E.; PRIETO, M. H. E. Influência da nutrição mineral na intensidade da mancha-de-olho- pardo em mudas de cafeeiro. **Pesq. Agropec. Bras.**, Brasília, v. 36, n. 1, p. 53-60, May 2014.

R CORE TEAM. **A language and environment for statistical computing**. 2019. Disponível em: <<https://www.gnu.org/copyleft/gpl.html>>. Acesso em: 10 jun. 2019

SERA, T. et al. Coffee breeding for durable resistance to leaf rust disease at Instituto Agronômico de Paraná. In: ZAMBOLIM, L., ZAMBOLIM, E. M., VÁRZEA, V. M. P (Ed.). **Durable resistance to coffee leaf rust**. Viçosa, MG: UFV 2005. p. 187-214.

SEVERINO, L. S. et al. Eficiência dos descritores de cafeeiros (*Coffea arabica* L.) na discriminação de linhagens de “Catimor”. **Maringá**, v. v. 24, n. n. 5, p. 1487-1492, 2002.

SEVERINO, L. S. et al. Associações da produtividade com outras características agronômicas de café (*Coffea arabica* L. “Catimor”). **Acta Scientiarum Agronomy**, n. April, p. 1467-1471, 2008.

SILVAROLLA, M. B. et al. Avaliação de progênies derivadas do híbrido de timor com resistência ao agente da ferrugem. **Bragantia**, v. 56, n. 1, p. 47-58, 1997.

SOBREIRA, F. M. et al. Potential of Híbrido de Timor germplasm and its derived progenies for coffee quality improvement. **AJCS**, v. 9, n. 4, p. 289-295, 2015.

VIANA, M. T. R. et al. Variabilidade genética em genótipos de café resistentes à ferrugem utilizados em programas de melhoramento **Sci. Agrar.**, Paraná, v. 17, n. 1, p. 80-89, 2018.

ZAMBOLIM, L. et al. Physiological races of *Hemileia vastatrix* Berk. et Br. in Brazil: physiological variability, current situation future prospects. In: ZAMBOLIM, L.; ZAMBOLIM, E. M.; VÁRZEA, V. M. P. (Ed.). **Durable resistance to coffee leaf rust**.

Viçosa, MG: UFV, 2005. p. 53-74.

CAPÍTULO II

Resistência genética à ferrugem, produtividade e teor de clorofila em genótipos de cafeeiro

1. INTRODUÇÃO

A ferrugem do cafeeiro, causada pelo fungo biotrófico *Hemileia vastatrix* Berk. & Br., é a doença mais importante tanto em café arábica (*Coffea arabica*) quanto em café canéfora (*C. canephora*). A doença encontra-se presente em todas as regiões produtoras de café no mundo (McCOOK; VANDERMEER, 2015). Em ataques severos, a doença pode provocar perdas na produção entre 35% e 50% na ausência de controle químico (ZAMBOLIM, 2016).

O emprego das cultivares resistentes, quando disponíveis, constitui a medida mais importante no controle da ferrugem tanto em café arábica quanto em robusta. Entretanto, as cultivares de café arábica mais plantadas no Brasil são na maioria suscetíveis à ferrugem, como: Mundo Novo (cruzamento natural entre Sumatra e Bourbon Vermelho), Acaiá e Acaiá Cerrado (seleção da cultivar Mundo Novo), Catuaí Vermelho e Catuaí Amarelo (cruzamento artificial entre Caturra Amarelo - C 476-11 e Mundo Novo CP 374-19), Rubi MG 1192 (originado do retrocruzamento da cultivar Catuaí Vermelho (Caturra x Mundo Novo) com o cultivar Mundo Novo) e Topázio MG 1190 (retrocruzamento de Catuaí Amarelo com Mundo Novo) (ZAMBOLIM, 2016).

Em 1917, na Ilha de Timor, na Ásia, em uma lavoura de *C. arabica* var. *typica*, foi descoberto o Híbrido de Timor (HDT). Esse híbrido é tetraploide, proveniente do cruzamento natural entre *C. arabica* (tetraploide) x *C. canephora* (diploide), (RODRIGUES JR; GONÇALVES; VARZEA, 2004). Pelo fato de o HDT ser um híbrido interespecífico, havia grande expectativa do seu emprego em programas de melhoramento genético. Os cafeeiros derivados do HDT apresentam grande heterogeneidade morfológica, produtiva e de resistência à ferrugem (RODRIGUES JR.; GONÇALVES; VÁRZEA, 2004). A partir dessa data, o Centro de Investigação das Ferrugens do Cafeeiro (CIFC), localizado em Oeiras, Portugal, passou a utilizar plantas do HDT em cruzamentos e retrocruzamentos com Caturra e Vila Sarchi, visando a incorporação de genes de resistência a *H. vastatrix*.

Na década de 1970, parte do material genético oriundo do cruzamento entre HDT e a cultivar Caturra foi enviada ao Departamento de Fitopatologia da Universidade Federal de Viçosa, para iniciar um programa de melhoramento, visando a resistência à ferrugem. Foram introduzidas cerca de 500 progênies de café oriundas de diversos países da América Central e do CIFC. Os trabalhos concentraram-se em seleção e

hibridação nas progênes derivadas de cruzamentos e retrocruzamentos do Híbrido de Timor com as variedades comerciais de *C. arabica* (Catuaí, Mundo Novo, etc.) (PEREIRA et al., 2008).

Em 1980, foi lançado um grupo de variedades denominado Catimor (população oriunda do cruzamento entre *Coffea arabica* variedade Caturra e HDT CIFIC 832/1). Posteriormente, foi lançado o grupo de variedades denominado Cavimor (cruzamento entre Catimor e Catuaí Vermelho) (ZAMBOLIM; CAIXETA, 2018). Em seguida, em cooperação com a Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (Epamig), foram lançadas mais de 20 cultivares resistentes à ferrugem do cafeeiro, sendo todas derivadas do cruzamento da variedade Caturra e Vila Sarchi com duas linhagens de Híbrido de Timor: 832/1 e 832/2 (PEREIRA et al., 2008).

Outras instituições de pesquisa brasileiras também lançaram variedades resistentes tendo como fonte de resistência o germoplasma de Híbrido de Timor e Icatu (cruzamento artificial entre *C. arabica* e *C. canefora*) (PEREIRA et al., 2008).

O CIFIC também enviou progênes oriundas do cruzamento entre o HDT e a variedade Caturra para outros países da América Latina e Central. Na Colômbia, o programa de melhoramento teve início na década da 1960, no Centro Nacional de Investigações do café (CENICAFE). Em 1980 foi liberada a cultivar Colômbia, que é constituída por diferentes progênes com resistência à ferrugem. Em 2005 foi lançada a cultivar Castillo, oriunda de seleção na cv. Colômbia (FLÓREZ et al., 2016). Atualmente, existem na Colômbia 903.000 mil hectares de café (73% da área total) plantados com cultivares resistentes à ferrugem do cafeeiro (FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA, 2017).

Na América Central, o melhoramento do café iniciou-se na década de 1980, com a formação do Programa Cooperativo Regional para o Desenvolvimento Tecnológico e Modernização da Cafeicultura da América Central, Panamá, República Dominicana e México (PROMECAFE) (SANTACREDO, 2001).

Em Honduras, na década de 1990, foram lançadas as cultivares Lempira, IHCAFE-90 (Catimores) e Parainema (Sarchimor) (SANTACREDO, 2001). Na atualidade, 45% da área total de café cultivada em Honduras corresponde à cultivar Lempira (Eng. Nelson Omar Fúnez, gerente técnico do IHCAFE, 2018, comunicação pessoal).

Em todos os países, quando as variedades resistentes foram lançadas, supunha-se que apresentassem resistência vertical ou qualitativa às raças predominantes nas diferentes regiões dos países. No entanto, ao longo do tempo, verificaram-se pústulas com esporulação do fungo *H. vastatrix* (VÁRZEA; MARQUES, 2005; ZAMBOLIM; CAIXETA, 2018).

A suplantação da resistência à ferrugem de algumas cultivares portadoras dos fatores de resistência vem ocorrendo com as cultivares derivadas de HDT e de Icatu tanto no Brasil quanto na América Latina e Central. Na Índia, isso aconteceu com a cultivar Cauvery (Catimor, seleção UFV 386-45), que foi lançada como resistente e, em poucos anos, se tornou tão suscetível à ferrugem quanto à cultivar Catuaí (PRAKASH; GANESH; BHAT, 2005). Em Honduras, a resistência da cultivar Lempira foi suplantada em 2016. Atualmente, cerca de 60% das plantas de Lempira cultivadas naquele país são suscetíveis.

No Brasil, cultivares com resistência à ferrugem foram estudadas em ensaio nacional de cultivares em diferentes ambientes. Foi comprovado comportamento heterogêneo de resistência dos genótipos à ferrugem. Em um local alguns genótipos apresentam resistência completa e, em outros, resistência incompleta. Esse resultado sugere também que diferentes raças de *Hemileia vastatrix* estão presentes nos diferentes ambientes (CARVALHO et al., 1989; COSTA et al., 2012; GROSSI et al., 2013).

O surgimento de novas raças de *H. vastatrix* em genótipos resistentes no campo pode explicar a suplantação da resistência das cultivares. No Brasil, até o momento, foram identificadas 16 raças de *H. vastatrix* presentes nos campos de produção (ZAMBOLIM; CAIXETA, 2018). O grande número de raças poderá, a curto ou a médio prazo, ser séria ameaça para o futuro das cultivares resistentes, comprometendo também o sucesso dos programas de melhoramento.

Além da resistência a ferrugem, alguns estudos efetuados no passado encontraram correlações positivas com teores de clorofila das folhas e a produtividade de diferentes culturas; dessa forma, a clorofila poderia ser utilizada como um indicativo de produtividade (BOGGS et al., 2003; GÜLER; ÖZÇELIK, 2007; RAMESH et al., 2002).

Diante da constante evolução das raças de *H. vastatrix*, torna-se necessária a avaliação da resistência de genótipos de cafeeiros no Brasil. Dessa forma, os objetivos deste trabalho foram: (i) avaliar a resistência de genótipos do cafeeiro à ferrugem em condições de campo; (ii) quantificar a produção de progênies de cafeeiro portadoras de resistência e compará-las com a cultivar comercial Catuaí; (iii) avaliar a resistência de genótipos de cafeeiro às raças II e XXXIII de *H. vastatrix*; e iv) avaliar o teor de clorofila nas cultivares resistentes à ferrugem do cafeeiro.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos de campo foram estabelecidos em fevereiro de 2006. Um experimento foi conduzido na área experimental do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Viçosa (UFV), no município de Viçosa, localizado na região da Zona da Mata de Minas Gerais, aproximadamente a 650 metros de altitude, com latitude de 20° 45' 14'' S e longitude de 42° 52' 53'' W. Outro experimento, com a maioria dos genótipos plantados em Viçosa, também foi estabelecido na Fundação Procafe, no município de Varginha, Minas Gerais, a 1.000 m de altitude, com latitude de 21° 33' 03'' S e longitude de 42° 52' 53'' W. As duas localidades apresentam solo classificado como Latossolo Vermelho Distrófico, com saturação por bases baixa ($V < 50\%$).

Os resultados da análise do solo das duas localidades encontram-se na Tabela 1.

Aplicação de 1,5 t/ha de calcário dolomítico (PRNT = 96%) foi feita em toda a área, visando aumentar a saturação do solo para 70%, 15 dias antes do plantio.

Tabela 1 - Análise química do solo em Varginha e em Viçosa, Estado de Minas Gerais

PH	P	K	Ca	H Al	Mg	ECEC	CEC	Base saturation	Remaining Phosphoru
<i>água 1:2.5 (mg.dm³) (mg.dm³) (cmol.dm³) (cmol.dm³) (cmol.dm³) (cmol.dm³) (PH 7.0)</i>									<i>mgL⁻¹</i>
5, 5 ¹ (4,5) ²	10,6 (3,2)	24 (11)	1,9 (0,9)	1,98 (2,5)	1,5 (0,6)	1,9 (1,2)	2,5 (2,4)	55 (49)	23,1 (16,6)

¹ – Resultado de análise de solo de Varginha, MG; ² Resultado de análise de solo de Viçosa, MG. P – fósforo; K – potássio; Ca – cálcio; Mg – magnésio; H + Al - hidrogênio + alumínio; ECEC – capacidade efetiva de troca catiônica; CEC – capacidade de troca catiônica.

A fertilização do experimento foi feita empregando-se 300 e 450 g da fórmula NPK (20 – 5 -20) por planta por ano, em ambos os municípios, conforme Guimarães et al. (1999).

A colheita foi feita anualmente por derrça, seguida de pré-secagem dos frutos em terreiro e complementação da secagem em secadores a lenha. Após o beneficiamento dos grãos, os dados foram transformados em sacas de café beneficiado por hectare.

A produção foi avaliada em litros de “café da roça” por parcela, sendo as colheitas realizadas entre os meses de maio e julho de cada ano, considerando um rendimento médio de 480 litros de “café da roça” para cada saca de 60 kg de café beneficiado (CARVALHO et al., 1989). A produtividade final foi calculada em sacas de 60 kg de café beneficiado ha⁻¹.

Os genótipos para avaliação da produtividade e resistência à ferrugem encontram-se na Tabela 2. O Catuaí Vermelho IAC 15 foi empregado como padrão de suscetibilidade à ferrugem e produtividade do café.

