

**MAURO JUNIOR NATALINO DA COSTA**

**RESISTÊNCIA E NÍVEIS DE PRODUÇÃO DO CAFEIEIRO NO PROGRESSO  
DA 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**

2004

**MAURO JUNIOR NATALINO DA COSTA**

**RESISTÊNCIA E NÍVEIS DE PRODUÇÃO DO CAFEEIRO NO PROGRESSO  
DA 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: 26 de agosto de 2004.

---

Prof. Fabrício de Ávila Rodrigues

---

Dra. Eveline Teixeira Caixeta Moura

---

Dr. Waldir Cintra de Jesus Junior

---

Dr. Antônio Alves Pereira

---

Prof. Laércio Zambolim  
(Orientador)

A Afonso Bueno.

“In memoriam”.

Ao meu avô José Teodoro.

Aos meus pais Naide e Sebastião,  
com muito amor.

Às professoras Miriam e Conceição, ao padre Guaraciba e ao meu amigo Lamartini,  
pelo incentivo e apoio.

Aos meus irmãos Sirlene, Joelma e Silvio, aos meus cunhados Sebastião, Evenildo e  
Roseli e aos meus sobrinhos Fábio, Valéria, Bruna, Cássia, Fernando e Natália,  
pelo carinho e amizade.

DEDICO.

## AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Viçosa, ao Departamento de Fitopatologia e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela oportunidade de realização do curso de doutorado e pela concessão da bolsa de estudo;

Ao Orientador, professor Laércio Zambolim, cujos ensinamentos tornaram possível a realização deste trabalho;

Ao professor Fabrício de A. Rodrigues e aos doutores Eveline T.C. Moura, Valdir C. de J. Junior e Antônio A. Pereira pela presença na defesa de tese e pelas sugestões;

Aos professores Gulab N. Jham e Paulo R. Mosquim, pelas orientações e cessão dos Laboratórios de Química e Fisiologia Vegetal, respectivamente;

Aos professores Francisco X. R. do Vale e Cosme D. Cruz, pela orientação e sugestões na realização das análises estatísticas;

Ao professor Ulisses G. Batista, pelas orientações;

Aos demais professores do Departamento de Fitopatologia, pelos ensinamentos.

Ao funcionário José C. Batista, cujo exemplo de alegria e dedicação jamais serão esquecidos;

Aos funcionários Nivaldo S. Milagres (Fitopatologia), Carlos R. A. de Souza (Fisiologia Vegetal), Eduardo R. Pereira (Química) e José A. Cardoso (Solos), pelo auxílio na realização dos trabalhos;

Ao graduando Júlio C. Barbosa, pela dedicação na realização dos experimentos e pela amizade;

Aos colegas de curso Dalmácio E. Neto, Antônio F. de Souza, Dagoberto S. de Oliveira, Luíza M. L. Costa, Flávio A. de O. Garcia, Janilson G. da Rocha, José R. V.

Júnior, Fábio R. Alves, Dora M. S. Neves, Cláudio B. Maia, Enilton N. de Santana e aos graduandos Kátia V. Xavier, Júnia M. Clemente, Priscila B. P. Bento e Henrique da S. S. Duarte, cuja convivência tornou melhor a realização deste trabalho;

Aos demais membros do Departamento de Fitopatologia, que contribuíram para a realização deste trabalho.

## **BIOGRAFIA**

MAURO JUNIOR NATALINO DA COSTA, filho de Sebastião Balbino da Costa e de Naide Izabel Marques da Costa, nasceu em 03 de fevereiro de 1973, em Juruáia - MG.

Em dezembro de 1992, formou-se Técnico em Agropecuária, pela Escola Agrotécnica Federal de Muzambinho.

Em janeiro 1998, graduou-se em Agronomia, pela Universidade Federal de Lavras.

Em março de 1998, iniciou o curso de Mestrado em Fitopatologia na Universidade Federal de Lavras, obtendo o Título de Mestre em maio de 2000.

Em setembro de 2000, iniciou o curso de Doutorado em Fitopatologia na Universidade Federal de Viçosa, defendendo tese em agosto de 2004.

## CONTEÚDO

	Página
RESUMO.....	viii
ABSTRACT.....	x
INTRODUÇÃO GERAL.....	1
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	3
CAPÍTULO 1	
RESISTÊNCIA DE PROGÊNIES DO CAFEEIRO A FERRUGEM.....	4
RESUMO.....	4
ABSTRACT.....	6
1. INTRODUÇÃO.....	8
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	11
2.1. Avaliação das progênies de Catimor quanto à resistência a <i>Hemileia vastatrix</i> , porte, vigor e produção.....	11
2.1.1. Material genético.....	11
2.1.2. Quantificação da resistência.....	12
2.1.3. Avaliação do vigor, porte e produtividade das progênies de cafeeiro.....	12
2.2. Caracterização da resistência e seus componentes em descendentes de Catimor e outras progênies.....	13
2.2.1. Produção de mudas e material genético.....	13
2.2.2. Produção de inóculo.....	13

	Página
2.2.3. Método de inoculação e condução dos ensaios.....	14
2.2.4. Caracterização dos tipos de reação de cafeeiros.....	14
2.2.5. Métodos de avaliação da resistência horizontal.....	15
2.3. Análise estatística.....	16
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	17
3.1. Produtividade e resistência do cafeeiro a <i>Hemileia vastatrix</i> .....	17
3.2. Resistência à raça II de <i>Hemileia vastatrix</i> em genótipos de cafeeiros selecionados no campo e nos seus descendentes.....	19
3.3. Resistência horizontal em genótipos selecionados no campo e nos seus descendentes.....	21
3.4. Agrupamento de genótipos quanto à dose gênica de resistência horizontal.....	25
4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	28

## CAPÍTULO 2

NÍVEIS DE PRODUÇÃO DO CAFEIEIRO NO PROGRESSO DA FERRUGEM....	31
RESUMO.....	31
ABSTRACT.....	33
1. INTRODUÇÃO.....	35
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	37
2.1. Efeito de níveis de produção do cafeeiro no progresso da ferrugem.....	37
2.2. Análise do teor de carboidratos e nutrientes nas folhas de plantas infectadas.....	38
2.2.1. Coleta e processamento de folhas para as determinações químico-analíticas....	38
2.3. Variáveis Climáticas .....	40
2.4. Análise estatística.....	40
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	42
3.1. Efeito de níveis de produção do cafeeiro sobre o desenvolvimento da ferrugem.	42
3.2. Efeito da ferrugem do cafeeiro no nível de desfolha do dossel.....	46
3.3. Efeito da produção no teor de nutrientes minerais nas folhas de cafeeiro .....	48
3.4. Efeito da produção no teor de carboidratos nas folhas do cafeeiro.....	54
4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	58
CONCLUSÕES GERAIS.....	61

## RESUMO

COSTA, Mauro Junior Natalino da, D.S., Universidade Federal de Viçosa, agosto de 2004. **Resistência e Níveis de Produção do Cafeeiro no Progresso da Ferrugem.** Orientador: Laércio Zambolim. Conselheiros: Francisco Xavier Ribeiro do Vale e Ulisses Gomes Batista.

A ocorrência da ferrugem no Brasil tem limitado a produção obtida dos cafeeiros. Os cultivares mais utilizados são suscetíveis à doença, tais como o Catuaí e o Mundo Novo, contudo, genótipos com resistência horizontal e grande potencial para a utilização como cultivares têm sido obtidos. Considerando a importância da doença para o cafeeiro, avaliaram-se neste trabalho: (i) a capacidade produtiva e o desenvolvimento da ferrugem em progênies de Catimor, portadoras de genes que controlam as resistências vertical e horizontal; (ii) a segregação dos descendentes quanto à reação ao patógeno; (iii) a dose gênica para a resistência horizontal nos descendentes; (iv) o efeito de níveis de produção em plantas de Catuaí no desenvolvimento da ferrugem e (v) o teor de nutrientes e de carboidratos nas folhas das plantas atacadas pela doença. Pelos resultados obtidos, as progênies híbridas UFV 5550, UFV 6861, UFV 6870, UFV 6831 e UFV 6834 apresentaram-se excelentes em produtividade ( $P \leq 0,05$ ), semelhantemente ao cultivar Catuaí. As progênies UFV 5530, UFV 5451, UFV 5550, UFV 6903 e UFV 5464 não apresentaram doença. Uma correlação positiva e significativa ( $r = 0,56$ ) foi encontrada entre incidência de ferrugem e produtividade em progênies de Catimor. Os descendentes variaram quanto à reação à ferrugem, desde resistência completa a alta suscetibilidade, sendo que a maioria situou-se nos níveis intermediários, evidenciando a presença de resistência horizontal nos genótipos. Comparado ao cultivar Catuaí, conclui-se que os genótipos estudados possuem resistência horizontal, sendo que o número médio de lesões e a área foliar lesionada foram 13 e 21 vezes menores,

respectivamente, em UFV 6866, além disso, a esporulação alcançou apenas a nota 0,1 em UFV 6870, baixa se comparada ao Catuaí, que apresentou nota 3,6. O período de incubação nos genótipos estudados variou de 18 a 36 dias e o período latente variou de 20 a 46 dias. Ao estudar a relação entre os níveis de produção e a doença no cultivar Catuaí, foi observado que a presença dos frutos, em fase inicial de desenvolvimento, foi suficiente para o estabelecimento da doença, diferente do que ocorreu quando haviam apenas flores. Quando as plantas tiveram todos os frutos em fase inicial de desenvolvimento desbastados, a doença decresceu. A ferrugem atingiu maiores proporções a partir de janeiro, atingindo o pico na época da colheita, em julho. O patógeno chegou a atingir 95% das folhas quando a produção foi de 62,75 sacas por hectare, e 49% de área foliar infectada, em média, no final do experimento. Pelo menos 60% da variação entre os níveis de doença pode ser explicada pela variação da produção. Correlações de até 78% foram obtidas entre a severidade da ferrugem nas plantas e a produção. A área abaixo da curva do progresso da doença não diferenciou níveis de produção, mas separou as plantas sem carga ( $P \leq 0,05$ ). Pelo menos 74% da variação entre os teores de potássio nas folhas foi explicada pela variação da produção, bem como 51% para fósforo e de 45% para cobre, evidenciando que houve desvio dos mesmos para os frutos, permitindo que as folhas se tornassem mais suscetíveis ao ataque da ferrugem. Houve redução no teor de potássio em função dos níveis de produção desde o início da produção de frutos, diferente dos outros elementos. Os teores de carboidratos variaram principalmente nas épocas, influenciados pelo crescimento vegetativo ou reprodutivo e pelas condições climáticas. Os teores dos carboidratos nas folhas das plantas que não tiveram os frutos retirados foram inferiores àqueles encontrados nas folhas das plantas sem frutos. Tal fato provavelmente ocorreu devido ao desvio dos mesmos para a formação dos frutos e pela necrose acentuada das folhas, provocada pelo patógeno.

## ABSTRACT

COSTA, Mauro Junior Natalino da, D.S., Universidade Federal de Viçosa, August, 2004. **Resistance and Yield Levels of Coffee in the Coffee Rust Progress.** Adviser: Laércio Zambolim. Committee members: Francisco Xavier Ribeiro do Vale and Ulisses Gomes Batista.