Tabela 2 - Descrição e origens dos genótipos com resistência à ferrugem em campo

No.	GENÓTIPOS	ORIGEM DO CRUZAMENTO	INSTITUIÇÃO DE ORIGEM	GRUPO PERTENCENTE
1	Catucaí Amarelo 2 SL	Icatu X Catuaí	MAPA/Fundação PROCAFÉ	Catucaí
2	Catucaí Amarelo 24/137	Icatu X Catuaí	MAPA/Fundação PROCAFÉ	Catucaí
3	Catucaí Amarelo 20/15 cv 479	Icatu X Catuaí	MAPA/Fundação PROCAFÉ	Catucaí
4	Catucaí Vermelho 785/15	Icatu X Catuaí	MAPA/Fundação PROCAFÉ	Catucaí
5	Catucaí Vermelho 2015 cv 476	Icatu X Catuaí	MAPA/Fundação PROCAFÉ	Catucaí
6	Sabiá	Catimor UFV 386 X Acaiaí	MAPA/Fundação PROCAFÉ	
7	Palma II	Catucaí Vermelho IAC 81 X HDT* UFV 353	MAPA/Fundação PROCAFÉ	Catucaí vermelho IAC 81 X UFV 353
8	Acauá	Sarchimor IAC 1668 X Mundo novo IAC 388-	MAPA/Fundação PROCAFÉ	Sarchimor X Mundo Novo
9	Oeiras MG 6851	Caturra Vermelho CIFC 19/1 X HDT 832/1	EPAMIG/UFV	Catimor
10	Catiguá MG1	Catucaí Amarelo IAC 86 X HDT UFV 440-10	EPAMIG/UFV	Catucaí X HDT
11	Sacramento MG1	Catucaí Vermelho IAC 81 X Catimor UFV 438-	EPAMIG/UFV	Catucaí X HDT
12	Catiguá MG2	Catucaí Amarelo IAC 86 X HDT UFV 440-10	EPAMIG/UFV	Catucaí X HDT
13	Araponga MG1	Catucaí Amarelo IAC 86 X HDT UFV 446-08	EPAMIG/UFV	Catucaí X HDT
14	H 419-3-3-7-16-4-1	Catucaí Amarelo IAC 30 X HDT UFV 445-46	EPAMIG/UFV	Catucaí X HDT
15	Pau Brasil MG1	Catucaí Vermelho IAC 141 X UFV 442-34	EPAMIG/UFV	Catucaí X HDT
16	Obatã	Villa Sarchi X HDT CIFC 832/2	IAC	Sarchimor
17	IAPAR 59	Derivado do Híbrido CIFC H361, resultado do cruzamento de Villa Sarchi CIFC 971/10 e HDT CIFC 832/2	IAPAR	Sarchimor
18	IPR 98	Villa Sarchi CIFC 971/10 e HDT CIFC 832/2	IAPAR	Sarchimor
19	IPR 99	Villa Sarchi CIFC 971/10 e HDT CIFC 832/2	IAPAR	Sarchimor
20	IPR 100	Catucaí X genótipo de café da série BA-10	IAPAR	Sarchimor
21	IPR 103	Icatu X Catuaí	IAPAR	Catucaí (Catucaí X Icatu)
22	IPR 104	Villa Sarchi CIFC 971/10 e HDT CIFC 832/2	IAPAR	Sarchimor
23	H 419-10-6-2-5-1	Catucaí Amarelo IAC 30 X HDT UFV 445-46	EPAMIG/UFV	Progenies de Paraíso
24	H 419-10-6-2-10-1	Catucaí Amarelo IAC 30 X HDT UFV 445-46	EPAMIG/UFV	Progenies de Paraíso
25	H 419-10-6-2-12-1	Catucaí Amarelo IAC 30 X HDT UFV 445-46	EPAMIG/UFV	Progenies de Paraíso
26	Obatã Amarelo 4932	Obatã IAC 1669-20 X Catuaí Amarelo	IAC	Sarchimor
27	Tupi RN IAC 1669-13	Villa Sarchi x HDT CIFC 832/2	IAC	Sarchimor
28	Tupi Amarelo IAC 5162	Tupi IAC 1669-33 Vermelho X Catuaí Amarelo.	IAC	Sarchimor
29	Catucaí Vermelho IAC 15	Caturra Amarelo IAC 476-11 X Mundo Novo IAC 374-19	IAC	Catucaí

*: Híbrido de Timor

MAPA: Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento; Epamig: Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais; UFV: Universidade Federal de Viçosa; IAC: Instituto Agrônomo de Campinas; IAPAR: Instituto Agrônomo do Paraná; HDT: Híbrido de Timor.

2.1 Avaliação da resistência e produtividade de cafeeiros resistentes à ferrugem em campo

Do experimento realizado em Varginha, sul de Minas Gerais, foi considerada nas análises somente a produção de quatro anos agrícolas (2008/2009, 2010/2011, 2012/2013 e 2015/2016), de alta produtividade, de genótipos de café com resistência à ferrugem. Do experimento realizado em Viçosa será apresentada a média dos seis anos de produção.

O delineamento experimental em ambas as localidades foi em blocos casualizados com quatro repetições, tendo seis plantas por parcela implantadas no espaçamento de 3,0 x 1,0 m.

A incidência da ferrugem em genótipos de café resistentes (Tabela 3) foi avaliada durante seis anos agrícolas. A metodologia consistiu na coleta de 10 folhas, no terço médio das plantas da parcela. O total de folhas colhidas por parcela foi de 60; em seguida, foi determinada a porcentagem de incidência da ferrugem nas folhas. Os dados de produção e incidência de ferrugem do experimento de Viçosa foram fornecidos pelo Dr. Antônio Carlos Baião de Oliveira, da Epamig; do experimento de Varginha, para as mesmas variáveis, os dados foram fornecidos pelo Dr. Carlos Henrique Carvalho, da Fundação PROCAFE.

2.2 Avaliação da resistência de cultivares de café às raças II e XXXIII de *Hemileia vastatrix*

Foram selecionados 12 genótipos da Tabela 2 para avaliar a resistência às raças II e XXXIII de *H. vastatrix*. A variedade Catuaí Vermelho IAC 15 foi utilizada como controle (padrão de suscetibilidade) no experimento. Isolados monopostulares das raças II (v₅), caracterizados por Cardoso (1986), e XXXIII (v_{5,7} ou v_{5,7,9}), caracterizados por Capucho et al. (2012), de *H. vastatrix* foram obtidos do Laboratório de Biotecnologia do Cafeeiro (BioCafe), da Universidade Federal de Viçosa. Os dois isolados foram multiplicados em mudas de *Coffea arabica* variedade Caturra, com cinco meses de idade, utilizando a metodologia proposta por Zambolim e Chaves (1974).

Discos de 1,5 cm de diâmetro a partir de folhas de primeiro ou segundo par completamente desenvolvidas foram coletados dos genótipos de cafeeiro em campo. Os discos foram obtidos com furador de rolha e colocados sobre tela de aço inoxidável, dentro de gerbox com tela de náilon umedecida. Cerca de 1 mg de esporos do fungo foram dispersos sob cada um dos discos de folha, com um pincel pelo de camelo no. 2, e em seguida foram atomizados com água destilada. Os gerbox foram transferidos para uma câmara de incubação com ambiente controlado, em temperatura de 22 ± 2°C e fotoperíodo de 12 horas/12 horas no escuro (ESKES, 1982).

Cinco dias após as inoculações, os discos de folhas foram examinados para avaliar as seguintes características: período latente; incidência (porcentagem de discos de folhas esporulados); intensidade de esporulação dos discos de folhas de acordo com a escala proposta por Tamayo et al. (1995); e severidade da ferrugem em cinco discos de folhas com maior intensidade de esporulação dos tratamentos que foram suscetíveis para as duas raças de *H. vastatrix*. Os discos foram digitalizados em um escâner com

resolução de 600 dpi e, a partir das imagens digitalizadas da face abaxial dos discos das folhas de café, determinou-se a porcentagem da severidade com o auxílio do programa QUANT® (LIBERATO, 2003).

2.3 Avaliação do teor de clorofila em genótipos de cafeeiros resistentes à ferrugem

O teor de clorofila a e b foram obtidos a partir de cinco discos de 0,5 cm de diâmetro de duas folhas do terço médio das plantas, pertencentes ao segundo par de folhas completamente desenvolvida de genótipos de cafeeiros resistentes à ferrugem, cultivados em campo. Os discos de folhas foram removidos com auxílio de um furador de rolha e colocados dentro dos tubos de ensaio, que continham 5 mL de dimetilsulfóxido (DMSO). Os tubos foram envolvidos em papel-alumínio e incubados em temperatura ambiente (25°C) por 48 horas (PEREIRA et al., 2008). Foram feitas quatro repetições por tratamento. As leituras dos teores de clorofila foram feitas em espectrofotômetro BIO-RAD, SmartSpec 3000, nos comprimentos de onda de 666, 649 e 480 nm. Os valores para cada comprimento de onda foram utilizados nas equações de Wellburn (1994).

Análise estatística

Após ter sido verificada a normalidade da distribuição dos dados, procedeu-se à análise de variância (ANOVA) pelo programa SISVAR (FERREIRA, 2014). Os dados obtidos das avaliações de campo foram submetidos aos testes F e de médias, seguindo o teste de Scott-Knott (BANZATTO; KRONKA, 2013).

3. RESULTADOS

3.1 Avaliação da resistência à ferrugem e produtividade de genótipos de cafeeiros em campo no município de Varginha, Minas Gerais

Os resultados de incidência à ferrugem e produção de 28 cultivares resistentes à ferrugem e da variedade considerada padrão Catuaí vermelho IAC 15, nas safras 2008/2009, 2010/2011, 2012/2013 e 2015/2016, no município de Varginha (experimento 1), encontram-se na Tabela 3. As produtividades obtidas correspondem a

sacas de café beneficiado de 60 kg ha⁻¹. Optou-se por apresentar os resultados das quatro colheitas, dos anos agrícolas de maior produtividade, devido à bienalidade do cafeeiro. Observou-se que houve variação de ano para ano no comportamento das variedades em relação à produção. Houve diferenças significativas entre as cultivares nos quatro anos agrícolas considerados.

No ano de 2009 a produtividade mínima em sacas ha⁻¹ (11,77) foi observada na cultivar Obatã Amarelo, e a máxima (38,75), na IPR 103. Em 2011, a produtividade mínima (18,25) foi da cultivar IPR 104, e a máxima (54,75), da IPR 103. Em 2013, a mínima (16,32) foi da IPR 98, e a máxima (77,60), da Palma II. No ano de 2016, a mínima (8,58) foi para IPR 98 e a máxima (45,74) para H 419-10-6-2-10-1. Considerando a média das cultivares, a produtividade mínima (14,86) foi para Catucaí Vermelho 785/15, e a máxima (51,95), para IPR 103. A cultivar padrão Catucaí Vermelho IAC 15 teve produtividade média de 35,35 sacas ha⁻¹.

A cultivar IPR 103 teve maior produtividade nas três colheitas (2009, 2011 e 2013), variando de 38,75 a 77,25 sacas ha⁻¹. Na colheita de 2016 foi a sétima, com 37,10 sacas/ha⁻¹. Entretanto, no total, a produtividade dessa cultivar teve a maior média final (51,95) do experimento.

Com relação à resistência das 28 cultivares de café, observou-se que nos anos 2009 e 2010 a porcentagem de plantas imunes à ferrugem foi de 89%, em 25 das 28 cultivares. Em 2011, a porcentagem variou de 0% a 100%; em 2012, de 12,5% a 100%; e em 2013 e 2015, de 0% a 100%.

Em 2009 e 2010, a menor porcentagem de plantas resistentes foi de 75,0% para Catucaí Vermelho 785/15; em 2011, de 0,0% para Catucaí Amarelo 2 SL; em 2012, de 12,5% para Catucaí Vermelho IAC 15; em 2013, de 0,0% para Catucaí Vermelho IAC 15, IPR 103, Catucaí Vermelho 2015 cv 476, Catucaí Vermelho 785/15 e Catucaí Amarelo 24/137. Considerando a média da resistência das cultivares à ferrugem, a Catucaí Vermelho 785/15 obteve o menor valor (32,70%), enquanto o valor máximo de resistência foi de 100% para Obatã, seguida de H 419-10-6-2-10-1, IPR-104, IAPAR 59, Tupi RN IAC 1669-13 e IPR 99, com 98,58%, 98,58%, 98,58%, 97,91% e 97,16% de resistência, respectivamente.

Tabela 3 - Produtividade de quatro safras (2008/2009, 2010/2011, 2012/2013 e 2015/2016) e porcentagem de plantas resistentes à ferrugem (2009, 2010, 2011, 2012, 2013 e 2015) em genótipos resistentes de cafeeiro no município de Varginha, Minas Gerais

Genótipos	Produtividade (sacos beneficiados 60 kg/ha ⁻¹)/Incidência da ferrugem						Média produtivade/Inci dência
	Ano						
	2009/09 ¹	2011/10	2011 ²	2013/12	2013 ³	2016/15	
IPR 103	38,7b/79,2	54,7b/79,2	/25,0b	77,2d/87,2c	/0,0a	37,1c/12,7a	51,9d/47,2b
Obatã	37,5b/100	30,6a/100	/100c	23,2a/100c	/100d	17,6b/100d	27,2b/100,0d
IPR 99	37,2b/100	35,4b/100	/100c	50,7c/100c	/87,2d	24,6b/95,7c	37,0c/97,1d
Oeiras MG 6851	34,1b/100	43,7b/100	/4,2a	62,3c/50,0b	/4,2a	19,7b/8,5a	39,9d/44,5b
IAC 1669-13	32,5b/100	41,0b/100	/100c	53,8c/100c	/87,5d	17,3b/100c	36,2c/97,9d
Catuaí Amarelo 2 SL	30,6b/100	31,9a/100	/0,0a	58,9c/21,0a	/4,2a	23,7b/79,2c	36,3c/50,7b
H419-3-3-7-16-4-1	30,0b/100	31,1a/100	/74,5c	42,8b/87,2c	/25,0b	33,5c/91,5c	34,3c/79,7c
Sabiá	26,6b/100	39,6b/100	/74,5c	30,8a/100c	/78,7d	28,6c/91,5c	31,4c/90,8d
Catuaí Vermelho IAC 15	26,3b/91,5	28,3a/91,5	/25,0b	67,4d/12,5a	/0,0a	19,3b/37,7b	35,3c/43,0a
Araponga MG1	26,0b/100	26,8a/100	/87,2c	49,8c/91,5c	/62,2c	32,3c/62,7c	33,7c/83,9c
Acauá	25,1b/100	27,9a/100	/100c	55,8c/100c	/78,7d	33,5c/95,7c	35,5c/95,7d
IPR 100	23,2a/100	52,9b/100	/8,5a	56,3c/74,7c	/20,7b	22,4b/20,7b	38,7d/54,1b
Catuaí Amarelo 20/15 cv 479	22,9a/95,7	49,4b/95,7	/25,0b	74,3d/83,0c	/8,5a	29,8c/25,0a	44,1d/55,5b
Catuaí Vermelho 2015 cv 476	22,0a/100	28,3a/100	/29,2b	45,7b/45,7b	/0,0a	28,4c/0,0a	31,1c/45,8b
H 419-10-6-2-5-1	21,0a/100	30,8a/100	/100c	64,9d/100c	/29,5b	40,1c/49,7b	39,2d/79,8d
Palma II	20,1a/100	35,2b/100	/95,7c	77,6d/95,7c	/91,5d	33,3c/87,2c	41,5d/95,0d
IAPAR 59	19,5a/100	24,2a/100	/100c	22,8a/100c	/91,5d	16,2b/100c	20,7a/98,5d
Catigüá MG2	19,2a/100	36,3b/100	/100c	42,8b/95,7c	/95,7d	26,5c/75,0c	31,2c/94,4d
Pau Brasil MG1	19,2a/100	19,4a/100	/95,7c	57,3c/100c	/41,5b	40,0c/91,5c	33,9c/88,1c
Catuaí Amarelo 24/137	18,6a/100	43,0b/100	/4,2a	70,7d/37,2b	/0,0a	39,2c/4,2a	43,2d/40,9a
H 419-10-6-2-12-1	17,9a/100	18,7a/100	/100c	73,2d/79,2c	/49,7c	45,7c/78,7c	38,9d/84,6c
H 419-10-6-2-10-1	17,7a/100	33,8b/100	/100c	68,5d/100c	/100d	44,3c/91,5c	41,5d/98,5d
IPR 98	17,3a/100	23,8a/100	/100c	16,3a/95,7c	/70,7c	8,5a/100c	16,5a/94,4d
Sacramento MG1	16,4a/100	24,6a/100	/100c	43,1b/87,2c	/83,0d	32,2c/95,7c	29,1c/94,3d
Catigüá MG1	15,5a/100	29,0a/100	/91,5c	62,0c/91,5c	/78,7d	40,4c/78,7c	36,7c/90,8d
Tupi Amarelo IAC 5162	14,8a/100	19,5a/100	/79,0c	28,6a/91,5c	/37,5b	11,7a/66,5c	18,6a/79,0c
IPR 104	13,9a/100	18,2a/100	/100c	28,5a/100c	/95,7d	9,5a/95,7c	17,5a/98,5d
Obatã Amarelo IAC 5162	11,7a/100	26,1a/100	/100c	63,4c/100c	/25,0b	25,3b/100c	31,6c/87,5c
Catuaí Vermelho 785/15	5,4a/75,0	11,0a/75,0	/29,2b	22,5a/17,0a	/0,0a	20,5b/0,0a	14,8a/32,7a
CV %	41,46/12,24	40,42/12,24	27,22	27,01/18,69	39,72	36,86/33,58	42,37/43,04a

¹Produtividade

²Porcentagem de plantas resistentes à ferrugem

Médias seguidas pela mesma letra minúscula nas colunas não diferem significativamente entre si pelo teste de Scott-Knott ($p=0,05$).

3.2 Avaliação da produtividade e resistência de genótipos de cafeeiros à ferrugem em campo no município de Viçosa, Minas Gerais

Os resultados da produção e de incidência de ferrugem de 28 cultivares resistentes à ferrugem e uma variedade considerada padrão suscetível Catuaí vermelho

IAC 15, nos anos agrícolas 2008/2009, 2010/2011, 2012/2013 e 2015/2016, encontram-se na Tabela 4. Optou-se por apresentar somente médias da produtividade e de incidência da ferrugem de 2008 a 2016, no sentido de resumir os resultados obtidos nos diferentes anos agrícolas.

No tocante à produtividade, o teste de Scott-Knott ($p=0,05$) possibilitou a diferenciação de três grupos distintos de significância. O primeiro correspondeu às produtividades de 24,0 a 33,0 sacas ha^{-1} , o segundo, de 18,7 a 23,4 sacas ha^{-1} , e o terceiro, de 10,4 a 16,0 sacas ha^{-1} . Quanto à incidência (%) da ferrugem, observaram-se quatro grupos distintos de significância: o primeiro, de 1,5% a 5,0% (altamente resistente); o segundo, de 12,5% a 20,2% (resistente); o terceiro, de 23,4% a 28,5% (medianamente resistente); e o quarto, de 48,3% a 77,5% (suscetível). A incidência observada no tratamento testemunha padrão (Catuaí Vermelho IAC 15) foi de 73,3% e não diferiu significativamente dos seguintes genótipos: Catuaí Amarelo 2 SL, Catuaí Amarelo 24/137, Catuaí Vermelho 785/15, Catuaí Vermelho 20/15 cv. 479, IPR 100, IPR 103, Oeiras MG 6851 e Catuaí Vermelho 20/15 cv. 476.

Tabela 4 - Médias de produtividade e incidência da ferrugem em genótipos de cafeeiro no município de Viçosa, Minas Gerais

Genótipos	Produtividade Média (sacas beneficiadas/ha⁻¹)	Incidência de ferrugem (%)	Níveis de suscetibilidade e resistência à ferrugem
IPR 100	33,0a	54,0a	Suscetível
Catuaí Amarelo 24/137	27,0a	63,4d	Suscetível
H419-10-6-2-10-1	26,4a	1,6a	Altamente resistente
Catuaí Amarelo 20/15 cv 479	26,2a	48,3d	Suscetível
Palma II	26,2a	2,4a	Altamente resistente
Oeiras MG 6851	24,5a	68,5d	Suscetível
H419-10-6-2-12-1	24,0a	28,5c	Medianamente resistente
Acauã	23,4b	3,1a	Altamente resistente
IPR 100	22, 5b	50,3d	Suscetível
H419-10-6-2-5-1	22,5b	20,2b	Resistente
Catuaí Amarelo 2 SL	22,2b	77,5d	Suscetível
Catiguá MG 1	22,2b	15,6b	Resistente
Pau Brasil MG 1	22,7b	13,6b	Resistente
IPR 99	21,3b	20,0b	Resistente
H419-3-3-7-16-4-1	21,1b	23,4c	Medianamente resistente
Catuaí Vermelho IAC 15	21,1b	73,0d	Suscetível
Tupi RN IAC 1669-13	21,1b	2,5a	Altamente resistente
Sabiá	20,4b	12,5b	Resistente
Araponga MG 1	20,2b	12,6b	Resistente
Catiguá MG 2	20,2b	4,5a	Altamente resistente
Sacramento MG 1	19,3b	4,4a	Altamente resistente
Obatã Amarelo 4932	19,0b	4,5a	Altamente resistente
Catuaí Vermelho 2015 cv 476	18,7b	55,8d	Suscetível
Obatã	16,0c	0a	imune
IAPAR 59	13,5c	1,5a	Altamente resistente
Tupi Amarelo IAC 5162	13,2c	23,4c	Medianamente resistente
IPR 104	12,0c	1,8a	Altamente resistente
Catuaí Vermelho 785/15	10,4c	63,1d	Suscetível
IPR 98	10,4c	5,0a	Altamente resistente
CV (%)	18.7	17.2	

Médias seguidas pela mesma letra minúscula nas colunas não diferem significativamente entre si pelo teste de Scott-Knott ($p=0,05$).

3.3 Avaliação da resistência de genótipos de cafeeiros às raças II e XXXIII de *Hemileia vastatrix*

Os resultados obtidos neste trabalho referem-se a 12 genótipos previamente classificados como resistentes e uma cultivar de cafeeiro padrão (Catuaí Vermelho IAC 15) suscetível à ferrugem (Tabela 5).

Para a raça II, das 12 variedades lançadas como resistentes, três apresentaram reação compatível à ferrugem (Catucaí Amarelo 24/137, Tupi Amarelo IAC 5162 e Pau Brasil MG1). A incidência (%), o grau de esporulação conforme escala de Tamayo et al. (1995) e a severidade da ferrugem (%) variaram de 50% a 100%, 4 a 6, 12,38% a 49,88%, respectivamente, nas cultivares que apresentaram reação compatível. A incidência, o grau de esporulação e a severidade para a cultivar padrão Catuaí Vermelho IAC 15 foram de 100%, 5 e 49,88%, respectivamente. O período latente variou de 23 a 29 dias nas cultivares resistentes e, para a Catuaí Vermelho IAC 15, foi de 20 dias.

As cultivares Tupi Amarelo IAC 5162 e Pau Brasil apresentaram grau de esporulação 4 (poucos esporos nas pústulas, segundo a escala de Tamayo et al., 1995), e a Catuaí Vermelho IAC 15, grau de esporulação 5.

Quanto à raça XXXIII, todas as cultivares apresentaram reação compatível, com exceção da cultivar Obatã. A incidência, o grau de esporulação (segundo a escala de Tamayo et al., 1995) e a severidade da ferrugem variaram de 31% a 100%, 4 a 6 e 14,49% a 71,67%, respectivamente; a incidência, o grau de esporulação e a severidade para a cultivar padrão Catuaí Vermelho IAC 15 foram de 88%, 6 e 77,90%, respectivamente. O período latente variou de 19 a 42 dias nas cultivares resistentes e, para a Catuaí Vermelho IAC 15, foi de 17 dias.

A incidência da ferrugem do experimento de campo, realizado em Viçosa, Minas Gerais, no ano de 2010 (ano de maior incidência da doença) variou de 75 (Catucaí Vermelho 20/15 cv. 476) a 100 (maioria das cultivares). Para a cultivar Obatã, a incidência foi zero, enquanto para a cultivar Catuaí Vermelho IAC 15 ela foi de 91,5%.

Tabela 5 - Reação de genótipos de café arábica às raças II e XXXIII de *Hemileia vastatrix*

Genótipos	Raça II (v ₅)				Raça XXXIII (v ₅ , 7 ou v ₅ , 7, 9)				
	PL ¹	Inc. ²	Esp. ³	Sev. ⁴	PL	Inc.	Esp.	Sev.	Inc. ⁵
1. Catucaí Amarelo 2 SL	-6	-	-	-	21	100	5	40,27b	100b
2. Catucaí Amarelo 24/137	29	69	6	32,50a	19	100	6	47,17b	100b
3. Catucaí Amarelo 20/15 cv 47	-	-	-	-	21	94	5	14,49a	100b
4. Catucaí Vermelho 785/15	-	-	-	-	23	100	4	52,76b	95,0b
5. Catucaí Vermelho 2015 cv	-	-	-	-	32	88	4	48,71b	75,0a
6. Sabiá	-	-	-	-	42	31	4	50,34b	100b
7. Oeiras MG	-	-	-	-	23	94	5	43,78b	100b
8. Catiguá MG1	-	-	-	-	42	56	4	71,67b	100b
9. Pau Brasil MG1	29	75	4	12,38a	26	100	6	42,57b	100b
10. Tupi RN IAC 1669-13	-	-	-	-	21	100	5	49,53B	100b
11. Tupi Amarelo IAC 5162	23	50	4	41,55b	20	88	4	63,43c	100b
12. Obatã	24	50	4	8,27a	-	-	-	-	0
13. Catucaí Vermelho IAC 15	20	100	5	49,88b	17	88	6	77,90c	91,5b
CV%				22,5				17,8	25,4

¹PL. – Período latente (dias); ²Inc. – incidência (%); ³Esp. – esporulação (escala de Tamayo, 1995); ⁴Severidade (%); ⁵incidência (%) da ferrugem do trabalho de campo em Viçosa, Minas Gérias, ano 2010; (-) ⁶reação incompatível.

Médias seguidas pela mesma letra minúscula nas colunas não diferem significativamente entre si pelo teste de Scott-Knott (p=0,05).

3. 4 Avaliação do teor de clorofila a, b, total e carotenoides em genótipos resistentes à ferrugem do cafeeiro

Os resultados obtidos para teor de clorofila a, b, total e carotenoides, expressos em µg/cm², encontram-se na Tabela 6. Os resultados mostraram que não foram encontradas diferenças significativas para o teor de clorofila a, embora os teores variassem de 6,34 (IPR 99) a 10,05 (Catucaí Amarelo 20/15 cv. 479). Encontrou-se diferença significativa para clorofila b, total e carotenoides: para a clorofila b, o menor valor foi 3,49 (IPR 100) e o maior, 9,52 (H 419-10-6-2-12-1); para a clorofila total, o menor valor foi 10,28 (IPR 100) e o maior, 17,91 (H 419-10-6-2-12-1); e para carotenoides, o menor valor foi 1,59 (Catiguá MG 2) e o maior, 4,10 (Palma II).

Tabela 6 - Teores médios de clorofila a, b, total e carotenoides ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$) de cultivares de café resistentes à ferrugem em Viçosa, Minas Gerais

Genótipos	Clorofila a	Clorofila b	Clorofila Total	Caratenoides
H 419-10-6-2-12-1	8,3a	9,5b	17,9b	2,7b
IAPAR 59	7,8a	8,9b	16,7b	2,98a
IPR 103	7,2a	8,2b	15,4b	2,2a
H419-3-3-7-16-4-1	8,2a	8,1b	17,3b	2,6b
Catuaí Vermelho 20/15 cv 476	8,0a	8,1b	16,6b	2,5a
Catiguá MG1	8,3a	7,9b	16,2b	2,8a
IPR 104	7,2a	7,9b	15,2b	2,6a
H 419-10-6-2-10-1	7,3a	7,9b	15,2b	2,3a
H 419-10-6-2-5-1	6,8a	7,6b	14,4b	2,5a
Tupi RN IAC 1669-13	7,9a	7,6b	15,5b	3,2b
Catuaí Vermelho IAC 15	8,4a	7,4b	15,9b	3,5b
Obatã Amarelo 4932	7,9a	7,3b	15,2b	2,8a
Catuaí Amarelo 20/15 cv 479	10,0a	7,3b	17,3b	3,3b
Catuaí Vermelho 785/15	7,4a	7,3b	14,8b	2,4a
Acauá	7,6a	7,2a	14,8b	2,6a
IPR 98	8,3a	6,8b	15,2b	3,1b
Tupi Amarelo IAC 5162	7,4a	6,8b	14,3b	2,6a
Catuaí Amarelo 2 SL	7,8a	6,8b	14,6b	2,6b
Palma II	8,8a	6,7b	13,8a	4,1b
Catiguá MG2	6,0a	6,7b	12,8a	1,5a
Pau Brasil MG1	7,5a	6,7b	15,6b	2,9a
Araponga MG1	8,0a	6,1b	14,2b	3,1b
Oeiras MG 6851	9,3a	6,0a	15,3b	4,0b
IPR 99	6,3a	5,7a	12,1a	2,3a
Sacramento MG1	8,6a	5,4a	12,5b	3,5a
Obatã	6,5a	5,4a	12,0a	3,2b
Catuaí Amarelo 24/137	7,3a	5,4a	12,8a	2,3a
Sabiá	7,7a	4,6a	12,3a	2,8b
IPR 100	6,7a	3,4a	10,2a	3,1a
CV(%)	17.0%	25.0%	17.57%	23.97%

Médias seguidas pela mesma letra minúscula nas colunas não diferem significativamente entre si pelo teste de Scott-Knott ($p=0,05$).

4. DISCUSSÃO

De modo geral, as produtividades das plantas nos experimentos foram baixas, principalmente no município de Viçosa, Zona da Mata de Minas Gerais, onde foram utilizados 300 g de NPK (20-5-20) por planta; para o experimento de Varginha, sul de Minas Gerais, foram usados 450 g de NPK (20-5-20) por planta. A recomendação de fertilização oficial para os dois tipos de solo, dos dois experimentos, para uma boa produção é de acima de 750 g de NPK (20-5-20) por planta (GUIMARÃES et al., 1999).