The occurrence of rust in Brazil has limited the production obtained of coffee plants. The cultivars in use are susceptible to this disease, like Catuaí and Mundo Novo, nevertheless, genotypes with horizontal resistance and with potential to the use for cultivars have been obtained. Considering the importance of this disease to the coffee plant, were valued in this work: (i) the production capacity and the development of rust in Catimor progenies, containing genes that control the vertical and horizontal resistance; (ii) the segregation of descendants for the pathogen reaction; (iii) the genic dose for the horizontal resistance in the descendants; (iv) the effect of levels of production in plants of Catuaí on the development of rust and (v) the tenor of nutrients and of carbohydrates in the leaves of plants attacked by the disease. By the obtained results in this work, the hybrid progenies UFV 6861, UFV 6870, UFV 6831 and UFV 6834 presented excellent productivities ( $P < 0.05$ ), similarly to the Catuaí cultivar. The progenies UFV 5530, UFV 5451, UFV 5550, UFV 6903 and UFV 5464 did not presented plants diseased. A positive and significative correlation ( $r = 0.56$ ) was encountered between incidence of rust and productivity in Catimor progenies. The descendants varied for the reaction to the rust from the complete resistance to high susceptibility, but the most situated in the intermediaries levels, showing the presence of horizontal resistance in the genotypes. Compared to the Catuaí cultivar, it can be concluded that the studied genotypes possess horizontal resistance, with the media number of lesions and the lesioned foliar area 13 and 21 times least, repectively, on the

UFV 6866, moreover, the sporulation reached only the score 0.1 in UFV 6870, low if compared to the Catuaí, that had presented the score 3.6. The incubation period of the studied genotypes varied from 18 to 36 days and the latency period varied from 20 to 46 days. When was studied the relation between the levels of production and the disease in the Catuaí Vermelho, it was observed that the presence of fruits in initial phase of development was sufficient to the establishment of the disease, opposed to had occurred when it had only flowers. When the plants had all off fruits in initial phase of development thinned out, the disease decreased. The rust reached greater proportions from January, reaching the pike on the harvesting, in July. The pathogen get 95% of the leafs when the productivity was of 62.75 bags (60 kg) per hectare, and 49% of the infected area leaf, on average, at the end of the experiment. Around 60% of variation among the levels of disease can be explained by the variation of production. Correlation of up to 78% were obtained between the severity of rust at plants and the production. The area under disease progress curve did not differed levels of production, but put aside the plants without load ( $P < 0.05$ ). About 74% of the variation among the tenores of potassium of the leaves were explained by the variation of production, as well as 51% for phosphorous and 45% for copper, showing that have had deviation of then to the fruits and allowing the leaves become more susceptible to the attack of the rust. The tenores of potassium varied in function of levels of fruits, different of the other elements. The tenores of carbohydrates varied mainly of the time of evaluation, influenced by vegetative or reproductive growth and by climatic conditions. The tenores of carbohydrates of the leaves of plants that had not the fruits thinned out were lower than that encountered in the leaves of plants without fruits. Probably it had occurred due to the formation of fruits and by emphasized necrosis of leaves caused by the pathogen.

## INTRODUÇÃO GERAL

A ferrugem do cafeeiro, causada pelo fungo *Hemileia vastatrix* Berk. & Br., ocupa uma posição de destaque na História da Fitopatologia (LARGE, 1940). A doença levou à falência a indústria do café no Ceilão, e como consequência foi necessária a substituição da produção do café pelo chá. Prejuízos similares ocorreram na Indonésia e perdas de até 70% têm sido estimadas na Índia (CARVALHO et al., 1989).

A doença estabeleceu-se na América do Sul em 1970, mas não tem sido destrutiva como no Ceilão. Contudo, perdas de mais de 30% no Brasil e de 15 a 25% na Colômbia têm sido estimadas (CARVALHO et al., 1989; MÔNACO, 1977). Após a sua constatação em janeiro de 1970 na Bahia, a mesma disseminou-se por toda a região cafeeira brasileira e, em seguida, por todos os países produtores de café das Américas do Sul, Central e do Norte (KUSHALAPPA & ESKES, 1989).

Os sintomas da ferrugem podem ser observados na face inferior das folhas, onde aparecem manchas de coloração amarelo-pálida, pequenas, de 1 a 3 mm de diâmetro, que evoluem, atingindo até 2 cm de diâmetro, quando então apresentam aspecto pulverulento com produção de uredosporos de coloração amarelo-alaranjada. Na face superior das folhas, observam-se manchas cloróticas amareladas correspondendo aos limites da pústula na face inferior, que posteriormente necrosam. A queda precoce de folhas e seca de ramos são danos causados pela ferrugem, reduzindo conseqüentemente a produção. A seca progressiva dos ramos reduzem a vida útil da lavoura, tornando-a anti-econômica (ZAMBOLIM et al., 1997).

Muitos países estão envolvidos na produção, comercialização e consumo de café. O produto é muito apreciado devido às características organolépticas e efeito estimulante. No mercado internacional movimentam, anualmente, bilhões de dólares,

sendo que para o Brasil, maior produtor e exportador mundial, o cultivo de café tem importante papel econômico e social. A produção concentra-se em duas espécies *Coffea arabica* e *Coffea canephora*. A espécie *Coffea arabica* produz bebida de alta qualidade e representa 70% da produção mundial. O Brasil é o principal produtor mundial de café, contribuindo com 25,3%, seguido de Vietnã (9,9%), Costa Rica (9,4%), Indonésia (9,0%) e Colômbia (8,9%) (FAO, 2003). Desta forma, a cafeicultura brasileira contribui com a geração de empregos, fixação do homem no campo e o ingresso de divisas externas.

Os trabalhos que visaram o controle da doença, desenvolvidos nos principais centros de pesquisa, produziram resultados satisfatórios e são utilizados pelos produtores. Mesmo assim, a doença continua causando prejuízos às lavouras constituídas pelo *Coffea arabica*, o qual mostra-se suscetível à doença.

Este trabalho teve como objetivos avaliar a resistência de progênies de cafeeiro no progresso da ferrugem, avaliar o efeito de níveis de produção do cafeeiro no progresso da doença e correlacionar o teor de nutrientes e carboidratos nas folhas atacadas pela doença com os níveis de produção.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CARVALHO, A., ESKES, A.B., CASTILLO-Z, J., SREENIVASAN, M.S., ECHEVERRI, J.H., FERNANDEZ, C.E. & FAZUOLI, L.C. Breeding Programs. In: Kushalappa, A.C. & Eskes, A.B.(Ed.) **Coffee Rust: Epidemiology, Resistance and Management**. Florida. CRC Press, Inc. 1989. Pp. 293-336.
- KUSHALAPPA, A.C. & ESKES, A.B. **Coffee Rust: Epidemiology, Resistance and management**. Florida. CRC Press Inc. 1989.
- FAO (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS). 2003 **Internet: <http://www.fao.org>**.
- LARGE, E.C. **The Advance of Fungi**. New York. Dover Publications Inc. 1940.
- MÔNACO, L.C. Consequences of the introduction of coffee leaf rust into Brazil. **Annual New York Academic Science**. 287:57-71, 1977.
- ZAMBOLIM, L., VALE, F.X.R., PEREIRA, A.A. & CHAVES, G.M. Café (*C. arabica* L.). Controle de doenças. In: Vale, F.X.R. & Zambolim, L. (Eds.) **Controle de doenças de plantas. Grandes culturas**. 1997. Viçosa. Universidade Federal de Viçosa. Volume 1. 1997.

## CAPÍTULO 1

### RESISTÊNCIA DE PROGÊNIES DO CAFEIEIRO A FERRUGEM

#### RESUMO

A suscetibilidade do cafeeiro à ferrugem tem sido um dos principais obstáculos à exploração desta cultura no Brasil. Desde 1970, quando a doença se instalou no País, vários trabalhos têm sido realizados visando a obtenção de genótipos produtivos e portadores de resistência horizontal. Visando esclarecer o desempenho de alguns destes genótipos, foram realizadas avaliações a nível de campo e de casa-de-vegetação. Avaliou-se os genótipos quanto à capacidade produtiva e os seus frutos foram colhidos para a obtenção de mudas e avaliação da reação à inoculação do patógeno e quanto aos componentes da resistência horizontal. Os genótipos foram avaliados com a raça II de *Hemileia vastatrix*. A reação ao patógeno foi avaliada através de uma escala, atribuindo-se notas de 1 a 9, sendo que de 1 a 3 as plantas foram consideradas resistentes e de 4 a 9, suscetíveis. Os componentes da resistência horizontal avaliados foram frequências de infecção, esporulação, área foliar lesionada, períodos de incubação e latente. Ao final, tornou-se possível estabelecer, através de análise multivariada, grupos de genótipos quanto à percentagem de similaridades, utilizando-se a distância Euclidiana média e o método do vizinho mais próximo. As progênies UFV 5550, UFV 6861, UFV 6870, UFV 6831 e UFV 6834 apresentaram produtividades semelhantes à do cultivar Catuaí ( $P \leq 0,05$ ). Não apresentaram plantas doentes as progênies UFV 5530, 5451, 5550, 6903 e 5464. Considerando os dois anos de avaliação, a produtividade foi maior no

segundo, sendo observada uma correlação positiva e significativa ( $r = 0,56$ ) entre incidência e produtividade. Os descendentes das progênies em estudo variaram grandemente quanto à reação à ferrugem, com variação contínua, desde resistência completa a alta suscetibilidade, sendo que a maioria situou-se nos níveis intermediários, evidenciando a presença de resistência horizontal nos genótipos. Comparado ao cultivar Catuaí, conclui-se que os genótipos estudados possuem resistência horizontal, sendo que o número médio de lesões e a área foliar lesionada foram 13 e 21 vezes menores, respectivamente, em UFV 6866. Além disso, a esporulação alcançou apenas a nota 0,1 em UFV 6870, baixa se comparada ao Catuaí, que apresentou nota 3,6. O período de incubação nos genótipos estudados variou de 18 a 36 dias e o período latente variou de 20 a 46 dias. Quanto maior o número de características avaliadas, maior foi a eficiência do agrupamento pelo método do vizinho mais próximo, sendo possível agrupar os 51 genótipos em 3 grupos diferentes. Oeiras MG 6851 e H 419-5-2-4 apresentaram 100% de similaridade e dose gênica para resistência horizontal alta, assim como UFV 5992 e 6861, Catucaí Amarelo e H 419-3-4-4.

**Palavras-chave:** café, ferrugem, *Coffea arabica*, *Hemileia vastatrix*, Catimor

## ABSTRACT

### Horizontal resistance of coffee progenies

The susceptibility of coffee plants to the leaf rust has been one of the main obstacle to the exploration of this culture in Brazil. Since 1970, when the disease installed at this country, several works have been realized aiming the obtention of productive genotypes with horizontal resistance. Aiming for explain the performance of some of this genotypes, it were realized evaluations in the field and greenhouse. The genotypes were valued for the productive capacity and had their fruits harvested to obtain seedlings used to do valuation of reaction to the inoculation of the pathogen and for the components of horizontal resistance. The genotypes were valued with the race II of *Hemileia vastatrix*. The reaction to the pathogen was valued through of a scale, conferring escores from 1 to 9. From 1 to 3 the plants were considered resistants and from 4 to 9, susceptibles. The components of horizontal resistance valued were infection frequency, sporulation, lesioned foliar area, incubation period and latency period. At the end of the experiment, it was possible stablish, through multivariated analysis, groups of genotypes with similarities using the middle distance Eucliden and the method of the near neighbour. The progenies UFV 5550, UFV6861, UFV 6870, UFV6831 and UFV 6834 presented productivities similar to the Catuaí cultivar ( $P \leq 0.05$ ). The progenies UFV 5530, UFV 5451, UFV 5550, UFV 6903 and UFV 5464 did not present diseased plants. Considering the two years of evaluation, the productivity was greatest in the second, being observed a positive and significative correlation between incidence and productivity ( $P \leq 0.05$ ). The descendings of the progenies in study varied greatly for the

reaction to the rust, with continuing variation, since full resistance to high susceptibility, and majority situated on intermediary levels, evidencing the presence of horizontal resistance in the genotypes. Compared to the Catuaí cultivar, it can be concluded that the studied genotypes possess horizontal resistance, with media number of lesions and the lesioned foliar area 13 and 21 times least, respectively, on the UFV 6866, moreover, the sporulation reached only the score 0.1, in UFV 6870, low if compared to the Catuaí, that had presented score 3.6. The incubation period of the studied genotypes varied from 18 to 36 days and the latency period varied from 20 to 46 days. As how bigger the number of valued characteristics, how bigger was the efficacy of the grouping by method of near neighbour, putting the 51 genotypes in 3 different groups. Oeiras MG 6851 and H 419-5-2-4 presented 100% of similarity and genic dose to high horizontal resistance, like UFV 5992 and UFV 6861, Catucaí Amarelo and H 419-3-4-4.

**Key words:** Coffee, leaf rust, resistance, *Coffea arabica*, *Hemileia vastatrix*, Catimor.

## 1.INTRODUÇÃO

Um dos grandes obstáculos à exploração da cafeicultura é a suscetibilidade das plantas à ferrugem. No Brasil, estimam-se 30% de perdas na produção quando as condições tornam-se favoráveis à doença. Sob condições de estiagem prolongada, nos períodos de maior severidade, as perdas podem chegar a mais de 50% (ZAMBOLIM et al., 1997). Pesquisas na área do melhoramento genético do cafeeiro realizadas no Brasil, obtiveram cultivares com alto potencial produtivo, porém muitas vezes sensíveis a estresses bióticos e abióticos.

Apesar do método de controle ideal da ferrugem ser a resistência genética, o surgimento de novas raças do patógeno, capazes de superar a resistência dos genótipos, é um grande problema. No Brasil, em 11 anos com a presença da ferrugem, 12 diferentes raças do fungo foram detectadas (CARDOSO et al., 1981). Faz-se necessário então avaliar continuamente várias progênies de café em programas de melhoramento. Portanto, a procura por um tipo de resistência durável em espécies de cafeeiros deve ser priorizada. Outra possibilidade é o plantio de misturas de variedades, entretanto, como o cafeeiro é uma planta perene, não se tem a flexibilidade de mudança de cultivares como é o caso de culturas anuais. Assim cultivares que têm a resistência suplantada não podem ser rapidamente substituídos; além disso, o rápido aumento na virulência do patógeno, observada no Brasil em cultivares com combinações de genes de resistência, pode comprometer a eficiência de tais variedades (CARVALHO et al., 1989). Uma alternativa pode ser a pesquisa direcionada à resistência horizontal que, de acordo com VANDERPLANK (1963), é eficiente contra todas as raças do patógeno. A resistência horizontal é expressa por genes de efeito secundário. Pesquisadores concordam que este tipo de resistência confere proteção mais durável do que a resistência vertical

(PARLEVLIET & ZADOKS, 1977). A resistência horizontal confere à planta a capacidade de reduzir a penetração, o estabelecimento ou a colonização do patógeno nos tecidos da folha, atuando em um ou mais estádios do ciclo da doença (HOOKER, 1967).

A estabilidade da resistência horizontal facilita identificar esse tipo de resistência. Variedades que apresentam esta resistência podem permanecer resistentes no campo por um longo período, pois os mecanismos de resistência do hospedeiro estão sempre além da capacidade evolutiva do patógeno. Raças com genes necessários para alterar a resistência não ocorrem pois se por um lado, uma única alteração genética no patógeno já é suficiente para modificar a resistência vertical, diversas alterações genéticas são necessárias para que o patógeno altere a resistência horizontal. A probabilidade de uma raça adquirir, acumular e manter todas as alterações genéticas necessárias é mínima. A superação da resistência horizontal, quando ocorre, é pequena e raramente constitui uma perda completa (VANDERPLANK, 1963).

A expressão da resistência horizontal se dá por genes cuja atuação individual é de baixa eficiência. Estes genes atuam de maneira quantitativa como aqueles controlam a produtividade, a qualidade, a precocidade e outras características agrônômicas. O mecanismo complexo de resistência manifesta-se através da lignificação da parede celular. Isto impede a colonização do patógeno e diminui o número de ciclos secundários (PEREIRA, et al., 1985). A desvantagem desse tipo de resistência é a sua natureza complexa que a torna difícil de ser usada nos programas de melhoramento (VALE et al., 2001).

A utilização de variedades resistentes à ferrugem constitui-se a alternativa adequada e eficiente para diminuir os prejuízos dessa doença. Procuram-se desenvolver cultivares resistentes ao patógeno, objetivando com esta medida, reduzir o número de pulverizações com fungicidas e substituir, de maneira vantajosa, os cultivares tradicionais altamente suscetíveis (BETTENCOURT, 1981). Esforços tiveram início quando as plantações de *Coffea arabica* passaram a ser devastadas na Ásia e Oceania e somente assumiram especial importância e alta prioridade nos programas de pesquisas no Brasil a partir da entrada do patógeno, em 1970 (ESKES, 1983). Na Universidade Federal de Viçosa teve início o programa de melhoramento do cafeeiro visando obter genótipos resistentes à doença. O progenitor utilizado como fonte de resistência foi o Híbrido de Timor.

Vários estudos foram desenvolvidos com resistência horizontal do cafeeiro tais como os de ABREU (1978 & 1988), FONSECA (1979), ALMEIDA (1980), CADENA & BURITICA (1980), RIBEIRO, et al. (1981) e ESKES (1983).

ABREU (1978) testou metodologias que permitissem a constatação de resistência em cafeeiros inoculados com a raça II de *Hemileia vastatrix*, utilizando-se da variedade Mundo Novo (*Coffea arabica*) e progênies descendentes do cruzamento de *Coffea arabica* com *Coffea canephora*. As variáveis estudadas foram período de incubação, esporulação, período latente, evolução da doença e razão de infecção, que evidenciaram-se como expressão de resistência horizontal. Segundo o autor, características morfológicas como número, tamanho e forma dos estômatos e número de cloroplastos não estão relacionados à resistência horizontal a ferrugem .

PEREIRA (1994), avaliou a herança da resistência à ferrugem nas populações resultantes do cruzamento de Catuaí com Híbrido de Timor e Mundo Novo com Híbrido de Timor e verificou que em seis das sete combinações estudadas, a resistência foi condicionada por três genes dominantes de segregação independente.

Em *Coffea canephora*, estudos genéticos sobre resistência à ferrugem são limitados, mas indicam uma herança complexa. De acordo com Bettencourt e RODRIGUES JR. (1988), de maneira geral *Coffea canephora* é resistente a *Hemileia vastatrix*, mas os resultados de inoculações de raças fisiológicas do patógeno indicaram que algumas populações são altamente suscetíveis, outras totalmente resistentes, e ainda há aquelas que apresentam um tipo de reação heterogênea, com um ataque moderado do patógeno.

CHAVES et al. (1980) testaram 150 populações de Catimor em F4 e F5. Muitas plantas de populações segregantes apresentaram reações intermediárias. Resultados semelhantes foram divulgados por ABREU (1984), realizando inoculações com seis raças, obtendo-se plantas altamente resistentes e plantas altamente suscetíveis.

Diante da constante evolução nas raças de *Hemileia vastatrix*, torna-se necessária a avaliação de linhagens e genótipos de cafeeiros ao fungo. Desta forma, os objetivos deste trabalho foram: (i) quantificar a produção de progênies de cafeeiro portadoras de resistência e compará-las ao cultivar comercial Catuaí; (ii) avaliar a resistência desses genótipos à raça II de *Hemileia vastatrix*; (iii) estudar a variabilidade dos descendentes quanto à resistência; (iv) correlacionar estes genótipos com os progenitores.

## **2.MATERIAL E MÉTODOS**

### **2.1.Avaliação das progênies de Catimor quanto à resistência a *Hemileia vastatrix*, porte, vigor e produção**

#### **2.1.1.Material genético**

Foram avaliadas plantas de vinte e três progênies da população de Catimor pertencentes ao programa de melhoramento genético do cafeeiro da Universidade Federal de Viçosa (UFV) e Empresa de Pesquisa Agropecuária do Estado de Minas Gerais (EPAMIG). As plantas se encontram estabelecidas desde 1995, no Centro Experimental Elói Carlos Heringer, no município de Martins Soares, MG, BR 262 km 14, com altitude aproximada de 750 m, em área com declividade em torno de 5 a 10%. As progênies avaliadas foram: UFV 5530, UFV 5527, UFV 5525, UFV 5512, UFV 5510, UFV 5451, UFV 5450, UFV 5492, UFV 5464, UFV 5475, UFV 5478, UFV 5479, UFV 5480, UFV 5550, UFV 4221, UFV 6903, UFV 6861, UFV 6863, UFV 6864, UFV 6866, UFV 6867, UFV 6870, UFV 6831. Dezoito dessas progênies representam a geração F6 e cinco delas, a geração F7. Como testemunhas, utilizaram-se plantas de Catuaí Vermelho IAC 15. As parcelas foram constituídas de quatro covas, espaçadas 0,9 m dentro da fileira e 1,8 m entre fileiras. No delineamento experimental usou-se o látice balanceado, o qual permitiu distribuir as parcelas de forma homogênea na área experimental. Utilizou-se seis repetições. A bordadura foi formada por uma fileira de cafeeiros das mesmas variedades, distribuídas aleatoriamente nas laterais da

área útil. Os tratos culturais foram realizados conforme as recomendações vigentes para o plantio adensado de café na Zona da Mata de Minas Gerais (MALAVOLTA & MOREIRA, 1997).

### 2.1.2. Quantificação da resistência

Os cafeeiros foram avaliados quanto à presença de ferrugem, antes da colheita, obtendo-se assim o número de plantas resistentes em cada progênie. Em seguida, avaliou-se a severidade de acordo com ESKES (1983), estabelecendo-se notas de 0 a 9 (Tabela 1).

TABELA 1. Escala de avaliação da severidade da ferrugem do cafeeiro.

Nota	Descrição
0	Ausência de lesões esporuladas.
1	Varição no número de lesões por ramificação, com pelo menos 1 delas em cada.
2-8	Aumento do número de lesões esporuladas nas ramificações doentes.
9	Grande quantidade de ramificações atacadas, com muitas lesões e muitas vezes com queda foliar significativa.

### 2.1.3. Avaliação do vigor, porte e produtividade das progênies de cafeeiro

Adotou-se uma escala de notas foi adotada para avaliar o vigor vegetativo das progênies de cafeeiro de acordo com ESKES (1983) (Tabela 2). O porte das plantas foi avaliado atribuindo-se as letras B, M, A, que corresponderam, respectivamente, a plantas baixas, médias e altas. O porte do cultivar Catuaí foi utilizado como referência de porte médio. Registraram-se as produtividades de 2001 e 2002 que corresponderam à 6<sup>a</sup> e 7<sup>a</sup> colheitas das plantas.

TABELA 2. Escala de avaliação do vigor do cafeeiro.