Observou-se que a produção nos diferentes anos avaliados (2009, 2011, 2013 e 2016), no município de Varginha, mesmo considerando os anos de maior produtividade, variou muito entre os genótipos. Além disso, houve variação nos anos avaliados: dos quatro anos, sempre em um ano a produtividade foi muito superior à dos outros três

para os derivados de Icatu, grupo de Sarchimores e grupo de Catimores. No ano 2015/2016, os genótipos se dividiram em três grupos, porém nos anos 2009 e 2011 os genótipos dividiram-se em dois grupos distintos de significância, considerando o teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Carvalho et al. (2012) encontraram interação entre tratamentos (genótipos de cultivares de café) em dois anos avaliados e também com o local de avaliação. Portanto, esse fato evidencia a diferença no desempenho dos genótipos em relação à resistência à ferrugem ao longo dos anos nos diferentes locais estudados. No grupo de genótipos de maior produtividade com diferença significativa para os outros grupos, destacaram-se: em 2009 a produtividade variou de 25,12 sacas ha⁻¹ (Acauã) a 38,75 (IPR 103); em 2011, de 33,82 sacas ha⁻¹ (H 419-10-6-2-10-1) a 54,75 (IPR 103); em 2013, de 64,90 sacas ha⁻¹ (H 419-10-6-2-5-1) a 77,60 (Palma II); em 2016, de 26,51 sacas ha⁻¹ (Catiguã MG 2) a 45,74 (H 419-10-6-12-1). O genótipo IPR 103 foi o que alcançou maior produtividade em dois anos agrícolas consecutivos: 2009 e 2011.

Considerando os quatro anos agrícolas, o IPR 103 também obteve a maior média em produtividade (51,95 sacas ha⁻¹). Foi seguido dos seguintes genótipos em ordem decrescente: Catucaí Amarelo 20/15 cv. 479 (44,14 sacas ha⁻¹), Catucaí Amarelo 24/137 (43,26 sacas ha⁻¹), Palma II (41,59 sacas ha⁻¹), H 419-10-6-2-10-1 (41,58 sacas ha⁻¹), Oeiras MG 6851 (39,98 sacas ha⁻¹) H 419-10-6-2-5-1 (39,24 sacas ha⁻¹), H 419-10-6-2-12-1 (38,92 sacas ha⁻¹) e IPR 100 (38,75 sacas ha⁻¹). O Catucaí Vermelho IAC 15 (padrão) obteve nos anos de 2009, 2011, 2013 e 2016 as seguintes produtividades: 26,37, 28,30, 67,42 e 19,35 sacas ha⁻¹, respectivamente; considerando a média dos quatro anos agrícolas, foram obtidos 35,35 sacas beneficiadas ha⁻¹.

A média dos nove genótipos resistentes foi de 42,15 sacas ha⁻¹. Portanto, os genótipos resistentes produziram 16,1% a mais do que a cultivar padrão (Catucaí Vermelho IAC 15).

Considerando o genótipo mais produtivo (IPR 103), o incremento na produção com relação ao genótipo padrão foi de 47,0%. As mais baixas produtividades, considerando os grupos de cafeeiros, foram: derivados do grupo Icatu - Catucaí Vermelho 785/15 (14,86); grupo dos Catimores - Sacramento MG1 (29,12); e grupo do Sarchimor - Tupi Amarelo IAC 5162 (18,68) sacas ben. ha⁻¹, respectivamente. Em ordem decrescente, o incremento na produtividade foi de 48,96% (Catimores para

derivados de Icatu), 35,85% (Catimores para Sarchimores) e 20,44% (Sarchimor para Icatu).

Considerando os oito Sarchimores do experimento, a produtividade média foi de 25,27 sacas ha⁻¹; para os sete descendentes do Icatu obtiveram-se 30,99 sacas ha⁻¹ e, para os 12 Catimores, 38,77 sacas ha⁻¹. Portanto, os descendentes do Icatu produziram 18,45% a mais do que os Sarchimores; os Catimores produziram 19,96% a mais do que os descendentes de Icatu e 34,73% a mais do que os Sarchimores. Os resultados obtidos neste estudo demonstram que os Catimores foram mais produtivos do que os Sarchimores e os descendentes do Icatu. Uma possível explicação é que os Catimores foram originados do cruzamento de Híbridos de Timor (HDT) com a cultivar Caturra, e os Sarchimores, com a cultivar Vila Sarchi.

Verificou-se que, na média, todos os genótipos foram suscetíveis à ferrugem nos quatro anos de alta produtividade, com exceção da cultivar Obatã. Considerando a média de todos os genótipos resistentes, houve grande variação entre os grupos de cafeeiro em se tratando da resistência à ferrugem. O grupo dos derivados do Icatu variou de 31,10 sacas ha⁻¹ (Catucaí Vermelho 2015 cv. 471) a 47,2 sacas ha⁻¹ (IPR 103); os Sarchimores, de 55,0 sacas ha⁻¹ (IPR 100) a 100,0 sacas ha⁻¹ (Obatã); os Catimores, de 19,1 sacas/ha⁻¹ (Sacramento MG1) a 98,5 sacas ha⁻¹ (H 419-10-6-2-10-1). Analisando esses resultados, a resistência dos Catimores apresentou a maior variabilidade (70,0%) dentro de suas progênes; os Sarchimores, variabilidade intermediária (45,0%); e o grupo derivado de Icatu, baixa variabilidade (3,41%).

A média da resistência da ferrugem para a cultivar considerada padrão (Catuaí Vermelho IAC 15) foi de 43,3%; portanto, 66,7% das plantas foram suscetíveis. Das 28 cultivares consideradas resistentes à ferrugem, somente duas (Catucaí Vermelho 24/137 e Catucaí Vermelho 785/15) tiveram resistência menor do que a da Catuaí Vermelho IAC 15. Assim, 92,85% das cultivares apresentaram resistência à ferrugem maior do que a da variedade padrão (Catuaí Vermelho IAC 15).

Carvalho et al. (2012) relataram que as cultivares Acauã, IAPAR 59 e IPR 103 eram imunes à ferrugem até o ano 2007/2008. No mesmo estudo, as cultivares de porte baixo, dos grupos do Sarchimor, Catimor e derivados do Icatu, variaram de altamente resistentes (Araponga MG1, Catiguá MG 1, 2 e 3, Obatã Vermelho IAC 1669-2, Paraíso MG H 419-1, Pau Brasil MG1 e Sacramento MG1) a moderadamente resistentes (Palma

2, IPR 103, Obatã Amarelo IAC 4739, Oeiras MG 6851, Sabiá Tardio, Tupi IAC 1669-33, Tupi IAC 5162, Tupi IAC 1669-13 e cultivares do grupo Catucaí). Portanto, somente três cultivares foram citadas como imunes (resistência do tipo vertical ou completa) sensu (VANDERPLANK, 1969).

No presente estudo, no município de Varginha as cultivares avaliadas apresentaram de 32,7% a 100% de incidência à ferrugem, sendo consideradas medianamente resistentes a altamente resistentes, respectivamente. Nenhuma das cultivares foi imune à ferrugem. Supõe-se que novas raças de *H. vastatrix* possam ter surgido em campo e atacado as cultivares, aumentando a presença da doença e tornando-as suscetíveis. Até 2008 predominavam nos campos de cultivo do Estado de Minas Gerais aproximadamente 10 raças (ZAMBOLIM et al., 2005). No ano de 2016, já havia nos campos de cultivo cerca de 16 raças do patógeno (ZAMBOLIM; CAIXETA, 2018). Um ano mais tarde foram identificadas as raças XXIX e XXX (SILVA, 2017).

Carvalho et al. (2017), avaliando a resistência de oito cultivares de café resistentes à ferrugem, constataram que somente a cultivar Catiguá MG2 foi imune à doença, em duas localidades do Estado de Minas Gerais: Lavras e Patrocínio. Relataram também a suplantação da resistência vertical na cultivar Oeiras MG2. Das oito cultivares avaliadas, aquelas consideradas moderadamente resistentes em campo, nos dois locais, foram: Sacramento MG1, Araponga MG1, Paraíso MG H419-1, Catiguá MG1, Pau Brasil MG1 e Catiguá MG5.

Quanto à produtividade do experimento de Viçosa, Minas Gerais, verificou-se que o grupo do Catimor produziu 7,2% e 18,2% a mais do que o grupo dos Icatu e Sarchimor, respectivamente; por outro lado, o grupo do Icatu produziu 12,9% a mais do que o grupo do Sarchimor. Portanto, a produtividade no experimento de Viçosa do grupo de café Catimor, em relação ao grupo do Icatu, foi 7 vezes do Catimor para Sarchimor 2 vezes menor, comparado ao experimento de Varginha, Minas Gerais; o grupo do Sarchimor produziu 1,6 vez abaixo dos genótipos do grupo do Icatu. Esses resultados demonstram que a fertilização com dose de N-P-K mais próxima da ideal, do experimento de Varginha, além da altitude, pode explicar a grande diferença em produtividade dos dois locais.

Embora os resultados da produtividade do município de Viçosa fossem menores do que os de Varginha, verificou-se também que os Catimores foram mais produtivos do que os Sarchimores e os descendentes do Icatu. Essas diferenças de produtividade, de um grupo sobre outro, como já explicado, poderiam estar ligadas à origem dos cruzamentos dos grupos de cafeeiros Caturra e Vila Sarchi.

Em se tratando da resistência média à ferrugem, somente a cultivar Obatã foi completamente resistente (imune); a incidência dos outros genótipos variou de 1,5% (IAPAR 59) a 77,5% (Catucaí Amarelo 2SL). A produtividade média dos cafeeiros derivados do Icatu variou de 18,7% (Catucaí Vermelho 20/15 cv. 476) a 27,0% (Catucaí Amarelo 24/137); do Catimor, de 19,3% (Sacramento MG1) a 26,4% (H 419-10-6-2-10-1); e do Sarchimor, de 12,0% (IPR 104) a 33,0% (IPR 103). Analisando esses resultados, conclui-se que os Sarchimores apresentaram a maior variabilidade (66,63%) dentro de suas progênies; os Icatu, variabilidade intermediária (35,2%); e o grupo derivado dos Catimores, 27,30%. Portanto, houve variabilidade nas cultivares nas duas localidades: Viçosa e Varginha.

No experimento de Viçosa, a média da incidência da ferrugem para a cultivar Catucaí Vermelho IAC 15, padrão, foi de 73,0%. Das 28 cultivares, somente Catucaí Amarelo 2 SL obteve incidência maior (77,5%) do que a da Catucaí Vermelho IAC 15 (73,0%). Portanto, 96,43% das cultivares consideradas como resistentes apresentaram incidência da ferrugem menor do que a da variedade padrão (Catucaí Vermelho IAC 15).

A única variedade imune do experimento realizado em Viçosa foi Obatã. Nenhuma das variedades citadas por Carvalho et al. (2012) – Acauã, IAPAR 59 e IPR 103 – foi imune à ferrugem e sugere que a incidência das cultivares consideradas altamente resistentes à ferrugem quando a incidência variou de 1,5% a 4,5%; como medianamente resistentes, de 12,6% a 20,0%; medianamente suscetíveis, de 23,4% a 28,5%; e suscetíveis, de 48,3% a 77,0%, segundo a separação de Scott-Knott.

No experimento de Viçosa, os três genótipos com maiores produtividades médias (sacas ben. ha⁻¹) – IPR 103 (33,0), Catucaí Amarelo 24/137 (27,0) e Catucaí Amarelo 20/15 cv. 79 (26,20) – estiveram entre os que apresentaram as maiores incidências médias, com 54,0%, 63,4%, e 48,3%, respectivamente. Em Varginha, os três genótipos de maior produtividade (IPR 103, Catucaí Amarelo 20/15 cv. 479 e Catucaí Amarelo 24/137, com 51,95, 44,14 e 43,26 sacas ben. ha⁻¹) foram também os

que mostraram maiores incidências médias (com 47,25%, 55,55% e 40,95%, respectivamente).

Os genótipos de menor produtividade média em Viçosa – Catucaí Vermelho 785/15 (10,4), IPR 98 (10,4), IPR 104 (12,0), IAPAR 59 (13,5), Tupi Amarelo IAC 5162 (13,2) e Obatã (16,0) – apresentaram 63,1%, 5,0%, 1,8%, 1,5%, 23,4% e 0,0% de incidência de ferrugem, respectivamente. Portanto, cinco dos seis genótipos com baixa produtividade também tiveram baixa incidência da ferrugem. Em Varginha, os genótipos de menor produtividade média foram IPR 98 (16,53), IPR 104 (17,55), Tupi Amarelo IAC 5162 (18,68) e IAPAR 59 (20,71), com incidência de 5,6%, 1,5%, 25,6% e 1,5%, respectivamente. Os genótipos de baixa produtividade em Varginha foram superiores aos de Viçosa e os que obtiveram baixa incidência da ferrugem.

Os genótipos que apresentaram as maiores produtividades em Viçosa, variando de 24,5 (Oeiras MG 6851) a 33,0 sacas ben. ha⁻¹ (IPR 103) , corresponderam às incidências de 68,5% e 54,0%, respectivamente. Em Varginha, as produtividades do Obatã Amarelo (31,6) e IPR 103 (51,95 sacas ben. ha⁻¹) corresponderam às incidências de ferrugem de 87,5% e 47,25%. Portanto, tais genótipos podem ser considerados tolerantes à ferrugem, pois mantiveram alta produtividade mesmo com alta incidência da doença. A tolerância do cafeeiro à ferrugem é uma característica altamente desejável em razão principalmente da ineficiência (menos duradoura) da resistência ‘raça específica’ (resistência vertical) e das dificuldades de identificação e quantificação da resistência horizontal (HARTMAN; MILES; FREDERICK, 2005; HARTMAN; WANG; TSCHANZ, 1991). O conceito de tolerância foi aplicado primeiramente a vírus de planta (SCHAFER, 1971; TRUDGILL, 1991).

Entretanto, Agrios (2005) relatou que a tolerância resulta de características específicas, quantitativas e herdáveis da planta, que, embora permitam que o patógeno infecte, colonize e se multiplique no hospedeiro, mantêm a produtividade similar à do hospedeiro sadio. Assim, na tolerância, uma cultivar apresenta alta produtividade, independentemente da alta incidência e/ou severidade da doença. Os mecanismos genéticos que levam à tolerância à doença são pouco conhecidos e há pouco progresso registrado nessa área desde que a primeira referência à tolerância de plantas foi feita por Cobbe 1884 apud SCHAFER (1971).

De acordo com Vanderplank (1969), genótipos de plantas com maior período latente e menor intensidade de esporulação, em relação à cultivar padrão, apresentam resistência horizontal. No presente estudo, considerando a raça II, o período latente (dias) e o grau de esporulação (escala de Tamayo, 1995) nos genótipos Tupi Amarelo IAC 5162 foram de 23 dias e 4 (escala de Tamayo, 1995) e Pau Brasil MG1, 29 dias e 4. Para a raça XXXIII, o período latente e o grau de esporulação os genótipos Sabiá e Catiguá MG1 foram de 42 dias e 4 (escala de Tamayo, 1995). Além disso, para o Catucaí Vermelho 20/15 cv. 476, o período latente e o grau de esporulação foram de 32 (dias) e 4 (escala de Tamayo, 1995), respectivamente; para a cultivar padrão, Catucaí Vermelho IAC 15, o período latente e o grau de esporulação foram de 20 e 5 para a raça II e de 17 e 6 para a raça XXXIII.

Quanto aos resultados dos genótipos avaliados com as raças II (V₅) e XXXIII (V_{5,7,9}), comparados com os obtidos em campo, verificou-se que todos os genótipos de café foram suscetíveis à raça XXXIII (incidência de 75% a 100%). É possível que a pressão de inóculo e a presença de várias raças de *H. vastatrix* em campo, durante os sete anos do experimento, tenham proporcionado alta incidência e severidade da ferrugem. Contudo, como a composição patotípica da população de *H. vastatrix* em Viçosa e Varginha não foi determinada, é grande a possibilidade da presença de no mínimo três genes de virulência (v_{5,7,9}) devido à alta suscetibilidade dos genótipos no teste de campo.

Quanto aos teores de clorofilas e carotenoides, obteve-se significância para clorofila b, total e carotenoides. Embora houvesse grande variação dos valores entre os genótipos, ao contrário do relato de diversos autores, não se obteve correlação com alta ou baixa produtividade nem com alta ou baixa incidência da ferrugem. De acordo com Ower, Farrar e Whitbread (1981), os agentes causadores de doenças em plantas podem afetar diversos processos fisiológicos em seus hospedeiros, tanto direta quanto indiretamente.

Em decorrência da infecção ocasionada por patógenos, pode haver o desenvolvimento de áreas cloróticas e necróticas na planta, devido aos danos estruturais dos cloroplastos, ocorrendo a redução da clorofila e da produção de assimilados fotossintéticos (BERGER; SINHA; ROITSCH, 2007).

Vários pesquisadores relataram que a produtividade pode estar correlacionada com os teores de pigmentos fotossintéticos da planta. Boggs et al. (2003), Güler e Özçelik (2007) e Ramesh et al. (2002) encontraram correlações positivas entre os teores de clorofila das folhas e a produtividade de diferentes culturas. Dessa forma, a clorofila poderia ser utilizada como um indicativo de produtividade; entretanto, esse fato não ocorreu com os genótipos de cafeeiro avaliados.

5. CONCLUSÕES

Os genótipos apresentam comportamento variável nos diferentes ambientes, tanto em relação à produtividade quanto à resistência à ferrugem.

O tipo de resistência predominante nos testes em campo foi a quantitativa; entretanto, vários genótipos apresentaram tolerância à doença.

A cultivar Obatã apresentou resistência vertical em campo, como também as raças II e XXXIII de *Hemileia vastatrix* no laboratório.

Não se obteve correlação com alta ou baixa produtividade e nem com alta ou baixa incidência da ferrugem para clorofila a, b, total e carotenoides.

6. REFERÊNCIAS

- AGRIOS, G. N. **Plant pathology**. 5th ed. New York: Elsevier Academic Press, 2005. 922 p.
- BANZATTO, D. A.; KRONKA, S. do N. **Experimentação agrícola**. 4. ed. FUNEP, 2013. p. 237.
- BERGER, S.; SINHA, A. K.; ROITSCH, T. Plant physiology meets phytopathology: plant primary metabolism and plant-pathogen interactions. **Journal of Experimental Botany**, v. 58, n. 15-16, p. 4019-4026, 2007.
- BOGGS, J. L. et al. Relationship between hyperspectral reflectance, soil nitrate-nitrogen, cotton leaf chlorophyll, and cotton yield: a step toward precision agriculture. **Journal of Sustainable Agriculture**, v. 22, n. 3, p. 5-16, 2003.
- CAPUCHO, A. S. et al. Identification of race XXXIII of *Hemileia vastatrix* on *Coffea arabica* Catimor derivatives in Brazil. **Australasian Plant Disease Notes**, v. 7, n. 1, p. 189-191, 2012.
- CARDOSO, R. M. L. Novas raças fisiológicas de *Hemileia vastatrix* Berk. et Br. no Brasil; métodos de identificação e detecção de grupos fisiológicos em cafeeiros derivados do híbrido de Timor. 1986. 102 f. Tese (Doutorado em Fitopatologia) – Universidade Federal de Viçosa, 1986.
- CARVALHO, A. et al. Breeding programs. In: **Coffee rust: epidemiology, resistance, and management**. Boca Raton, Florida: CRC Press, Inc., 1989. p. 293-345.
- CARVALHO, A. M. DE et al. Desempenho agrônomico de cultivares de café resistentes à ferrugem no Estado de Minas Gerais, Brasil. **Bragantia**, v. 71, n. 4, p. 481-487, 2012.
- COSTA, J. C. et al. Field performance of coffee progenies and cultivars with specific resistance to rust. **Coffee Science**, Lavras, n. 2, p. 176-184, 2012.
- CARVALHO, A. M. et al. Behavior of coffee cultivars under the incidence of diseases of rust and gray leaf spot in two cultivation environments. **Coffee Science**, v. 12, n. 1, p. 100-107, 2017.

ESKES, A. B. The use of leaf disk inoculations in assessing resistance to coffee leaf rust (*Hemileia vastatrix*). **Netherlands Journal of Plant Pathology**, v. 88, n. 4, p. 127-141, 1982.

FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA. **Comportamiento de la Industria Cafetera Colombiana**. Disponível em: <https://www.federaciondecafeteros.org/static/files/Informe_Industria_2017.pdf>. Acesso em: 13 set. 2018.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a guide for its Bootstrap procedures in multiple comparisons. **Ciênc. Agrotec.** v. 38, n. 2, p. 109-112, 2014.

FLÓREZ, C. P. et al. Cenicafé 1: nueva variedad de porte bajo, altamente productiva, resistente a la roya y al CBD, con mayor calidad física del grano. Gerencia tecnica, Programa de investigación Científica, Fondo Nacional del Café. Avances tecnicos. **CENICAFE**, p. 8. Junio 2016.

GROSSI, L. Del et al. Rust resistance in arabic coffee cultivars in northern Paraná. **Arch. Biol. Technol.**, v. 56, n. 1, p. 27-33, 2013.

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

GÜLER, S.; ÖZÇELİK, H. Relationships between leaf chlorophyll and yield related characters of dry bean (*Phaseolus vulgaris* L.). **Asian Journal of Plana Sciences**, v. 6, n. 4, p. 700-703, 2007.

HARTMAN, G. L.; MILES, M. R.; FREDERICK, R. D. Breeding for resistance to soybean rust. **Plant Disease**, v. 89, n. 664-666, 2005.

HARTMAN, G. L.; WANG, T. C.; TSCHANZ, A. T. Soybean rust development and the quantitative relationship between rust severity and soybean yield. **Plan Disease**, v. 75, n. 6, p. 596-600, 1991.

LIBERATO, R. **Development and evaluation of the software QUANT for quantification of plant disease by image analysis**. 2003. Tese (Doutorado em

Fitopatologia) – Federal University of Vicosa, Viçosa, MG, 2003.

McCOOK, S.; VANDERMEER, J. The big rust and the red queen: long-term perspectives on coffee rust research. **Phytopathology**, v. 105, n. 9, p. 1164-1173, 2015.

OWERA, S. A. P.; FARRAR, J. F.; WHITBREAD, R. Growth and photosynthesis in barley infected with brown rust. **Physiological Plant Pathology**, v. 18, p. 79-90, 1981.

PEREIRA, A. A.; OLIVEIRA, A.C.B.; SAKIYAMA, N.S. Híbrido de Timor como fonte de resistência a doenças e de qualidade da bebida do cafeeiro. IN: Manejo Fitossanitário da Cultura do Cafeeiro. Sociedade Brasileira de Fitopatologia. Brasília DF - 2008.

PEREIRA, R. et al. Protocolo para extração de pigmentos foliares em porta-enxertos de videira micropropagados. **Ceres**, v. 55, n. 4, p. 356-364, 2008.

PRAKASH, N. S.; GANESH, D.; BHAT, S. S. Population dynamics of coffee leaf rust (*Hemileia vastatrix* BERK. ET BR.) and recent advances in rust research in India. In: ZAMBOLIM, L.; ZAMBOLIM, E. M.; VÁRZEA, V. M. P. (Ed.). **Durable resistance to coffee leaf rust**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2005. p. 411-442.

RAMESH, K. et al. Chlorophyll dynamics in rice (*Oryza sativa*) before and after flowering based on SPAD (chlorophyll) meter monitoring and its relation with grain yield. **Journal of Agronomy and Crop Science**, v. 188, n. 2, p. 102-105, 2002.

RODRIGUES JR, C. J.; GONÇALVES, M. M.; VARZEA, V. M. P. Importância do Híbrido de Timor para o território e para o melhoramento da cafeicultura mundial. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 27, p. 203-216, 2004.

SANTACREDO, R. Variedades y mejoramiento genético del café. In: **Manual de caficultura**. 3. ed. Tegucigalpa: IHCAFE, 2001. p. 23-40.

SCHAFFER, J. F. Tolerance to plant disease. **Annual Review of Phytopathology**, v. 9, n. 1, p. 235-252, set. 1971.

SILVA, R. A. **Caracterização de raças fisiológicas e análise de proteínas candidatas a efetoras em população de *Hemileia vastatrix* no Brasil**. 75p. Tese (Doutorado em Fitopatologia) – Universidade Federal de Viçosa, 2017.

TAMAYO, P. J. et al. Catimor resistance to coffee leaf rust and virulence of

- physiological races of *Hemileia vastatrix*. **Fitopatologia Brasileira**, p. 572-576, 1995.
- TRUDGILL, D. L. Resistance to and tolerance of plant parasitic nematodes in plants. **Annual Review of Phytopathology**, v. 29, n. 1, p. 167-192, set. 1991.
- VANDERPLANK, J. E. Disease resistance in plants. **The American Association for the Advancement of Science**, p. 210, 1969.
- VÁRZEA, V. M. P.; MARQUES, D. V. Population variability of *Hemileia vastatrix* vs. coffee durable resistance. In: ZAMBOLIM, L.; ZAMBOLIM, E. M.; VÁRZEA, V. M. P. (Ed.). **Durable resistance to coffee leaf rust**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2005. p. 53-74.
- WELLBURN, A. R. The spectral determination of chlorophylls a and b, as well as total carotenoides, using various solvents with spectrophotometers of different resolution. **J. Plant Physiol.**, v. 144, p. 307-313, 1994.
- ZAMBOLIM, L.; CHAVES, G. M. Efeito de baixas temperaturas e do binômio temperatura umidade relativa sobre a viabilidade dos uredosporos de *Hemileia vastatrix* Berk. et Br. e *Uromyces phaseolityca*. **Arth. Experientiae**, p. 151-184, 1974.
- ZAMBOLIM, L. et al. Physiological races of *Hemileia vastatrix* Berk. et Br. in Brazil-Physiological variability, current situation future prospects. In: ZAMBOLIM, L.; ZAMBOLIM, E. M.; VÁRZEA, V. M. P. (Ed.). **Durable resistance to coffee leaf rust**. Viçosa, MG: UFV, 2005. p. 53-74.
- ZAMBOLIM, L. Current status and management of coffee leaf rust in Brazil. **Tropical Plant Pathology**, v. 41, n. 1, p. 1-8, 2016.
- ZAMBOLIM, L.; CAIXETA, E. T. Ferrugem. In: ZAMBOLIM, L.; BRENES, B. M. (Ed.). **Doenças no café no Brasil Enfermedades del café en Central America**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2018. p. 17-45.

CAPÍTULO III

Novos patótipos de *Hemileia vastatrix* identificados na cultura do café em Honduras

1. INTRODUÇÃO

A produção mundial de café na safra 2017/2018 foi de 164,81 milhões de sacas (aumento de 5,7% em relação à safra 2016/2017). A produção de café arábica cresceu 2,2%, para 101,82 milhões, e a de robusta, 11,7%, para 62,99 milhões de sacas (ICO, 2018). O Brasil destaca-se como o maior produtor mundial, com 59,9 milhões de sacas beneficiadas, um crescimento de 33,2% em comparação à safra anterior (CONAB, 2018). Na América Central, no ano agrícola 2012/2013, a produção foi de 13.385.000 sacas de café. No entanto, essa produção poderia ter sido maior se não houvesse ocorrido na região um surto epidêmico da ferrugem do cafeeiro, que provocou redução média na produção de 20%, cerca de 3,5 milhões de sacas de 60 kg beneficiadas (FEWSNET/PROMECAFE, 2016).

Em Honduras, a ferrugem reduziu a produção em torno de 23% na safra 2012/2013 (IHCAFE, 2013). Essa e outras epidemias ocorridas na América Central foram causadas por diferentes combinações de fatores, destacando-se os econômicos, tratamentos culturais inadequados e fatores do clima favoráveis (temperatura, umidade relativa e chuva) (AVELINO et al., 2015).

Após a chegada da ferrugem na América Central no final da década de 1970, as epidemias internas dos países produtores nos últimos 37 anos, tanto na América Central como na Colômbia, coincidiram com baixos períodos de retorno econômico na cultura de café, como ocorreu na epidemia da América Central de 2012-2013 (AVELINO et al., 2015). A baixa rentabilidade na cultura provocou redução nos tratamentos culturais das lavouras de café, aumentando a vulnerabilidade a pragas e doenças.

A ferrugem do cafeeiro, principal doença que afeta a produção mundial de café, é causada pelo fungo biotrófico *H. vastatrix* Berk. & Br. (Basidiomycota, Pucciniales) (TONIUTTI et al., 2017). A temperatura favorável à infecção é de 21 °C a 24 °C, e o tempo de molhamento foliar mínimo é de 24 horas (CAPUCHO et al., 2011). Os danos na produtividade do café causados pela ferrugem ocorrem sempre no ano seguinte ao ataque da doença e são precedidos de desfolha e seca de ramos causados pela doença no ano anterior. Em geral, os danos variam de 35% a 50%, se medidas de controle não forem adotadas (ZAMBOLIM, 2016). A doença geralmente não causa danos em altitudes acima de 1.200 m, onde o ambiente não favorece a infecção do patógeno. Até o

momento não se conhece hospedeiro alternativo para o fungo (TALHINHAS et al., 2014).