Nota	Descrição
1	Plantas não produtivas, notadamente depauperadas, com desfolhamento acentuado e seca dos ponteiros dos ramos.
2	Plantas não produtivas, apresentando poucos ramos plagiotróficos e folhas debilitadas.
3 a 9	Gradual aumento no vigor das plantas. O valor 9 corresponde a uma planta produtiva, com muitos ramos ortotróficos e folhas muito verdes.
10	Máximo de vigor.

## **2.2.Caracterização da resistência e seus componentes em descendentes de Catimor e outras progênies**

### **2.2.1.Produção de mudas e material genético**

Cinquenta frutos das plantas com ferrugem, classificadas com as notas 5 e 9 em cada progênie, de acordo com a metodologia descrita no item 2.1, foram separados para obtenção de sementes e formação de mudas no viveiro do Departamento de Fitopatologia da UFV para estudo de resistência. Vasos de 5 litros de capacidade foram enchidos com areia lavada e tratado com brometo de metila ( $150 \text{ c}^3.\text{m}^{-3}$ ). Cinquenta sementes de café obtidas conforme descrito anteriormente foram semeadas em cada um deles. Os vasos foram irrigados adequadamente até ocorrer a germinação e formação das mudas denominadas “orelha de onça”. Neste estágio, transplantou-se individualmente para sacos plásticos de 22 cm de altura e 10 cm de diâmetro e contendo mistura de solo, esterco de curral e areia na proporção de 2,5:1:0,5, acrescido de 5,0 kg de superfosfato simples e 1,0 kg de cloreto de potássio por metro cúbico. O substrato foi previamente tratado com brometo de metila ( $150 \text{ c}^3.\text{m}^{-3}$ ). As mudas foram mantidas em casas-de-vegetação com luminosidade, temperatura e irrigação adequadas.

Além das sementes das 23 progênies citadas no item 2.1, utilizou-se sementes de outras nove progênies oriundas de outros campos experimentais. Os campos experimentais e as respectivas progênies foram: Campo Experimental da Fundação Procafé, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, em Varginha, MG - Palma 1 e Catucaí Vermelho 36/6; Campo Experimental da EPAMIG, em São Sebastião do Paraíso, H 419-5-2-4, H 419-3-4-4, H 419-3-1-2 e H 514-7-1-10-7; Campo Experimental Elói Carlos Heringer, em Martins Soares, MG - Catucaí Amarelo e propriedade particular do professor Geraldo Martins Chaves, em Viçosa, MG - Oeiras MG 6851.

A origem das progênies, segundo PEREIRA et al. (2002) é: Catimor (Caturra Vermelho x Híbrido de Timor), Catucaí (Catuaí x Icatu), Oeiras MG (Caturra Vermelho x Híbrido de Timor), Palma 1 (Catimor x Catuaí), H 514 (Catuaí Vermelho x Híbrido de Timor):

### **2.2.2.Produção de inóculo**

Utilizou-se um isolado obtido de plantas de Catuaí pertencente ao Departamento de Fitopatologia da Universidade Federal de Viçosa, que foi identificado como pertencente à raça II de *Hemileia vastatrix*. A raça II de *Hemileia vastatrix* possui o gene de virulência v5. Armazenou-se os uredosporos em ampolas de vidro, vedadas com algodão, e colocadas em dessecador, contendo na parte inferior solução aquosa de ácido sulfúrico com densidade de 1,8 e na concentração de 32,6% (v/v) de modo a manter a umidade relativa em torno de 50% no ambiente interno, conforme a técnica descrita e recomendada por ZAMBOLIM & CHAVES (1974). A viabilidade dos uredosporos foi testada utilizando-se placas com ágar-água, obtendo-se uma percentagem de germinação variando de 21 a 29%.

### **2.2.3.Método de inoculação e condução dos ensaios**

Foram inoculadas mudas de cafeeiros provenientes de multiplicação por semente, no estágio de desenvolvimento de oito pares de folhas definitivas, sendo inoculados os dois últimos pares de folhas que apresentavam desenvolvimento completo, porém de aspecto tenro. As inoculações foram realizadas pelo método de D'OLIVEIRA (1954) modificado. Os uredosporos foram distribuídos por meio de um pincel de pêlo de camelo nº 2 sobre a face inferior das folhas. Após a aplicação dos uredosporos a seco na superfície foliar, as plantas inoculadas foram pulverizadas com água destilada e, em seguida, levadas para câmara de incubação onde permaneceram durante 72 horas (escuro,  $20\pm 2^{\circ}\text{C}$  e aproximadamente 100% de umidade relativa). Após este período, as mudas foram transferidas para bancadas protegidas com “sombrite” (aproximadamente 50% de sombreamento), onde permaneceram durante todo o período de avaliação, que durou de 60 a 70 dias com temperatura variando de 19 a  $32^{\circ}\text{C}$ . Mudas de Catuaí foram utilizadas como testemunhas suscetíveis para aferição da eficiência das inoculações. Nos lotes em que não ocorreu infecção da testemunha, os resultados foram desconsiderados. Além disso, submeteu-se as plantas que não apresentaram sintomas da doença ao patógeno até a confirmação da resistência.

### **2.2.4.Caracterização dos tipos de reação dos cafeeiros**

A avaliação da reação de cada planta inoculada artificialmente com *Hemileia vastatrix* foi feita aos 70 dias após a inoculação, visando quantificar as reações de cada

um dos genótipos inoculados. Utilizou-se a escala apresentada por ESKES & TOMA-BRAGHINI (1981) (Tabela 3).

As plantas segregantes, dentro de cada uma das populações estudadas, foram resumidas nas categorias de resistentes ou suscetíveis. Na categoria resistente, incluíram-se as plantas que apresentavam as notas 1, 2 e 3, sem produção de uredosporos. Na categoria suscetível, incluíram-se as plantas com grau de reação caracterizado pela produção de uredosporos, independente da quantidade, representadas pelas reações com notas 4, 5, 6, 7, 8 e 9.

TABELA 3. Escala usada para quantificação da resistência de progênies de cafeeiro à ferrugem.

Nota	Descrição
0	Nenhum sinal visível da infecção.
1	Pequenos pontos cloróticos, frequentemente associados com pequenas tumefações e às vezes somente visíveis com uma lupa ou expondo-se as folhas contra a luz.
2	Pequenos e médios pontos cloróticos, frequentemente associados com tumefações e sem produção de uredosporos.
3	Mistura de vários pontos cloróticos de diferentes tamanhos, incluindo alguns grandes e poucas tumefações, sem produção de uredosporos.
4	Mistura de pontos cloróticos de vários tamanho, com alguma formação de uredosporos nas maiores lesões e esporulação de no máximo 25% das lesões. Poucas tumefações podem ocorrer. Necroses de lesões podem ser observadas.
5	Semelhante a 4, mas com mais esporos produzidos por lesão e esporulação de cerca de 50% das lesões;
6	Semelhante a 5, mas com produção de esporos e esporulação de cerca de 75% das lesões;
7	Semelhante a 6, mas com esporulação de praticamente todas as lesões e com abundante produção de esporos em muitas delas;
8	Mistura de lesões com graus variáveis de esporulação ou um nível médio de esporulação em todas as lesões, às vezes associadas com poucas tumefações;
9	Lesões com abundante esporulação, sem clorose nas bordas.

#### 2.2.5. Métodos de avaliação da resistência horizontal

Os componentes de resistência foram analisados no conjunto de populações que tinham origem comum, de modo a caracterizar e quantificar os possíveis níveis de resistência horizontal nos cafeeiros. Avaliou-se os componentes monocíclicos da doença nas mudas de cafeeiros, conforme descritos a seguir. Período de incubação: o tempo, em dias, decorrido desde a inoculação até o aparecimento dos primeiros sintomas em cada folha inoculada. Foi avaliado pela observação visual diária, a partir do décimo dia da inoculação até a constatação dos primeiros sintomas nas folhas. Período latente médio:

o tempo, em dias, desde a inoculação até a esporulação de 50% das pústulas presentes na folha inoculada. A duração do período latente foi avaliada visualmente, acompanhando o desenvolvimento dos sintomas da doença em cada folha inoculada. A partir do décimo dia após a inoculação, as observações realizaram-se a cada dois dias, durante 60 dias. Razão de infecção: obtida dividindo-se o número de plantas doentes, pelo número de plantas inoculadas, em plantas descendentes de cada progênie. Produção de uredosporos: utilizando-se uma escala de notas arbitrária, variando de 0 a 4 pontos, sendo 0 para lesões sem esporos e 1 a 4 para um aumento gradual do número de esporos. A avaliação da produção de esporos foi feita aos 70 dias após a inoculação. Razão de lesões esporuladas: o número de lesões esporuladas por folha, independentemente do grau de reação, avaliado 70 dias após a inoculação. Razão de esporulação: obtida dividindo-se o número de plantas com lesões esporuladas, pelo número total de plantas inoculadas, descendentes de cada progênie. Área foliar lesionada: a relação entre a área foliar lesionada e a área foliar total, sendo que a área foliar lesionada foi avaliada com a escala desenvolvida por KUSHALAPPA & CHAVES (1978) e a área foliar foi obtida pelo medidor LI-3100 e (ix) número de lesões em 50 cm<sup>2</sup> de área foliar.

As pesquisas com os genótipos em fase de muda foram realizadas de março a julho de 2004 em casa-de-vegetação do Departamento de Fitopatologia da UFV.

### **2.3. Análise estatística**

Após ter sido verificada normalidade da distribuição dos dados, procedeu-se à análise de variância. Os dados obtidos das avaliações de campo submeteram-se aos testes de F e de médias segundo SKOTT & KNOTT (BANZATTO & KRONKA, 1989).

Para avaliar o comportamento final das progênies, os resultados foram analisados utilizando-se o método cluster análise, com medida de similaridade Euclidiana média e agrupamento do vizinho mais próximo (LIBERATO, 1995). Usou-se esta metodologia para o agrupamento dos genótipos estudados que eram similares quanto aos componentes da resistência horizontal.

### 3.RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1. Produtividade e resistência do cafeeiro à *Hemileia vastatrix*

A produtividade das progênies UFV 5550, UFV 6861, UFV 6864, UFV 6870 e UFV 5480, foi semelhante ao Catuaí 1 ( $P \leq 0,05$ ; Tabela 4). A progênie UFV 6831 resistente à ferrugem equiparou-se ao Catuaí 2. Além dessas progênies, UFV 5527 destacou-se em produtividade. As outras progênies apresentaram produtividades inferiores, sendo que UFV 5512 e UFV 5510 apresentaram cerca de 48,44 e 47,97%, respectivamente, da produtividade da testemunha Catuaí 1. Isto indica que as progênies de Catimor variam grandemente com relação à produtividade e que a seleção daquelas melhores deve ser cuidadosa, levando-se em consideração vários anos. A avaliação realizada em anos anteriores, como a que consta nos trabalhos de SEVERINO (2000), em relação à produtividade, selecionou como promissoras as progênies UFV 5550 e 6861, corroborando com este trabalho.

O vigor foi alto para a maioria das progênies, ficando em torno de 8 a 9, salvo raras exceções. Comparado ao cultivar Catuaí 2, em 2002, escolhido aqui devido à maior produtividade, considerou-se o vigor alto nas progênies UFV 5550, UFV 4221, UFV 6861, UFV 6864, UFV 6870, UFV 6831, UFV 5475 e UFV 5480. As progênies UFV 5550 e UFV 6861 tiveram boa performance tanto no vigor quanto na produtividade, entretanto elas tiveram porte médio e alto, o que deve ser considerado na escolha final.