Em relação às raças de *H. vastatrix*, existem no mundo cerca de 50 raças fisiológicas descritas (VÁRZEA; MARQUES, 2005). No Brasil, há 16 raças descritas, porém é possível que haja mais de 10 novas raças ainda não identificadas (ZAMBOLIM, 2016; ZAMBOLIM; CAIXETA, 2018).

Na Costa Rica, América Central, foram constatadas as raças XXIV com genes de virulência ($v_{2, 4, 5}$) e XXXVI ($v_{2, 4, 5, 8}$) em genótipos suscetíveis à raça II (Caturra e Catuaí). Na Guatemala, foram encontradas as raças XXV ($v_{2, 5, 6}$) e XXVIII ($v_{2, 4, 5, 6}$). Em Honduras, em amostras enviadas ao Centro de Investigação das Ferrugens do Cafeeiro (CIFC), em Oeiras, Portugal, em diversos anos (1977, 1984, 1992, 1993, 1994 e até 1998) só foram identificadas as raças II (v_5) e I ($v_{2, 5}$) de *H. vastatrix* (AVELINO et al., 1999). No entanto, a composição de raças da população de *H. vastatrix* nesse país é atualmente desconhecida.

A diferenciação de raças fisiológicas de *H. vastatrix* é feita empregando-se atualmente clones diferenciadoras de café com diferentes genes (SH) dominantes para a resistência vertical. A reação de hipersensibilidade, HR (STAKMAN, 1915), é utilizada para identificação das raças fisiológicas, que se caracteriza por apresentar pontuações cloróticas e às vezes necróticas no local de penetração do fungo (BETTENCOURT; RODRIGUES JR., 1988). Portanto, a caracterização de raças fisiológicas de *H. vastatrix* baseia-se na teoria gene-a-gene (FLOR, 1971).

O parque cafeeiro da América Central foi formado até 2010/2012, principalmente por cultivares altamente suscetíveis a *H. vastatrix*, como Caturra, Bourbon, Pacas, Catuaí e Pacamara. Nos anos posteriores, foram introduzidas novas cultivares oriundas do cruzamento entre a variedade Caturra CIFC 19/1 e o HDT CIFC 832/1 e entre a cultivar Villa Sarchi e o HDT CIFC 832/2, realizadas no CIFC, Oeiras, Portugal. Todos os países da América Central, a partir do recebimento das sementes do CIFC, iniciaram a produção de cultivares com genes de resistência oriundos do HDT. As principais cultivares estabelecidas atualmente nos países da América Central são Lempira, IHCAFE 90, Costa Rica 95, Parainema e Colismor 8667. Outras denominações de Catimores e Sarchimores, além de derivados da cultivar Icatu, também estão sendo cultivadas na América Central.

Como consequência, foram introduzidas cultivares com genes de resistência oriundos do cruzamento de *Coffea arabica* L. SH₅, Caturra e Villa Sarchi com os HDTs (CIFC 832/1 e 832/2) portadores dos genes SH₆ a SH₉. No entanto, cultivares com resistência vertical que foram amplamente plantadas em alguns países, como a Lempira em Honduras, teve suplantada a sua resistência. A cultivar Lempira é o resultado de um cruzamento realizado no CIFC em 1959 entre a cultivar Caturra Vermelho 19/1 de *Coffea arabica* e o HDT CIFC 832/1. Atualmente, além da Lempira, outras cultivares previamente consideradas resistentes (Costa Rica 95, IHCAFE 90 e Colismor 8667) também apresentaram ferrugem nos dois últimos anos. Atualmente, somente a cultivar Parainema é imune à ferrugem na América Central.

Este trabalho se justifica em virtude da suplantação da resistência vertical de várias cultivares de café com resistência vertical à ferrugem na América Central. O conhecimento das raças que atacam as cultivares tem por objetivo dar subsídios aos programas de melhoramento genético que estão sendo desenvolvidos nos países da América Central.

Tendo em vista o exposto, o objetivo deste trabalho foi caracterizar raças de *H. vastatrix* Berk. & Br. presentes em Honduras.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Coleta de isolados de *H. vastatrix*

Folhas de café das cultivares Catuaí Vermelho e Lempira, apresentando esporulação característica da ferrugem, de 15 lavouras de café distribuídas no país foram coletadas e enviadas ao Centro de Pesquisa e Treinamento Jesús Aguilar Paz (CIC JAP), em La Fe Iláma Sta. Barbara, localizado a 756 m, com 14° 59' 20" de latitude norte e 88° 56' 55" de longitude oeste. Foram colhidas folhas com esporulação abundante de *H. vastatrix*, do terço médio de três plantas, nos quatro pontos cardinais da lavoura de café, uma folha por ponto cardinal. Cada isolado foi constituído por uredósporos presentes nas 12 folhas, pertencentes a três plantas de café de cada lavoura, por meio de raspagem com cápsula de gelatina (Tabela 1).

Tabela 1 - Descrição e origem geográfica dos isolados de *H. vastatrix* utilizados no trabalho

Número de isolado	Nome do Produtor	Genótipo /Cultivar	Estado	Município	Latitude N	Longitude O	Altitude (m)
1 OH	IHCAFE	Lempira	Olancho	Campamento	14°,32'16"	-86°,42'47"	750
2 OH	Mario Palma	Lempira	Olancho	Campamento	14°,35'21"	-86°,44'24"	1050
3 OH	Mario Palma	Lempira	Olancho	Campamento	14°,35'21"	-86°,44'24"	1050
9 H	José A. Rodriguez	Catuaí	Sta. Bárbara	Arada	14°,48'00"	-88°,08'24"	1425
10 H	Hector Urquia	Catuaí	Copán	San Juan Opoa	14°,46'12"	-88°,41'24"	865
14 H	Santos L. Carranza	Catuaí	El Paraíso	Moroceíl	14°,09'00"	-86°,30'00"	1455
17 H	María E. Vasquez	Catuaí	Lempira	Lepaera	14°,46'80"	-88°,34'48"	1455
18 H	Rigoberto Sarabia	Catuaí	Ocotepeque	Ocotepeque	14°,26'40"	-89°,15'00"	1455
24 H	Justo P. Mejía Reyes	Catuaí	Yoro	Victoria	15°,09'00"	-88°,37'48"	1160
29 H	Faustino Benitez Flores	Catuaí	Comayagua	Comayagua	14°,27'00"	-87°,38'24"	890
43 H	Jorge A. Najera Calix	Catuaí	Olancho	San Fco. de la Paz	14°,06'00"	-86°,06'00"	1277
59 H	José A. Martínez B.	Catuaí	Choluteca	San Marcos de Colón	13°,24'00"	-86°,48'00"	1075
60 H	Ramon A. Corrales	Catuaí	Choluteca	San Marcos de Colón	13°,24'00"	-86°,48'00"	1036
67 H	José Luis Molina	Lempira	Olancho	Catacamas	14°,54'00"	-85°,48'00"	1116
70 H	Virgilio A. Maldonado	Lempira	Olancho	Juticalpa	14°,30'00"	-88°,36'36"	850
74 H	José A. Felipe	Lempira	Colón	Bonito Oriental	15°,30'00"	-85°,48'00"	1018

2.2 Multiplicação do inóculo de *H. vastatrix*

De 15 lavouras de café amostradas, foram obtidos 16 isolados de *H. vastatrix*, sendo três deles nomeados Olancho, Honduras (OH) e encontrados em duas lavouras plantadas com a cultivar Lempira (Catimor) na municipalidade de Campamento; os outros 13, nomeados Honduras (H), foram coletados em *Coffea arabica* cultivar Catuaí Vermelho ou cultivar Lempira em outras municipalidades. Os isolados foram inoculados em mudas de *Coffea arabica* variedade Caturra CIFC 19/1, com idade entre 5 e 6 meses. Foram obtidos isolados monopostulares, seguindo a metodologia descrita por Capucho et al. (2009).

As inoculações nas mudas de café, após obtenção dos isolados monopostulares, foram realizadas segundo a metodologia de Zambolim e Chaves (1974). Para prevenir a infecção cruzada, as mudas inoculadas foram mantidas em compartimentos individuais, dentro de câmaras de incubação.

Os uredósporos coletados foram mantidos em cápsulas de gelatina e armazenados dentro de um dessecador com 50% de umidade relativa a 5 °C, visando manter a viabilidade deles no momento de cada inoculação (ZAMBOLIM, L.;

CHAVES, 1974). Também foram armazenados uredósporos a -80 °C, após prévio tratamento com nitrogênio líquido.

2.3 Inoculação dos isolados nos clones da série diferenciadora de raças de *H. vastatrix*

A inoculação dos 24 clones diferenciadores de *H. vastatrix* foi realizada em 16 discos de folha (1,5 cm de diâmetro) por clone da série diferenciadora, obtidos por meio de um furador de metal vazado. Logo a seguir, os discos foram colocados sobre uma tela de náilon, e esta, sobre espuma umedecida dentro de um gerbox. A inoculação em discos foi feita segundo a metodologia de Eskes (1982). As avaliações foram realizadas aos 30, 40, 50 e 60 dias após a inoculação. A caracterização patotípica de *H. vastatrix* foi baseada na ausência ou presença de uredósporos nos discos foliares.

2.4 Designação dos patótipos de *H. vastatrix* e possíveis novos genes de resistência nos clones diferenciadores

Depois de obter o padrão de resposta dos isolados nas diferenciadoras, foram inferidos os genes de virulência do patógeno, com base na teoria gene-a-gene proposta por Flor (1971), considerando as interações compatíveis indicativas da presença de fatores de virulência no fungo. Uma vez encontrados os genes de virulência no patógeno, os patótipos foram comparados com os resultados de Bettencourt (1981), para determinar a qual raça o isolado pertence. Nos casos em que não houve possibilidade de designar a raça, optou-se por designá-lo de patótipo.

Além disso, quando possíveis novos genes de resistência foram inferidos, eles foram acrescidos da base genética do clone da série diferenciadora. Por exemplo, um clone diferenciador contendo os genes de resistência SH_{2, 5} deveria ser suplantado por uma raça possuidora v_{2, 5}; quando isso não ocorre, infere-se que o genótipo diferenciador contém pelo menos um gene de resistência adicional, que causa a incompatibilidade.

3. RESULTADOS

3.1 Resposta dos clones da série diferenciadora à inoculação com isolados de *H. vastatrix*

O padrão de resposta dos clones encontra-se na Tabela 2. Dos 23 clones utilizados para a caracterização de raças, somente 16 apresentaram reação compatível. Os clones diferenciadores que mostraram maior suscetibilidade a maior número de isolados de *H. vastatrix* foram CIFIC 19/1 (SH₅), CIFIC 32/1 (SH_{2,5}), CIFIC 152/3 (SH_{2,4,5}) e CIFIC 134/4 (SH_{1,4}) os quais apresentaram interação compatível com 16 isolados de *H. vastatrix*.

Tabela 2 - Padrão de resposta de clones diferenciadores de raças (com seus respectivos genes de resistência) à inoculação com isolados de *H. vastatrix* coletados em Honduras

Isolados de <i>H. vastatrix</i>	Genes de resistência (SH)																						
	Clones diferenciadores																						
	832/1	832/2	17/12	19/1	32/1	33/1	87/1	110/5	128/2	134/4	147/1	151/1	152/3	153/2	419/20	420/2	420/10	635/2	635/3	644/18	1006/10	1343/269	7963/117
6, 7, 8, 9, 10, ?				S	S		S		S			S				S							S
6, 7, 8, 9, 10, ?				S	S		S		S			S			S	S	S						S
1, 2, 4, 5, ?				S	S		S		S			S		S		S							S
5				S			S		S														
2, 5				S	S		S		S			S				S	S						S
3, 5				S	S		S		S			S			S		S	S					S
1, 5,				S	S		S		S			S			S		S				S		S
4, 5, ?				S	S		S		S			S			S		S	S			S		S
1, 10				S	S		S		S			S			S		S	S			S		S
1, 4				S	S		S		S			S			S		S	S			S		S
1, 3, 4, 5				S	S		S		S			S			S		S	S			S		S
3, 4, 5				S	S		S		S			S			S		S	S			S		S
2, 4, 5				S	S		S		S			S			S		S	S			S		S
1, 3, 5				S	S		S		S			S			S		S	S			S		S
5, 6, 9, 10				S	S		S		S			S			S		S	S			S		S
5, 8				S	S		S		S			S			S		S	S			S		S
5, 6, 9, 10				S	S		S		S			S			S		S	S			S		S
4, ?				S	S		S		S			S			S		S	S			S		S
1, 4, 5, ?				S	S		S		S			S			S		S	S			S		S
10				S	S		S		S			S			S		S	S			S		S
1, 2, 5, ?				S	S		S		S			S			S		S	S			S		S
6, 10,				S	S		S		S			S			S		S	S			S		S
5, 7				S	S		S		S			S			S		S	S			S		S

Espaços em branco = (Interação Incompatível) S = (Interação compatível)

3.2 Designação raças fisiológicas de *H. vastatrix* e possíveis novos genes de resistência

Após obter o padrão de resposta dos clones diferenciadores de raças, foram inferidos os genes de virulência dos isolados de *H. vastatrix*, com base na teoria de Flor (1971) (Tabela 3). Os resultados também indicam a presença de possíveis novos genes de resistência em clones da série diferenciadora de raças de *H. vastatrix*. Tais genes

foram inferidos quando isolados carregando os genes de virulência que deveriam suplantar os genes de resistência correspondentes no clone diferenciador, não foram capazes de causar doença nesse clone. Todos os isolados em estudo possuem genes de virulência v 2, 5 porem nos isolados 9 H e 60 H ainda que possuem os genes virulencia v 2, 5 não houve interação compatível. Por esse fato, a Incompatibilidade entre o isolado 60 H e o clone diferenciador 32/1 acredita-se existe um gene de resistência que ainda não foi explorado, por essa razão foi nomeado inicialmente como gene de resistência A. No total, foram inferidos dez novos genes (A-J) de resistência presentes nos clones diferenciadores de raças de H. vastatrix.