A severidade da ferrugem, avaliada nos dois anos, atribuindo-se notas de 0 a 9 de acordo com a presença de ramificações doentes e a incidência, avaliada pela

percentagem de plantas doentes, estão na Tabela 4. Quando considerada a quantidade de ataque de ramificações, as progênes UFV 5530, UFV 5451, UFV 5550, UFV 6903, UFV 6831 e UFV 5464 não apresentaram plantas com sintomas de ferrugem nos dois anos de avaliação, diferente das outras progênes e das testemunhas Catuaí 1 e 2, as quais tiveram 3,1 a 97,6% de plantas doentes.

TABELA 4. Produtividade média de progênes de Catimor e Catuaí em 2001 e 2002, em sacas de café beneficiado (60 kg) por hectare e vigor, porte, incidência e severidade da ferrugem, em condições de campo.

Progênie	Produtividade			Vigor <sup>1</sup>		Porte		Severidade		Incidência	
	2001	2002	Total	1 <sup>2</sup>	2 <sup>3</sup>	1	2	Médias (0-9)		Plantas doentes (%)	
								1	2	1	2
<b>Geração F6</b>											
UFV 5530	42,29 D	75,43 D	117,72 E	6,7 E	6,5 E	A	A	0,0 A	0,0 A	0,0 A	0,0 A
UFV 5527	64,69 B	136,28 A	200,97 A	7,7 C	7,5 C	M	M	6,4 G	9,0 F	41,7 D	95,6 F
UFV 5525	33,28 D	140,45 A	173,72 C	8,0 B	8,0 B	A	A	6,5 G	9,0 F	37,8 D	91,9 F
UFV 5512	33,56 D	60,70 D	94,27 F	5,5 G	6,7 E	A	A	0,9 C	0,8 B	19,2 C	17,3 B
UFV 5510	28,18 D	65,16 D	93,35 F	6,2 F	7,5 C	A	A	6,8 G	9,0 F	52,4 B	69,3 F
UFV 5451	65,23 B	94,32 C	159,55 C	7,8 C	7,5 C	M	M	0,0 A	0,0 A	0,0 A	0,0 A
UFV 5450	34,96 D	96,11 C	131,07 D	7,0 D	7,7 C	A	A	5,2 F	9,0 F	34,1 D	88,8 F
UFV 5492	72,73 A	100,28 C	173,00 C	8,5 B	8,0 B	M	M	2,1 D	3,4 D	19,6 C	31,6 C
UFV 5550	70,87 B	120,21 C	191,08 B	8,2 B	8,5 A	M	M	0,0 A	0,0 A	0,0 A	0,0 A
UFV 4221	68,14 B	71,86 D	140,00 C	8,5 B	8,3 A	M	M	2,6 D	4,1 D	22,1 C	54,5 E
UFV 6903	75,15 A	99,68 C	174,83 C	8,0 B	7,7 C	M	M	0,0 A	0,0 A	0,0 A	0,0 A
UFV 6861	66,81 B	120,06 C	186,87 B	8,8 A	8,2 A	A	A	4,8 E	9,0 F	27,4 C	89,6 F
UFV 6863	48,59 C	102,65 C	151,25 C	8,2 B	8,0 B	B	M	1,7 D	2,9 D	16,2 B	44,1 D
UFV 6864	62,58 C	124,53 B	187,10 B	8,8 A	8,3 A	M	M	5,1 F	6,2 F	41,6 D	58,9 E
UFV 6866	57,08 C	86,59 C	143,67 C	8,5 B	8,0 B	B	B	5,3 F	9,0 F	28,7 C	62,6 E
UFV 6867	68,28 C	103,55 C	171,83 C	8,8 A	7,2 D	M	A	6,3 G	9,0 F	37,4 D	90,1 F
UFV 6870	67,07 B	127,65 B	194,72 B	9,0 A	8,7 A	M	M	1,8 D	1,9 C	17,9 C	26,6 C
UFV 6831	83,12 A	131,67 A	214,79 A	9,0 A	8,3 A	M	M	0,0 A	0,0 A	0,0 A	0,0 A
<b>Geração F7</b>											
UFV 5464	62,49 C	103,10 C	165,59 C	8,7 B	7,8 C	M	M	0,0 A	0,0 A	0,0 A	0,0 A
UFV 5475	39,16 D	97,30 C	136,46 D	8,2 B	8,2 A	M	M	0,3 B	2,3 D	3,1 A	18,4 B
UFV 5478	56,27 C	80,79 C	137,05 D	7,8 C	7,2 D	M	A	0,8 C	2,4 D	6,7 A	21,6 B
UFV 5479	48,39 C	114,71 C	163,10 C	8,2 B	8,0 B	B	M	0,6 C	0,9 B	14,8 B	21,5 B
UFV 5480	54,34 C	139,55 A	193,89 B	8,3 B	8,5 A	M	M	5,1 F	6,2 E	38,2 D	58,9 E
<b>Testemunha</b>											
(Catuaí 1)	9,35 B	125,27 B	194,62 B	8,8 A	7,8 C	M	M	6,0 G	9,0 F	77,3 F	97,6 F
<b>Testemunha</b>											
(Catuaí 2)	83,97 A	137,02 A	220,99 A	9,0 A	8,5 A	M	M	6,1 G	6,0 E	68,7 F	97,6 F
<b>Total</b>	<b>1456,58</b>	<b>2654,90</b>	<b>4111,49</b>								
<b>C.V. (%)</b>	<b>44,35</b>	<b>41,94</b>	<b>35,62</b>	<b>13,0</b>	<b>13,32</b>			<b>11,2</b>	<b>8,6</b>	<b>17,8</b>	<b>21,4</b>

<sup>1</sup>Vigor - notas (0 a 10); <sup>2</sup>2001, <sup>3</sup>2002; A-alto, M-médio, B-baixo. Médias seguidas pela mesma letra, na vertical, não diferem entre si, ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Skott-Knott.

A incidência de ferrugem nas testemunhas variou de 68,7 a 97,6%, valores estes considerados muito altos. Uma correlação positiva e significativa ( $r = 0,56$ ) foi obtida entre a incidência da doença e a produtividade do ano posterior. Isto significa que o nível de doença no campo, nas progênies de Catimor, correlaciona positivamente com a produção. Nos anos de alta produção, o nível de doença é geralmente maior que em anos de baixa produção. Entretanto, os coeficientes de correlação não são tão altos, indicando que a seleção de progênies produtivas com níveis altos de resistência pode ser possível. A seleção de progênies dependerá mais da variação genética para resistência incompleta presente na população do que na relação entre produção e doença.

O cultivar Catuaí apresentou-se com uma performance excelente, com uma produtividade de 220,99 sc.ha<sup>-1</sup> acumulada (2001 e 2002), vigor de 7,8 a 9,0 e porte médio (Tabela 4). Contudo, a suscetibilidade à ferrugem foi alta (68,7 a 97,6% das plantas doentes).

### **3.2. Resistência à raça II de *Hemileia vastatrix* em genótipos de cafeeiros selecionados no campo e descendentes**

As progênies de Catimor selecionadas no campo (plantas-mãe) com nula, média e alta severidade apresentaram descendentes resistentes (tipos de reação 2 e 3) quando inoculados com a raça II (Tabela 5). As linhagens de Catuaí 1 e 2 foram altamente suscetíveis à raça II. Isto significa que o gene SH<sub>5</sub> presente em Catuaí foi suplantado pelo v5 da raça II, e que, por outro lado, os outros genótipos apresentam gene(s) diferente(s), do SH<sub>5</sub>, porque apresentaram descendentes resistentes à raça II. Estes genes foram herdados do *Coffea canephora*, quando utilizado no processo de melhoramento (PEREIRA et al., 2002). Os indivíduos com reação imune (plantas não atacadas pela ferrugem) constituíram parcela muito pequena dos descendentes.

Os genótipos apresentaram variação contínua desde resistência completa a alta suscetibilidade, sendo que a maioria situou-se nos níveis intermediários em relação à resistência horizontal. Pode-se sugerir heterozigose de todos os genótipos testados em relação ao loco SH<sub>5</sub>SH<sub>5</sub>, ou que existe resistência horizontal capaz de proporcionar diferentes tipos de reação nos descendentes suscetíveis.

A percentagem dos descendentes resistentes variou muito entre os genótipos, entretanto ocorreu uma coerência da reação à ferrugem observada nos genótipos localizados no campo e a observada nos descendentes. Por exemplo, com exceção dos descendentes dos genótipos UFV 6867, Catuaí Amarelo e Palma 1, todos os outros

genótipos apresentaram mais descendentes resistentes quando no campo não apresentavam doença. Isto evidencia a presença de genes condicionando efeito secundário. Vale ressaltar porém que, no campo, raças diferentes da raça II podem estar atuantes.

TABELA 5. Reação à raça II de *Hemileia vastatrix* obtida em cafeeiros descendentes de progênes de Catimor.

Progênie ou cultivar	Planta-mãe		Severidade <sup>1</sup>	Resistência dos descendentes			
	Geração	Localização		Plantas resistentes		Plantas suscetíveis	
				N <sup>o</sup>	%	N <sup>o</sup>	%
		Martins Soares <sup>2</sup>					
UFV 5527	F6	III-2 <sup>3</sup>	0,0	18	64,3	10	35,7
		V-2	3,0	4	22,2	14	77,8
		III-4	8,0	10	43,5	13	56,5
UFV 5525	F6	III-1	0,0	25	78,1	7	21,9
		VI-3	5,0	21	63,6	12	36,4
		VI-4	8,0	13	61,9	8	38,1
UFV 5510	F6	I-1	0,0	33	78,6	9	21,4
		I-2	2,0	6	23,1	20	76,9
		VI-3	6,0	6	21,4	22	78,6
UFV 5450	F6	I-1	0,0	11	57,9	8	42,1
		III-3	3,0	15	60,0	10	40,0
		I-2	6,0	6	30,0	14	70,0
UFV 5492	F6	VI-1	0,0	11	47,8	12	52,2
		V-4	3,0	17	65,4	9	34,6
		III-3	4,0	7	25,0	21	75,0
UFV 6861	F6	II-1	0,0	11	55,0	9	45,0
		II-2	3,0	17	47,2	19	52,8
		II-4	6,0	2	11,1	16	88,9
UFV 6863	F6	IV-4	0,0	20	48,8	21	51,2
		IV-1	4,0	7	21,9	25	78,1
		IV-3	6,0	3	14,3	18	85,7
UFV 6864	F6	VI-2	0,0	10	62,5	6	37,5
		VI-3	2,0	4	13,3	26	86,7
		V-4	4,0	20	50,0	20	50,0
UFV 6866	F6	V-3	0,0	5	19,2	21	80,8
		V-6	2,0	2	10,0	18	90,0
UFV 6867	F6	V-1	0,0	14	46,7	16	53,3
		V-2	2,0	11	35,5	20	64,5
		V-3	8,0	13	52,0	12	48,0
UFV 6870	F6	I-2	0,0	11	57,9	8	42,1
		I-3	3,0	11	40,7	16	59,3
UFV 5478	F7	III-4	0,0	19	52,8	17	47,2
		IV-2	4,0	10	33,3	20	66,7
Catuaí 1		I-1	8,0	0	0	68	100
Catuaí 2		I-1	9,0	0	0	71	100
Catuaí Amarelo		1	0,0	6	33,3	12	66,7
		2	3,0	10	35,7	18	64,3
		3	4,0	5	20,0	20	80,0
		4	7,0	14	53,8	12	46,2
		Viçosa					
Oeiras MG 6851		24-1	0,0	39	76,5	12	23,5
		20-2	2,0	33	67,3	16	32,7
		19-3	6,0	42	66,7	21	33,3

Continua...