Tabela 3 - Novos genes de resistência propostos nos clones diferenciadores de raças e genes de virulência inferidos na população de H. vastatrix em Honduras

Isolados de H. vastatrix	Genes de resistência (SH)																							
	6, 7, 8, 9, 10, ?	6, 7, 8, 9, 10, ?	1, 2, 4, 5, E ?	5	2, 5 A	3, 5	1, 5, F	4, 5, J ?	1, 10	1, 4	1, 3, 4, 5	3, 4, 5	2, 4, 5 I	1, 3, 5	5, 6, 9, 10 H	5, 8	5, 6, 9, 10	4, ? G	1, 4, 5, D ?	10	1, 2, 5, C ?	6, 10,	5, 7 B	
	Clones diferenciadores																							
	832/1	832/2	17/12	19/1	32/1	33/1	87/1	110/5	128/2	134/4	147/1	151/1	152/3	153/2	419/20	420/2	420/10	635/2	635/3	644/18	1006/10	1343/269	7963/117	
1 OH v1, 2, 4, 5, 6, 7, 9, 10, A*, B, I, J*, ?			E	S	S			S		S			S			S								S
2 OH v1, 2, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, A, B, G, I, J?				S	S			S		S			S			S	S	S	D					S
3 OH v1, 2, 4, 5, 6, 7, 9, 10, A, B, H, I, J?				S	S			S		S			S		S		S	G						S
9 H v1, 2, 3, 4, 5, A, D, E, F, I, J?				S				S		S														
10 H v1, 2, 4, 5, 6, 7, 9, 10, A, E, G, I, J?				S	S	S		S		S			S			S	S							B
14 H v1, 2, 4, 5, 8, A, D, E, F, G, I, J?				S	S	S	S	S		S			S		S		S	S				C		
17 H v1, 2, 4, 5, A, E, J ?				S	S	S		S		S			I											
18 H v1, 2, 4, 5, A, C, E, G, I, J?				S	S	S		S		S			S				S				S			
24 H v2, 4, 5 A, I				S	S	S		J					S											
29 H v1, 2, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, A, C, D, G, I, J?				S	S		F	S		S			S			S	S	S	S		S			
43 H v1, 2, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, A, C, F, G, I, J?				S	S		S	S		S					H	S	S	S			S			
59 H v1, 2, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, A, C, D, E, G, I, J?				S	S	S		S		S			S			S	S	S	S		S			
60 H v1, 2, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, D, E, G, I, J ?				S	S	A		S		S			S			S	S	S	S					
67 H v1, 2, 4, 5, 6, 7, 9, 10, A, H, I, J?				S	S			S		S			S		S		S							
70 H v1, 2, 4, 5, 7, 8 A, B, I, J?				S	S			S		S			S			S								S
74 H v1, 2, 4, 5, 7, A, B, D, F, G, I?				S	S		S			S			S					S						

Espaços em branco = (Interação Incompatível) S = (Interação compatível)

A*J* Genes de resistência sendo propostos

Nenhuma das combinações dos genes de virulência encontradas nos isolados de Honduras enquadrou-se no conteúdo de genes de virulência para as raças de H. vastatrix

relatadas por Bettencourt e Noronha-Wagner (1971), usando 16 clones diferenciadores.

Neste trabalho, foram inferidos mais 16 patótipos de *H. vastatrix* (Tabela 4).

Tabela 4 - Raças e patótipos de *H. vastatrix* identificados em Honduras e seus respectivos genes de virulência.

No. de isolado	Genótipos/ Cultivares	Estado	Município	Raças caracterizadas/ Patótipos	Genes de virulência inferidos
				II	v2
				I	v2,5
1 OH	Lempira	Olancho	Campamento	Pat 01	v1, 2, 4, 5, 6, 7, 9, 10, A, B, I, J, ?
2 OH	Lempira	Olancho	Campamento	Pat 02	v1, 2, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, A, B, G, I, J, ?
3 OH	Lempira	Olancho	Campamento	Pat 03	v1, 2, 4, 5, 6, 7, 9, 10, A, B, H, I, J, ?
9 H	Catuaí	Sta. Bárbara	Arada	Pat 04	v1, 2, 3, 4, 5, A, D, E, F, I, J, ?
10 H	Catuaí	Copán	San Juan Opoa	Pat 05	v1, 2, 4, 5, 6, 7, 9, 10, A, E, G, I, J, ?
14 H	Catuaí	El Paraíso	Morocelí	Pat 06	v1, 2, 4, 5, 8, A, D, E, F, G, I, J, ?
17 H	Catuaí	Lempira	Lepaera	Pat 07	v1, 2, 4, 5, A, E, J, ?
18 H	Catuaí	Ocotepeque	Ocotepeque	Pat 08	v1, 2, 4, 5, A, C, E, G, I, J, ?
24 H	Catuaí	Yoro	Victoria	Pat 09	v2, 4, 5 A, I
29 H	Catuaí	Comayagua	Comayagua	Pat 10	v1, 2, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, A, C, D, G, I, J, ?
43 H	Catuaí	Olancho	San Fco. de la Paz	Pat 11	v1, 2, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, A, C, F, G, I, J, ?
59 H	Catuaí	Choluteca	San Marcos de Colón	Pat 12	v1, 2, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, A, C, D, E, G, I, J, ?
60 H	Catuaí	Choluteca	San Marcos de Colón	Pat 13	v1, 2, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, D, E, G, I, J, ?
67 H	Lempira	Olancho	Catacamas	Pat 14	v1, 2, 4, 5, 6, 7, 9, 10, A, H, I, J, ?
70 H	Lempira	Olancho	Juticalpa	Pat 15	v1, 2, 4, 5, 7, 8 A, B, I, J, ?
74 H	Lempira	Colón	Bonito Oriental	pat 16	v1, 2, 4, 5, 7, A, B, D, F, G, I, ?

4. DISCUSSÃO

A variabilidade patotípica de *H. vastatrix* não variou de acordo com a altitude onde os isolados foram coletados. No Brasil, a ferrugem do cafeeiro causa maiores danos em altitudes até 1.000 m (ZAMBOLIM, 2016). Na América Central, a doença é severa em altitudes até acima de 1.500 m. Os países da região estão localizados na latitude N 15°0'0" e longitude 86°30'0", diferentemente do Brasil, onde a latitude e longitude são de 20° 45' 24" S e W 42° 52' 54", respectivamente. Além disso, 95% das lavouras de café na América Central estão sob semissombreamento de florestas naturais ou artificiais sob espécies de ingás (AVELINO et al., 2015).

As principais cultivares de café utilizadas pelos produtores na região da América Central são Caturra, Bourbon, Pacas e Pacamara, altamente suscetíveis à ferrugem. Há também em alguns países o plantio de cultivares resistentes, como em Honduras

(Lempira), no Salvador e Nicarágua (derivados de Catimores e Sarchimores) e Guatemala (derivados de Catimores). Pelo fato de os países plantarem cultivares suscetíveis à ferrugem, na sua grande maioria, os prejuízos atingiram cerca de 3,5 milhões de sacas de café beneficiadas de 60 kg (FEWSNET/PROMECAFE, 2016). Diante dessa situação, o produtor de café iniciou o controle químico da doença, por meio de pulverizações, principalmente com fungicidas sistêmicos. O emprego do controle químico tem elevado o custo de produção e provocado maior contaminação ao ambiente, notadamente devido ao fato de as fontes de água terem sua origem em altitudes mais elevadas.

Dos 16 isolados de *H. vastatrix* coletados nas cultivares Lempira e Catuaí Vermelho, em diferentes altitudes e locais, foram identificados 16 patótipos do patógeno. Não foi possível designá-los em nenhuma das raças previamente caracterizadas, devido à interação diferencial desses patótipos com os clones diferenciadores de raças de *H. vastatrix*.

Os primeiros trabalhos sobre diferenciação de raças de *H. vastatrix* foram realizados por Mayne (1932) na Índia. Ele diferenciou as raças 1, 2, 3 e 4, que correspondem às raças II, I, IX e VIII, respectivamente, da coleção de *H. vastatrix* do CIFC (VÁRZEA; MARQUES, 2005). No CIFC na cidade de Oeiras, Portugal d' Oliveira caracterizou mais de 45 raças de *H. vastatrix* em amostras de ferrugem coletadas na África, Índia e Américas (VÁRZEA; MARQUES, 2005). No Brasil, já foram identificadas cerca de 16 raças de *H. vastatrix* (ZAMBOLIM, 2016).

Em todos os países produtores de café houve predominância da raça II. Esse fato é atribuído à uniformidade genética das cultivares comerciais (Caturra, Catuaí, Bourbon, Mundo Novo) de *Coffea arabica* cultivada nessas regiões e à grande distribuição e suscetibilidade dessas cultivares a esta raça. O surgimento de outras raças é atribuído ao plantio de variedades resistentes, que aumenta a pressão de seleção sobre o patógeno (RODRIGUES; BETTENCOURT; RIJO, 1975; ZAMBOLIM et al., 2005).

A caracterização de raças fisiológicas de *H. vastatrix* é baseada nas diferenças fenotípicas observadas na interação entre *H. vastatrix* e clones da série diferenciadora de café. Essa interação diferencial se deve a variações patotípicas na população do patógeno. A mutação genética tem sido relatada como a principal causa de variação em *H. vastatrix*. A formação de heterocariose pode contribuir também para o surgimento de

novas raças, como acontece com outros patógenos, como *Puccinia graminis* f. sp. *tritici* (VÁRZEA; MARQUES, 2005).

Estudos feitos no passado mostraram que os uredósporos germinam para formar basídia (promycelia), produzindo tanto esterigmata como basidiósporos e formando os teliósporos uredinioides. Esse ciclo poderia representar uma adaptação recente, que evoluiu quando o hospedeiro selvagem de *H. vastatrix*, possivelmente a forma tetraploide de *C. arabica*, emergiu de um habitat florestal em um novo ecossistema, com clima mais seco, sendo estimulado para o desenvolvimento de novas estratégias para o patógeno, em um processo coevolutivo (FERNANDES; EVANS; BARRETO, 2009).

Isso pode ter levado o fungo *H. vastatrix* a concentrar suas energias em um único propágulo multifuncional, o teliósporo uredinioide, adaptado não só para dispersão, sobrevivência e infecção, mas também para recombinação sexual. É possível que os teliósporos de paredes finas, sem dormência inerente, tenham finalmente se tornado redundante (ou vestigiais) e genética e morfologicamente instáveis (FERNANDES; EVANS; BARRETO, 2009).

No entanto, uma reprodução sexual oculta (criptossexualidade) disfarçada dentro do esporo assexuado urediniósporo poderia explicar também o surgimento tão rápido de novas raças fisiológicas de *H. vastatrix*. Isso pode ter implicações importantes nas estratégias de melhoramento genético do cafeeiro visando o lançamento de novas variedades resistentes à doença (CARVALHO et al., 2011).

Flor (1971) foi o primeiro cientista a estudar o modelo genético que explica a associação coevolutiva entre uma planta e um fungo, no patossistema ferrugem (*Melampsora lini*) - linho (*Linu usitatissimum*). De acordo com a teoria gene-a-gene, para cada gene de resistência (R) no hospedeiro existe seu respectivo gene de Avirulência (Avr) no patógeno. A teoria de Flor se enquadra perfeitamente na interação Café-Hemileia, em que os genes dominantes de virulência do patógeno são inferidos pelos genes de resistência dominantes no cafeeiro (NORONHA-WAGNER; BETTENCOURT, 1967).

Estudos efetuados na Índia revelaram novas combinações de genes de virulência do patógeno capazes de infectar os clones diferenciadores HDT CIFC 832/1 e CIFC

832/2, considerados até então como imunes a *H. vastatrix*. Os genes de virulência inferidos e que produziram reação de suscetibilidade nestes dois clones foram $v_{2, 5, 6, 7, 8, 9, ?}$ (832/1) e $v_{2, 4, 5, 6, 7, 8, 9, ?}$ (832/2). Entretanto, os patótipos possuidores dessas combinações de genes de virulência daqueles isolados não foram caracterizados como raças fisiológicas, devido a la ausência de clones diferenciadores que apresentaram essas combinações de genes de resistência (BHAT et al., 2013).

O primeiro gene de resistência clonado em café foi o SH₃ (LASHERMES et al., 2010); o segundo foi o SH₁₀ (BARKA, 2017) e foi encontrado em sete clones diferenciadores (CIFC 128/2, CIFC 419/20, CIFC 420/10, CIFC 644/18, CIFC 832/1, CIFC 832/2 e CIFC 1343/269). No presente trabalho os clones diferenciadores CIFC 419/20 e CIFC 420/10 apresentaram interação compatível nos isolados (1 OH, 2 OH, 3 OH, 10H, 29H, 43H, 59H, 60H, e 67H). Esse fato significa que os isolados possuem na sua estrutura genética o gene de virulência v_{10} .

De acordo com Barka (2017), o gene SH₁₀ codifica para uma proteína NB-LRR, a qual está presente nos clones da série diferenciadora: CIFC 128/2, CIFC 419/20, CIFC 420/10, CIFC 644/18, CIFC 832/1, CIFC 832/2 e CIFC 1343/269. Portanto, tais diferenciadores passam a ter em sua estrutura genética o SH₁₀. Além disso, as raças caracterizadas no passado, que incluíam genes de virulência inferidos a partir destes clones diferenciadores, devem também ser constituídas pelo gene de virulência v_{10} , em sua estrutura genética de virulência.

Estudos realizados no passado por Noronha-Wagner e Bettencourt (1967) indicaram que a caracterização de raças de *H. vastatrix* só era possível utilizando os 24 clones da série diferenciadora, que possuem os genes de resistência S_{H1}-S_{H9} isoladamente ou juntos. Todos os quatro genes de resistência identificados em café no CIFC, em *Coffea arabica* ($2n=4x=44$), estão na condição dominante: SH₁, SH₂, SH₄ e SH₅. O mesmo ocorre com o gene SH₃, em *Coffea liberica* ($2n=2x=22$) (BETTENCOURT; NORONHA-WAGNER, 1971; NORONHA-WAGNER; BETTENCOURT, 1967). Em *Coffea canephora* ($2n=2x=22$) foram encontrados os genes de resistência SH₆, SH₇, SH₈ e SH₉ também na condição de dominância (BETTENCOURT; RODRIGUES, JR., 1988).

A variedade Lempira, até 2016, apresentava resistência completa à ferrugem. Contudo, as coletas de folhas doentes dessas plantas, no município de Olancho, em

Honduras, perfazendo um total de três isolados (1 OH, 2 OH e 3 OH), corresponderam aos patótipos Pat 01, (v₁, 2, 4, 5, 6, 7, 9, 10, A, B, I, J, ?), Pat 02 (v₁, 2, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, A, B, G, I, J, ?), e Pat 03 (v₁, 2, 4, 5, 6, 7, 9, 10, A, B, H, I, J, ?). Esses isolados foram utilizados na inoculação das quatro linhagens que compõem a variedade Lempira, no ano de 2017.

Os genes de virulência inferidos, para cada um dos isolados, mostram que são combinações novas, constituindo possivelmente novas raças muito complexas. De todos os isolados coletados em Honduras, o 24 H foi o que apresentou menor número de genes de virulência, com um total de 5. Por outro lado, o isolado 59 H foi o que mostrou a maior quantidade de genes de virulência, com um total de 15.