TABELA 5, Cont.

	Varginha					
Palma 1	13	0,0	28	70,0	12	30,0
	37	5,0	51	83,6	10	16,4
Catuaí Vermelho	475	0,0	22	66,7	11	33,3
	471	3,0	1	3,8	25	96,2
H514 7-10-7	5	0,0	22	71,0	9	29,0
	4	4,0	18	64,3	10	35,7
	São Sebastião do Paraíso					
H 419 5-2-4	196	0,0	32	78,0	9	22,0
H 419 3-4-4	126	3,0	15	53,6	13	46,4
H 419 3-1-2	650	4,0	5	29,4	12	70,6

<sup>1</sup>Severidade da ferrugem na planta mãe localizada no campo. <sup>2</sup>Municípios onde estão localizadas as plantas-mãe. <sup>3</sup>III-2: bloco 3, planta 2 (localização da planta-mãe na parcela experimental).

Quanto menor o número de descendentes avaliados, maior foi a proporção de plantas resistentes. Isto significa que somente a avaliação com grande número de descendentes irá identificar a presença de indivíduo capaz de apresentar alto nível de homozigose para resistência. A avaliação deste grande número de descendentes é que torna difícil os programas de melhoramento, além de longos anos necessários na cultura do café. A dificuldade é muito maior se considerado que no campo há muitas raças que podem atacar as plantas.

### **3.3. Resistência horizontal em genótipos selecionados no campo e nos seus descendentes**

Os descendentes das progênies de catimor comparados aos descendentes das testemunhas Catuaí 1 e 2 apresentaram freqüências de infecção, esporulação e esporulação total em geral de média a alta, evidenciando que os genótipos testados apresentavam diferentes doses gênicas quanto à resistência horizontal (Tabela 6). Alguns dos genótipos apresentaram freqüências iguais a 1,0, semelhantes ao Catuaí, o que significa ausência de dose gênica para este tipo de resistência. Quanto menor é a freqüência de infecção, menor é o progresso da ferrugem no campo.

Salvo raras exceções, não houve coerência entre os dados obtidos do campo e os dos descendentes em casa-de-vegetação. Às vezes, plantas no campo sem doença apresentaram descendentes que tiveram freqüências de infecção ou de esporulação maiores que nos descendentes de plantas da mesma progênie, mas com a presença da doença.

TABELA 6. Componentes da resistência horizontal de descendentes de progênes de cafeeiros selecionadas nos campos experimentais.

Planta-mãe			Componentes da resistência horizontal dos descendentes <sup>1</sup>								
			Progênie ou Cultivar	Local	Notas <sup>2</sup>	Nº de plantas			Frequência		
						I	CL	CE	INF	E	ET
M. Soares <sup>3</sup>											
UFV 5527	III-2 <sup>4</sup>	0,0	28	20	10	0,71	0,50	0,36			
	V-2	3,0	18	18	14	1,00	0,78	0,78			
	III-4	8,0	23	19	13	0,83	0,68	0,57			
UFV 5525	III-1	0,0	32	23	7	0,72	0,30	0,22			
	VI-3	5,0	33	32	12	0,97	0,38	0,36			
	VI-4	8,0	21	17	8	0,81	0,47	0,38			
UFV 5510	I-1	0,0	42	30	9	0,71	0,30	0,21			
	I-2	2,0	26	26	20	1,00	0,77	0,77			
	VI-3	6,0	28	25	22	0,89	0,88	0,79			
UFV 5450	I-1	0,0	19	16	8	0,84	0,50	0,42			
	III-3	3,0	25	20	10	0,80	0,50	0,40			
	I-2	6,0	20	20	14	1,00	0,70	0,70			
UFV 5492	VI-1	0,0	23	15	12	0,65	0,80	0,52			
	V-4	3,0	26	13	9	0,50	0,69	0,35			
	III-3	4,0	28	25	21	0,89	0,84	0,75			
UFV 6861	II-1	0,0	20	17	9	0,85	0,53	0,45			
	II-2	3,0	36	30	19	0,83	0,63	0,53			
	II-4	6,0	18	18	16	1,00	0,89	0,89			
UFV 6863	IV-4	0,0	41	41	21	1,00	0,51	0,51			
	IV-1	4,0	32	26	25	0,81	0,96	0,78			
	IV-3	6,0	21	19	18	0,90	0,95	0,86			
UFV 6864	VI-2	0,0	16	14	6	0,88	0,43	0,38			
	VI-3	2,0	30	30	26	1,00	0,87	0,87			
	V-4	4,0	40	36	20	0,90	0,56	0,50			
UFV 6866	V-3	0,0	26	24	21	0,92	0,88	0,81			
	V-6	2,0	20	19	18	0,95	0,95	0,90			
UFV 6867	V-1	0,0	30	24	16	0,80	0,67	0,53			
	V-2	2,0	31	30	20	0,97	0,67	0,65			
	V-3	8,0	25	21	12	0,84	0,57	0,48			
UFV 6870	I-2	0,0	19	15	8	0,79	0,53	0,42			
	I-3	3,0	27	21	16	0,78	0,76	0,59			
UFV 5478	III-4	0,0	36	28	17	0,78	0,61	0,47			
	IV-2	4,0	30	25	20	0,83	0,80	0,67			
Catuaí 1	I-1	8,0	68	68	68	1,00	1,00	1,00			
Catuaí 2	I-1	9,0	71	71	71	1,00	1,00	1,00			
Catucaí											
Amarelo	1	0,0	18	18	12	1,00	0,67	0,67			
	2	3,0	28	26	18	0,93	0,69	0,64			
	3	4,0	25	23	20	0,92	0,87	0,80			
	4	7,0	26	21	12	0,81	0,57	0,46			
Viçosa											
Oeiras											
MG 6851	24-1	0,0	51	21	12	0,41	0,57	0,24			
	20-2	2,0	49	29	16	0,59	0,55	0,33			
	19-3	6,0	63	23	21	0,37	0,91	0,33			
Varginha											
Palma 1	13	0,0	40	18	12	0,45	0,67	0,30			
	37	5,0	61	41	10	0,67	0,24	0,16			
Catucaí											
Vermelho	475	0,0	33	19	11	0,58	0,58	0,33			

Continua...

TABELA 6, Cont.

	471	3,0	26	26	25	1,00	0,96	0,96
H514 7-10-7	5	0,0	31	25	9	0,81	0,36	0,29
	4	4,0	28	20	10	0,71	0,50	0,36
S. S. do Paraíso								
H 419-5-2-4	196	0,0	41	23	9	0,56	0,39	0,22
H 419-3-4-4	126	3,0	28	18	13	0,64	0,72	0,46
H 419-3-1-2	650	4,0	17	17	12	1,00	0,71	0,71

<sup>1</sup>Componentes: I - número de plantas inoculadas, CL - com lesões, CE - com esporos; INF - frequência de infecção, E - esporulação, ET - esporulação total. <sup>2</sup>Severidade da ferrugem na planta mãe estabelecida no campo. <sup>3</sup>Municípios onde estão localizadas as plantas-mãe. <sup>4</sup>III-2: bloco 3, planta 2 (localização da planta-mãe na parcela experimental).

Os estudos são reforçados pelos dados de número de lesões, área foliar lesionada, esporulação e períodos de incubação e latente (Tabela 7), os quais variaram consideravelmente. Comparado às testemunhas 1 e 2, todos os descendentes apresentaram em média, número de lesões e área foliar lesionada muito menor.

Os dados confirmam que a resistência horizontal presente nos genótipos estudados está presente de forma considerável, proporcionando até 13 vezes menor número de lesões, em descendentes de UFV 6866 (V-3), 21 vezes menor área foliar lesionada, em UFV 6866 (V-6), e esporulação de nota 0,1 em UFV 6870 (I-2). Catuaí 2 apresentou esporulação igual a 3,6. Em relação ao período de incubação, variou de 18,4 (Oeiras MG (1)) a 35,8 (UFV 6870 (I-2)) e o período latente variou de 20,4 (UFV 6861 (II-1)) a 46,3 (UFV 6870 (I-2)).

A esporulação foi facilmente detectável, mas muitas vezes não representou uma variável de grande importância, pois o período latente dilatado como ocorrido em descendentes de UFV 6870 (I-2), representou o início de epidemia retardado em relação a outros, com um lento progresso da doença.

Segundo ESKES et al. (1990), no estudo de resistência horizontal, os cafeeiros derivados do Híbrido de Timor com segregantes para suscetibilidade e com baixos níveis de doença possuem sempre maiores períodos latentes. Em razão de aparente aditividade entre os genes de resistência, a seleção fenotípica para os tipos de reação com níveis de resistência à ferrugem mais baixos pode favorecer o acúmulo desses genes. Os autores constataram também que genes para resistência horizontal detectados nos descendentes dos germoplasmas estudados podem conferir resistência completa, quando em homozigose ou quando agrupados num único genótipo. Além disso, a ação confinada de diversos genes em um único genótipo é, provavelmente, efetiva para conferir resistência durável à ferrugem do cafeeiro.

TABELA 7. Componentes da resistência horizontal de descendentes de progênes de cafeeiros selecionadas nos campos experimentais.

Progênie ou Cultivar	Planta-mãe		Componentes da resistência horizontal dos descendentes				
	Local	Nota <sup>1</sup>	Lesões em 50 cm <sup>2</sup> de área foliar	Área foliar lesionada (%)	Esporos (Notas)	Período de Incubação	Período Latente
M. Soares <sup>2</sup>							
UFV 5527	III-2 <sup>3</sup>	0,0	28,2	10,5	0,9	28,1	33,1
	V-2	3,0	14,3	7,4	0,6	25,6	33,2
	III-4	8,0	21,6	9,3	0,7	22,2	37,1
UFV 5525	III-1	0,0	41,5	16,4	1,1	30,4	41,6
	VI-3	5,0	28,1	10,1	1,6	20,1	40,1
	VI-4	8,0	17,0	7,1	1,3	22,7	39,3
UFV 5510	I-1	0,0	19,1	6,4	0,9	23,3	27,2
	I-2	2,0	21,9	9,1	0,6	20,8	31,5
	VI-3	6,0	23,3	8,3	0,8	21,6	40,4
UFV 5450	I-1	0,0	16,1	9,3	0,4	24,4	38,4
	III-3	3,0	21,6	14,1	0,5	25,2	36,1
	I-2	6,0	12,1	10,1	0,8	29,2	41,1
UFV 5492	VI-1	0,0	18,9	9,4	1,1	20,1	29,1
	V-4	3,0	24,4	8,1	2,4	18,0	28,2
	III-3	4,0	14,8	3,4	3,1	20,2	22,3
UFV 6861	II-1	0,0	38,6	5,3	2,6	21,1	20,4
	II-2	3,0	42,2	20,4	3,4	22,9	26,5
	II-4	6,0	12,8	12,6	2,8	25,2	29,2
UFV 6863	IV-4	0,0	22,1	11,4	1,1	19,1	31,3
	IV-1	4,0	24,0	10,1	3,4	21,1	33,1
	IV-3	6,0	42,0	16,2	2,2	26,3	38,1
UFV 6864	VI-2	0,0	21,2	12,7	3,2	23,2	41,0
	VI-3	2,0	14,3	8,4	1,1	24,6	42,2
	V-4	4,0	18,5	5,1	0,4	20,1	42,1
UFV 6866	V-3	0,0	6,4	3,2	0,8	26,2	43,1
	V-6	2,0	8,1	1,9	0,6	29,4	36,8
UFV 6867	V-1	0,0	22,0	10,1	0,3	21,9	36,5
	V-2	2,0	12,0	8,7	0,1	34,7	41,3
	V-3	8,0	13,3	4,4	0,4	35,8	42,0
UFV 6870	I-2	0,0	14,1	12,6	0,1	20,1	46,3
	I-3	3,0	12,3	4,9	2,4	22,3	36,2
UFV 5478	III-4	0,0	21,3	5,1	2,2	23,3	39,5
	IV-2	4,0	26,4	13,2	3,1	26,1	42,6
Catuaí 1	I-1	8,0	92,1	42,6	3,1	18,4	29,7
Catuaí 2	I-1	9,0	84,6	39,7	3,6	22,6	31,9
Catuaí Amarelo	1	0,0	34,4	14,5	3,8	24,6	41,0
	2	3,0	16,2	10,1	3,1	26,7	45,1
	3	4,0	19,9	9,6	0,7	31,1	38,2
	4	7,0	21,2	10,4	0,9	32,4	39,3
Viçosa							
Oeiras MG 6851	24-1	0,0	31,1	16,8	2,1	18,4	33,6
	20-2	2,0	29,3	13,6	3,1	29,1	29,8
	19-3	6,0	30,9	16,9	2,6	21,6	28,9
Varginha							
Palma 1	13	0,0	28,4	10,6	1,4	19,2	31,4
	37	5,0	16,4	12,7	2,1	20,3	34,1
Catuaí Vermelho	475	0,0	12,5	9,8	1,1	21,1	36,4
	471	3,0	14,9	6,8	2,6	24,3	41,6
H514-7-10-7	5	0,0	20,6	15,1	1,4	28,2	42,1