Durante o desenvolvimento deste trabalho, 10 novos genes de resistência foram encontrados e estão sendo propostos na base genética da resistência à ferrugem dos clones da série diferenciadora, juntamente com o gene SH10, clonado por Barka (2017). Dois desses genes estão sendo ainda conferidos com o isolado 9 H, o qual apresentou reação compatível para os clones 153/2 (SH_{1, 3, 5} gene K) e 151/1 (SH_{3, 4, 5} gene L).

5. CONCLUSÕES

Em todos os isolados utilizados neste estudo foram inferidas diferentes combinações de genes de virulência, constituindo distintos patótipos. Foram identificados 16 patótipos, os quais foram adicionados às raças I e II, e Honduras passa a ter 16 patótipos e duas raças de *H. vastatrix* caracterizadas.

Dez novos genes de resistência (A, B, C, D, E, F, G, H, I e J) foram encontrados nos clones da série diferenciadora de raças de *H. vastatrix*.

Com os resultados do presente estudo, Honduras torna-se o primeiro país da América Central a ter uma caracterização detalhada da composição patotípica das populações de *H. vastatrix*, que estariam presentes nas sete regiões produtoras de café do país.

6. REFERÊNCIAS

AVELINO, J. et al. La Roya Anaranjada del Cafeto: mito y realidad. In: BERTRAND, B.; RAPIDEL, B. (Ed.). **Desafios de la caficultura en centroamerica**. San José: IICA, PROMECAFE, CIRAD, IRD, CCCR, 1999. p. 193-242.

AVELINO, J. et al. The coffee rust crises in Colombia and Central America (2008-2013): impacts, plausible causes and proposed solutions. **Food Sec.** v. 7, n. 2, p. 303-321, 2015.

BARÇA, G. **Identification, molecular characterization and differential expression studies of genes activated during Coffea arabica L. - Hemileia vastatrix Berk. & Broome interaction**. 2017. 149 f. Tese (Doutorado em Genética e melhoramento) – Universidade Federal de Viçosa, 2017.

BETTENCOURT, A. J. **Transferência de fatores de resistência a Hemileia vastatrix Berk. & Br. para as principais cultivares de Coffea arabica L.** Oeiras, Portugal: Centro de Investigação das Ferrugens do Cafeeiro, 1981. 93 p.

BETTENCOURT, A. J.; RODRIGUES, JR., C. J. Principles and practice of coffee breeding for resistance to rust and other diseases. In: CLARK, R. J.; MACRAE, R. (Ed.) **Coffee: agronomy** London: Elsevier Applied Science, 1988. p. 199-234.

BETTENCOURT, J. A.; NORONHA-WAGNER, M. Genetic factors conditioning resistance of Coffea arabica L. to Hemileia vastatrix Berk. et Br. **Sidalc.net**, v. 31, 1971.

BHAT, S. S. et al. Characterization of virulent rust races of Hemileia vastatrix **Journal Coffee Res.**, p. 61-74, 2013.

CAPUCHO, A. S. et al. Herança da resistência do Híbrido de Timor UFV 443-03 à ferrugem-do-cafeeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, n. 3, p. 276-282, 2009.

CAPUCHO, A. S. et al. Germinação e infecção da ferrugem em cafeeiro conilon sob diferentes temperaturas e molhamentos foliares. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 7., 2011. **Anais**. Araxá, MG: 2011. Disponível em:

<<https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/904210/1/Germinacaoeinfeccaodaferrugem.pdf>>. Acesso em: 1 jul. 2019.

CARVALHO, C. R. et al. Cryptosexuality and the genetic diversity paradox in coffee rust, *Hemileia vastatrix*. **PLoS ONE**, p. 6, 2011.

CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira**. Brasília, DF. Disponível em: <<http://conab.gov.br>>. Acesso em: maio 2019

ESKES, A. B. The use of leaf disk inoculations in assessing resistance to coffee leaf rust (*Hemileia vastatrix*). **Netherlands Journal of Plant Pathology**, v. 88, n. 4, p. 127-141, 1982.

FERNANDES, R. D. C.; EVANS, H. C.; BARRETO, R. W. Confirmation of the occurrence of teliospores. **Plant Pathology**, v. 34, n. 2, p. 108-113, 2009.

FEWSNET/PROMECAFE. **América Central – informe especial**. Disponível em: <<http://www.fews.net/sites/default/files/documents/reports/AMERICACENTRALInformeEspecial-sectorcafetalero-2016.pdf>>. Acesso em: 29 nov. 2017.

FLOR, H. H. Current status of the gene-for-gene concept. **Annual Review of Phytopathology**, v. 9, n. 1, p. 275-296, set. 1971.

ICO. **Relatório sobre o mercado de café – maio**. 2018.

IHCAFE. **Informe estadístico anual cosecha**. Tegucigalpa: 2012-2013.

LASHERMES, P. et al. Genetic and physical mapping of the SH3 region that confers resistance to leaf rust in coffee tree (*Coffea arabica* L.). **Tree Genetics and Genomes**, v. 6, n. 6, p. 973-980, 2010.

MAYNE, W. Physiological specialisation of *Hemileia vastatrix* B. and Br. **Nature**, 1932. Disponível em: <<http://adsabs.harvard.edu/abs/1932Natur.129..510M>> Acesso em: 29 nov. 2017.

\NORONHA-WAGNER, M.; BETTENCOURT, A. J. Genetic study of the resistance of coffee spp. to leaf rust: I. identification and behavior of four factors conditioning disease reaction in *Coffea arabica* to twelve physiologic races of *Hemileia vastatrix* **Canadian Journal of Botany**, v. 45, n. 11, p. 2021-2031, nov. 1967.

RODRIGUES, C. J.; BETTENCOURT, A. J.; RIJO, L. Races of the pathogen and resistance to coffee rust. **Annual Review of Phytopathology**, v. 13, n. 1, p. 49-70, 1975.

STAKMAN, E. C. Relation between Puccinia graminis and plants highly resistant to its attack. **Journal of Agricultural Research**, v. IV, n. 3, 1915.

TALHINHAS, P. et al. Overview of the functional virulent genome of the coffee leaf rust pathogen *Hemileia vastatrix* with an emphasis on early stages of infection. **Frontiers in Plant Science**, v. 5, 2014.

TONIUTTI, L. et al. Influence of environmental conditions and genetic background of arabica Coffee (*C. arabica* L) on leaf rust (*Hemileia vastatrix*) pathogenesis. **Frontiers in Plant Science**, v. 8, n. November 2017.

VÁRZEA, V. M. P.; MARQUES, D. V. Population variability of *Hemileia vastatrix* vs. coffee durable resistance. In: ZAMBOLIM, L.; ZAMBOLIM, E. M.; VÁRZEA, V. M. P. (Ed.). **Durable resistance to coffee leaf rust**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2005. p. 53-74.

ZAMBOLIM, L.; CHAVES, G. M. Efeito de baixas temperaturas e do binômio temperatura umidade relativa sobre a viabilidade dos uredósporos de *Hemileia vastatrix* Berk. et Br. e *Uromyces phaseolityca*. **Arth. Experientiae**, p. 151-184, 1974.

ZAMBOLIM, L. et al. Physiological races of *Hemileia vastatrix* Berk. et Br. in Brazil- Physiological variability, current situation future prospects. In: ZAMBOLIM, L.; ZAMBOLIM, E. M.; VÁRZEA, V. M. P. (Ed.). **Durable resistance to coffee leaf rust**. Viçosa, MG: UFV, 2005. p. 53-74.

ZAMBOLIM, L. Current status and management of coffee leaf rust in Brazil. **Tropical Plant Pathology**, v. 41, n. 1, p. 1-8, 2016.

ZAMBOLIM, L.; CAIXETA, E. T. Ferrugem. In: ZAMBOLIM, L.; BRENES, B. M. (Ed.). **Doenças no café no Brasil - enfermedades del café en Central America**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2018. p. 17-45.

ANEXOS

A - Análise de variância (ANOVA) do experimento de Varginha - Produção

Tabela A1 - Análise de variância - produção ano 2008

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
CULTIVAR	31	127.584688	4.115635	2.137	0.0028
REP	3	11.795312	3.931771	2.041	0.1134
erro	93	179.114688	1.925964		
Total corrigido	127	318.494688			
CV (%) =	148.28				
Média geral:	0.9359375	Número de observações:	128		

Tabela A2 - Análise de variância - produção ano 2009

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
CULTIVAR	31	8581.912422	276.835885	3.132	0.0000
REP	3	1451.452109	483.817370	5.474	0.0016
erro	93	8219.210391	88.378606		
Total corrigido	127	18252.574922			
CV (%) =	41.46				
Média geral:	22.6757813	Número de observações:	128		

Tabela A3 - Análise de variância - produção ano 2010

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
CULTIVAR	31	451.269688	14.557087	2.133	0.0028
REP	3	75.685937	25.228646	3.697	0.0145
erro	93	634.599063	6.823646		
Total corrigido	127	1161.554688			
CV (%) =	136.47				
Média geral:	1.9140625	Número de observações:	128		

Tabela A4 - Análise de variância - produção ano 2011

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
CULTIVAR	31	14362.860000	463.318065	3.051	0.0000
REP	3	527.720625	175.906875	1.158	0.3300
erro	93	14123.479375	151.865370		
Total corrigido	127	29014.060000			
CV (%) =	40.42				
Média geral:	30.4875000	Número de observações:	128		

Tabela A5 - Análise de variância - produção ano 2012

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
CULTIVAR	31	2725.783047	87.928485	1.051	0.4141
REP	3	23.328984	7.776328	0.093	0.9643
erro	93	7783.983516	83.698747		
Total corrigido	127	10533.095547			
CV (%) =	100.72				
Média geral:	9.0835938	Número de observações:	128		

Tabela A6 - Análise de variância - produção ano 2013

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
CULTIVAR	31	41670.748672	1344.217699	7.325	0.0000
REP	3	1135.976484	378.658828	2.063	0.1104
erro	93	17066.191016	183.507430		
Total corrigido	127	59872.916172			
CV (%) =	27.01				
Média geral:	50.1554687	Número de observações:	128		

Tabela A7 - Análise de variância - produção ano 2016

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
CULTIVAR	31	15471.020430	499.065175	5.351	0.0000
REP	3	1431.436265	477.145422	5.116	0.0025
erro	93	8672.922310	93.257229		
Total corrigido	127	25575.379005			
CV (%) =	36.86				
Média geral:	26.1991406	Número de observações:	128		

B. Análise de variância (ANOVA) do experimento de Varginha - Porcentagem de plantas resistentes

Tabela B1 - Análise de variância de porcentagem de plantas resistentes à ferrugem - ano 2011

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
CULTIVAR_	31	204301.875000	6590.383065	19.024	0.0000
REPETICAO	3	821.562500	273.854167	0.791	0.5021
erro	93	32217.437500	346.424059		
Total corrigido	127	237340.875000			
CV (%) =	27.72				
Média geral:	67.1562500	Número de observações:	128		

Tabela B2 - Análise de variância de porcentagem de plantas resistentes à ferrugem - ano 2012

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
CULTIVAR_	31	121608.218750	3922.845766	18.795	0.0000
REPETICAO	3	2269.531250	756.510417	3.625	0.0159
erro	93	19410.968750	208.720094		
Total corrigido	127	143288.718750			
CV (%) =	18.69				
Média geral:	77.2968750	Número de observações:	128		

Tabela B3 - Análise de variância de porcentagem de plantas resistentes à ferrugem - ano 2013

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
CULTIVAR_	31	186768.804688	6024.800151	16.689	0.0000
REPETICAO	3	1499.460938	499.820313	1.385	0.2524
erro	93	33573.289063	361.003108		
Total corrigido	127	221841.554688			
CV (%) =	39.72				
Média geral:	47.8359375	Número de observações:	128		

Tabela B4 - Análise de variância de porcentagem de plantas resistentes à ferrugem - ano 2015

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
CULTIVAR_	31	182247.968750	5878.966734	12.986	0.0000
REPETICAO	3	1626.156250	542.052083	1.197	0.3152
erro	93	42101.343750	452.702621		
Total corrigido	127	225975.468750			
CV (%) =	33.58				
Média geral:	63.3593750	Número de observações:	128		

C. Análise de variância (ANOVA) do experimento - Avaliação de genótipos de cafeeiros resistentes às raças II e XXXIII de Hemileia vastatrix

Tabela C1 - Análise de variância de porcentagem de severidade à raça II nas cultivares resistentes à ferrugem

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
CULTIVARES	6	9636.175354	1606.029226	6.107	0.0005
DISCOS	4	1374.597886	343.649471	1.307	0.2958
erro	24	6311.809874	262.992078		
Total corrigido	34	17322.583114			
CV (%) =	49.12				
Média geral:	33.0128571	Número de observações:	35		

Tabela C2 - Análise de variância de porcentagem de severidade à raça XXXIII nas cultivares resistentes à ferrugem

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
TRATAMENTO	13	14800.415017	1138.493463	3.479	0.0007
DISCOS	4	3385.169209	846.292302	2.586	0.0475
erro	52	17017.635311	327.262218		
Total corrigido	69	35203.219537			
CV (%) =	36.62				
Média geral:	49.4025714	Número de observações:	70		

D. Análise de variância (ANOVA) do experimento - Avaliação de teor de clorofila a, b, total e carotenoides em genótipos resistentes à ferrugem do cafeeiro

Tabela D1 - Análise de variância de teor de clorofila a, b total e carotenoides em genótipos resistentes à ferrugem

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
TRA	31	85.855480	2.769532	1.592	0.0461
REPETICAO	3	2.298327	0.766109	0.440	0.7246
erro	93	161.817798	1.739976		
Total corrigido	127	249.971605			
CV (%) =	17.00				
Média geral:	7.7608594	Número de observações:	128		

Tabela D2 - Análise de variância de teor de clorofila b em genótipos resistentes à ferrugem

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
TRA	31	257.311938	8.300385	2.724	0.0001
REPETICAO	3	8.894256	2.964752	0.973	0.4089
erro	93	283.345894	3.046730		
Total corrigido	127	549.552088			
CV (%) =	25.05				
Média geral:	6.9690625	Número de observações:		128	

Tabela D3 - Análise de variância de teor de clorofila total em genótipos resistentes à ferrugem

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
TRA	31	411.818255	13.284460	1.984	0.0063
REPETICAO	3	18.677227	6.225742	0.930	0.4297
erro	93	622.853198	6.697346		
Total corrigido	127	1053.348680			
CV (%) =	17.57				
Média geral:	14.7296094	Número de observações:		128	

Tabela D4 - Análise de variância de teor de carotenoides em genótipos resistentes à ferrugem

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
TRA	31	33.587622	1.083472	2.273	0.0013
REPETICAO	3	0.259303	0.086434	0.181	0.9091
erro	93	44.333597	0.476705		
Total corrigido	127	78.180522			
CV (%) =	23.97				
Média geral:	2.8807812	Número de observações:		128	