Continua...

TABELA 7, Cont.

	4	4,0	21,3	19,2	2,1	21,4	40,2
S. S. do Paraíso							
H 419-5-2-4	196	0,0	16,4	8,4	0,9	25,1	33,3
H 419-3-4-4	126	3,0	19,6	3,6	0,7	28,4	35,3
H 419-3-1-2	650	4,0	22,2	4,1	0,5	19,5	28,1

<sup>1</sup>Severidade da ferrugem na planta mãe estabelecida no campo. <sup>2</sup>Municípios onde estão localizadas as plantas-mãe. <sup>3</sup>III-2: bloco 3, planta 2 (localização da planta-mãe na parcela experimental).

A discussão em torno da resistência horizontal deve considerar todas as variáveis estudadas, entretanto, no presente trabalho, uma das variáveis que mais caracterizou as progênes foi a esporulação. Esta variável é o reflexo de todas as outras e deve ser priorizada nos trabalhos futuros. Tanto a frequência de esporulação total quanto a classificação de esporulação distinguiram de forma considerável alguns genótipos. A análise da frequência de esporulação total revelou que UFV 5525 (III-1, VI-3 e VI-4), Oeiras MG 6851 (1,2 e 3) e H 514-7-10-7 (5 e 4) foram muito eficientes em reduzir a esporulação, com uma frequência em torno de 0,25, cerca de um quarto do ocorrido em Catuaí. A análise da classificação da esporulação revelou a mesma tendência, classificando-se como genótipos promissores também, UFV 5527 (III-2, V-2 e III-4), 5510 (I-1, I-2 e VI-3), 5450 (I-1, III-3 e I-2), 6866 (V3 e V6), 6867 (V-1, V-2 e V3) e H 419-5-2-4 e 3-1-2.

### 3.4. Agrupamento de genótipos quanto à dose gênica de resistência horizontal

Utilizando-se análise multivariada dos componentes frequência de infecção, esporulação e esporulação total, número de lesões e área foliar lesionada, foi possível formar três grupos distintos de genótipos. Com 100% de similaridade, o grupo 1 foi composto por: H 419-5-2-4 e Oeiras MG 6851 (2). Com 30% de similaridade, o grupo 2 foi formado por: H 419-3-1-2, UFV 5492 (VI-1), UFV 5492 (III-3), UFV 6863 (IV-3), UFV 6863 (IV-1), Catucaí Amarelo (2), UFV 6864 (VI-2), UFV 6866(V6), UFV 6870 (I-3), H514-7-10-7 (5), Catucaí Vermelho (475), UFV 6867 (V-2), UFV 6866 (V3), UFV 6864 (V-4), UFV 6864 (VI-3), UFV 6861(II-4), UFV 5492 (V-4), UFV 5450 (I-2), UFV 5450 (III-3), UFV 5450 (I-1), UFV 5510 (VI-3), UFV 5510 (I-2), UFV 6863 (IV-4), Catucaí Amarelo (4), UFV 5510 (I-1), UFV 5478 (III-4), Palma 1 (13), UFV 6861 (II-1), UFV 6867 (V-1), UFV 5525 (VI-4), UFV 6861(II-2), UFV 5525 (VI-3), UFV 5525 (III-1), UFV 5527 (III-2); UFV 5527 (III-4), UFV 5527 (V-2). Com 0% de similaridade, o grupo 3 foi formado por: UFV 6870 (I-2), H514-7-10-7 (4), Catucaí

Vermelho (471), UFV 5478 (IV-2), Palma 1(37), Oeiras MG 6851 (1), Catucaí Amarelo (3), Catucaí 2, Catucaí Amarelo (1), Catucaí 1, Oeiras MG 6851 (3), UFV 6867 (V-3), H-419-3-4-4.

A correlação do período de incubação e período latente também permitiu estabelecer três grupos quanto às similaridades dos genótipos. Com 100% de similaridade, o grupo 1 foi composto por: H 419-3-4-4, Catucaí Amarelo (1), UFV 6861(II-4), UFV 5492 (V-4). Com 51% de similaridade, o grupo 2 foi formado por: UFV 6867 (V-2), Catucaí Vermelho (471), Catucaí 1, Oeiras MG 6851 (3), Palma 1(37), UFV 6861 (II-1), UFV 5450 (I-2), UFV 6866(V6), UFV 5450 (I-1), Oeiras MG 6851 (1), UFV 5525 (III-1). Com 0% de similaridade, o grupo 3 foi composto por: UFV 6867 (V-1), UFV 6866 (V3), UFV 6870 (I-2), Catucaí Amarelo (3), UFV 5525 (VI-4), UFV 5478 (IV-2), UFV 6870 (I-3), UFV 5527 (V-2), UFV 6863 (IV-4), UFV 6861(II-2), UFV 6863 (IV-1), UFV 5510 (I-1), H514-7-10-7 (5), Catucaí 2, UFV 5510 (VI-3), Palma 1 (13), UFV 5527 (III-2), UFV 5492 (III-3), UFV 5492 (VI-1), UFV 5450 (III-3), UFV 5525 (VI-3), UFV 6867 (V-3), UFV 5527 (III-4), UFV 6864 (VI-3), UFV 6863 (IV-3), UFV 6864 (VI-2), UFV 6864 (V-4), UFV 5478 (III-4), H514-7-10-7 (4), UFV 5510 (I-2), H-419-3-1-2, H-419-5-2-4, Catucaí Vermelho (475), Oeiras MG 6851 (2), Catucaí Amarelo (4), Catucaí Amarelo (2).

Quanto maior o número de características avaliadas, maior foi a eficiência do método de agrupamento. Ao considerar seis componentes da resistência, frequências de infecção, esporulação e esporulação total, número de lesões, área foliar lesionada e grau de esporulação, agruparam-se melhor os genótipos do que quando foram considerados apenas o período de incubação e o período latente. Entretanto, é necessário realizar uma interpretação baseada na integração dos dois agrupamentos, visto que os dados são o reflexo dos períodos de incubação e latente.

As testemunhas 1 (Catucaí 1) e 2 (Catucaí 2) apresentaram 0% de similaridade com as progênies Oeiras MG 6851 e Catucaí Amarelo (2) respectivamente. Por outro lado, o cultivar Oeiras MG 6851 (2) e a progênie H 419-5-2-4 apresentaram 100% de similaridade, segundo o método do vizinho mais próximo, utilizando-se a distância Euclidiana média.

O cultivar Oeiras já é recomendado para utilização em plantio comercial pela UFV e EPAMIG (PEREIRA et al., 2002) e, juntamente com H 419-5-2-4, apresentou os melhores resultados.

Quando foram consideradas as variáveis período de incubação e período latente, destacaram-se UFV 5492 (V-4), UFV 6861 (II-4), Catucaí Amarelo (I) e H 419-3-4-4.

Os resultados apresentados neste trabalho permitiram concluir que a variação da resistência horizontal nos genótipos de cafeeiros estudados é grande e que muitos deles apresentam grande potencial para a obtenção de cultivares produtivas e portadoras de alto nível de resistência horizontal.

#### 4.REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABREU, M.S. **Identificação de parâmetros para avaliação da resistência horizontal de *Coffea arabica* L. a *Hemileia vastatrix* Berk. & Br.** (Tese de Mestrado). Viçosa. Universidade Federal de Viçosa. 1978.
- ABREU, M.S. **Resistência horizontal a *Hemileia vastatrix* Berk. et Br. em cafeeiros descendentes do híbrido de Timor.** (Tese de Doutorado). Viçosa. Universidade Federal de Viçosa. 1988.
- ABREU, S.M. Evidenciação da resistência de progênies de Catimor a *Hemileia vastatrix*. In: **Anais, 11<sup>o</sup> Congresso Brasileiro de Pesquisas Cafeeiras (CBPC)**. Rio de Janeiro. 1984.
- ALMEIDA, L. C. **Resistência vertical e horizontal a *Hemileia vastatrix* Berk et Br. em gerações F<sub>4</sub> e F<sub>5</sub> de progênies de cafeeiros Catimor.** (Tese de Mestrado). Viçosa. Universidade Federal de Viçosa. 1980.
- BANZATTO, D.A. & KRONKA, S.N. **Experimentação agrícola**. Jaboticabal. Funep. 1989.
- BETTENCOURT, A.J. **Melhoramento genético do cafeeiro. Transferência de fatores de resistência à *Hemileia vastatrix* Berk et Br. para os principais cultivares de *Coffea arabica* L.** Lisboa. Instituto Superior de Agronomia da Universidade Técnica de Lisboa. 1981.
- BETTENCOURT, A.J. & RODRIGUES JUNIOR, C.J. Principles and practices of coffee breeding for resistance to rust and other diseases. In: Clarke, R.J, Macrae, R. (Eds.) **Coffee Agronomy**. London. Elsevier. 1988.
- CADENA-GOMES, G. & BURITICA-CESPEDES, P. Expression de resistência horizontal a la roya (*Hemileia vastatrix* Berk. et Br.) em *Coffea canephora* variedade conilon. **CENICAFE**. 31:1. Pp 3-28. 1980.
- CARDOSO, R. M. L., ZAMBOLIM, L. & CHAVES, G. M. Novas raças fisiológicas de *Hemileia vastatrix* identificadas em cafeeiros com genótipos complexos, no Estado

de Minas Gerais. **Anais, 12<sup>o</sup> Congresso Brasileiro de Pesquisas Cafeeiras**, Caxambu, IBC/GERCA. 1981. Pp 126-127.

CARVALHO, A.; ESKEES, A.B., CASTILLO-Z, J., SREENIVASAN, M.S., ECHEVERRI, J.H., FERNANDEZ, C.E. & FAZUOLI, L.C. Breeding Programs. In: Kushalappa, A.C. & Eskes, A.B.(Ed.) **Coffee Rust: Epidemiology, Resistance and Management**. Florida. CRC Press, Inc. 1989. Pp. 293-336.

D'OLIVEIRA, B. As ferrugens do cafeeiro. **Revista do Café Português** 1:4. 1954.

ESKES, A.B. & COSTA, W.M. Characterization of incomplete resistance to *Hemileia vastatrix* in the Icatu coffee population derived from a cross between *Coffea canephora* and *Coffea arabica*, leaf rust. **Euphytica**. 32:649-657. 1983.

ESKES, A.B. & TOMA-BRAGHINI, M. Assesment methods for resistance to coffee leaf rust (*Hemileia vastatrix* Berk et. Br). **Plant Protection**. 29:56-66. 1981.

ESKES, A.B., HOOSGSTRATEN, J.G.J., TOMA-BRAGHINI, M. & CARVALHO, A. Race-specificity and inheritance of incomplete to coffee leaf rust in some Icatu coffee progenies de Timor derivatives of Hibrido de Timor. **Euphytica**. 47:11-19. 1990.

FONSECA, S.A. **Resistência não específica em cultivares de *Coffea arabica* L. e progênies de Catimor a raças de *Hemileia vastatrix* Berk. et Br.** (Tese de Mestrado). Viçosa. Universidade Federal de Viçosa. 1979.

HOOKER, A.L. The genetics and expression of resistance in plants to rusts of the genus *Puccinia*. **Annual Review of Phytopathology**. 59:163-182. 1967.

LIBERATO, J.R. **Aplicações de técnicas de análise multivariada em fitopatologia**. (Tese de Mestrado). Viçosa. Universidade Federal de Viçosa. 1995.

MALAVOLTA, E. & MOREIRA, A. Nutrição e adubação do cafeeiro adensado. **Informações Agronômicas**. 80:1-8. 1997. (Encontro Técnico).

KUSHALAPPA, A. C. & CHAVES, G. M. Escala para avaliar a percentagem de área foliar com ferrugem do cafeeiro. **Fitopatologia Brasileira**. 3:119. 1978.

PARLEVLIET, J.E. & ZADOKS, J.C. The integrated concept of disease resistance, a new view including horizontal and vertical resistance in plants. **Euphytica**. 26:5-21. 1977.

PEREIRA, A.A., MOURA, W.M., ZAMBOLIM, L., SAKIYAMA, N. & CHAVES, G.M. Melhoramento genético do cafeeiro no Estado de Minas Gerais. Cultivares lançadas e em fase de obtenção. In: Zambolim, L. (Ed.). **O Estado da Arte de Tecnologias na Produção de Café**. Viçosa. Universidade Federal de Viçosa. 2002.

PEREIRA, A.A., ZAMBOLIM, L. & CHAVES, G.M. Melhoramento visando à resistência a doenças. **Informe Agropecuário**. 11:122. Pp 82-92, 1985.

- PEREIRA, A.A. **Herança da resistência a *Hemileia vastatrix* Berk. et Br. em cafeeiros derivados de Híbrido de Timor.** (Tese de Doutorado). Viçosa. Universidade Federal de Viçosa. 1994.
- RIBEIRO, I.J.A., BERGAMIN FILHO, A. & CARVALHO, P.C.T. Avaliação da resistência horizontal a *Hemileia vastatrix* Berk. et Br. em cultivares de *Coffea arabica* L. e condições naturais de epidemia. **Summa Phytopathologica.** 7:80-95. 1981.
- SEVERINO, L.S. **Caracterização de progênies de Catimor e avaliação de descritores em *Coffea arabica* L.** Viçosa. Universidade Federal de Viçosa. (Tese de Mestrado). 2000.
- VALE, F.X.R., PARLEVLIET, J.E. & ZAMBOLIM, L. Concepts in plant disease resistance, **Fitopatologia Brasileira.** 26:3. Pp 577-589. 2001.
- VANDERPLANK, J. E. **Plant Disease: Epidemics and Control.** Academic Press. New York. 1963.
- 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.** 17:151-184. 1974.
- ZAMBOLIM, L., VALE, F.X.R., PEREIRA, A.A. & CHAVES, G.M. Café (*C. arabica* L.). Controle de doenças. In: Vale, F.X.R. & ZAMBOLIM, L. (Eds.). **Controle de doenças de plantas. Grandes culturas.** Viçosa. Universidade Federal de Viçosa. Volume 1. 1997.

## **CAPÍTULO 2**

### **NÍVEIS DE PRODUÇÃO DO CAFEIEIRO NO PROGRESSO DA FERRUGEM**

#### **RESUMO**

A ferrugem do cafeeiro causa grandes prejuízos quando as plantas estão em fase de produção. A suscetibilidade das plantas nesta fase parece estar ligada ao estresse provocado pela presença de frutos que desviam nutrientes para o seu desenvolvimento, deixando as folhas desprotegidas. Desta forma, objetivou-se neste trabalho avaliar o desenvolvimento da doença em plantas com diferentes níveis de produção e também os teores de nutrientes e carboidratos nas folhas atacadas pela doença. Plantas de café do cultivar Catuaí Vermelho, de 5 anos de idade, tiveram os frutos em fase inicial de desenvolvimento desbastados no ano 1 (2001), e as flores desbastadas no ano 2 (2002), visando a obtenção de parcelas com 0, 25, 50, 75 e 100% de frutos da produção esperada. Ao final do experimento, na colheita, as produtividades foram determinadas. O desenvolvimento da ferrugem foi quantificado por meio da porcentagem de folhas infectadas, área foliar infectada e número de lesões esporuladas e também determinaram-se os teores de amido, açúcares redutores e não redutores, N, P, K, Ca, Mg, S, Fe, B, Zn, Mn e Cu nas folhas. Em 2001 avaliou-se a doença em 6 épocas e em 2002 em 7 épocas. Os teores de carboidratos e nutrientes foram estudados em 5 épocas, em cada ano. Os resultados obtidos sugeriram efeito da produção no desenvolvimento da ferrugem, sendo que a presença dos frutos na fase inicial de desenvolvimento, em

2001, foi suficiente para o estabelecimento da doença, diferente do que ocorreu em 2002, quando se tinham apenas flores. Quando as plantas tiveram os frutos em desenvolvimento desbastados, a doença decresceu, diferente do que ocorreu quando restaram frutos nas plantas. Quando as flores foram desbastadas a doença não ocorreu. A ferrugem atingiu maiores proporções a partir de janeiro, atingindo o pico na época da colheita, em julho. Nas plantas que apresentaram 62,75 sacas por hectare ocorreu 95% de folhas doentes e 49% de área foliar infectada, em média, no final do experimento. Pelo menos 60% da variação entre os níveis de doença pode ser explicada pela variação da produção. Estes valores alcançaram até 78% quando foi correlacionada a severidade da doença nas plantas em produção. Embora a área foliar infectada não tenha sido alta nas parcelas com produção abaixo de 15 sacas por hectare, ela permaneceu em torno de 10%. A área abaixo da curva de progresso da doença não diferenciou níveis de produção, apenas separou as plantas sem carga ( $P \leq 0,05$ ). Houve correlação de 91% entre severidade da ferrugem e intensidade de radiação determinada abaixo do dossel, com ceptômetro, evidenciando queda acentuada de folhas devido ao ataque da ferrugem. A duração do período de molhamento foliar em média de 30 horas semanais e a temperatura média de 21°C favoreceu o desenvolvimento de *Hemileia vastatrix*. Quando os teores de nutrientes das folhas foram avaliados, pelo menos 74% da variação entre os teores de potássio nas folhas pode ser explicada pela variação da produção, bem como 51% para fósforo e 45% para cobre. O teor de potássio foi reduzido em função da produção desde o início da produção de frutos, diferentemente dos outros elementos. Outros deles acumularam-se nas folhas, como o Ca e o B. Os teores de carboidratos variaram principalmente nas épocas, influenciados pelo crescimento vegetativo ou reprodutivo e pelas condições climáticas.

**Palavras-chave:** níveis de produção, produtividade, café, ferrugem, *Hemileia vastatrix*, íons de potássio, carboidratos, fonte-dreno.

## **ABSTRACT**

### Yield levels of coffee in the coffee rust progress

The leaf rust of coffee cause great losses when the plants are in phase of production. The susceptibility of the plants in this phase seems to be related to the stress caused by the presence of fruits that deviate nutrients to its development and left the leaves susceptible to the disease. Thus, the aim of this work was to value the development of the rust on leaves of plants with different levels of production and to value the tenores of nutrients and of carbohydrates in the leaves attacked by the disease. Coffee plants of the cultivar Catuaí Vermelho of 5 years, had the fruits in initial phase of development thinned out at the year 1 (2001), and the flowers thinned out, at the second year (2002), aiming the obtention of plants with 0, 25, 50, 75 and 100% of fruits. In the final of the experiment, at harvesting, the productivities were determined. The development of the rust was quantified by the percentage of infected leaves, lesioned leaf area and the number of sporulated lesions. At the same way it was determined the tenores of starch, reducing sugars, non reducing sugars, N, P, K, Ca, Mg, S, Fe, B, Zn, Mn and Cu in the leaves. In 2001, the disease was valued in 6 times and in 2002 in 7 times. The tenores of carbohydrates and nutrients were studied in 5 times, in each year. The results obtained suggested the effect of production in the development of the rust. The presence of the fruits in the initial phase of development, in 2001, was sufficient to the establishment of the disease, opposed to what occurred in 2002, when it had only flowers. When the plants had the fruits in development thinned out, the disease decreased, different of what occurred when remained fruits on the plants. When the

flowers were thinned out the disease did not occur. The rust reached January, reaching the pike on the harvesting, in July. At the plants that presented 62.75 bags per hectare occurred 95% of the diseased leaves and 49% of infected foliar area, at the end of the experiment. Around 60% of the variation among the levels of disease can be explained by the variation of the production. This value reached 78% when was correlated the severity of the disease at the plants with fruits. Although the infected foliar area had not been so high at plants with production lower 15 bags per hectare, it remained at 10%. The area under disease progress curve did not differ levels of production, but separated the plants without load ( $P \leq 0.05$ ). It had a correlation of 91% between severity of rust and intensity of radiation determined under the dossel, with ceptometer, evidencing an emphasized downfall of the rust. The duration of the period of leaf wetness of 30 hours per week, on average, and the average temperature of 21°C favored the development of *Hemileia vastatrix*. When the tenores of nutrients of leaves were valued, about 74% of variation between the tenores of potassium in the leaves was explained by the variation of production as well as 51% for phosphorous and 45% for copper. The tenor of potassium was reduced in function to the production since the beginning of the formation of the fruits, different to the other elements. Some of them cumulated in the leaves, like the Ca and the B. The tenores of carbohydrates had mainly varied in the times, influenced by the vegetative and reproductive growth and by the climatic conditions.

**Key words:** production levels, productivity, coffee, leaf rust, *Hemileia vastatrix*, potassium, carbohydrates.

## 1.INTRODUÇÃO

A frutificação do cafeeiro é um fator que determina o progresso da ferrugem no campo (ESKES & SOUZA, 1981; MANSK & MATIELLO, 1984; ACUÑA & ZAMBOLIM, 1985). Nos anos de menor frutificação e pouco enfolhamento a doença atinge níveis mais baixos, enquanto que nos anos de alta carga de frutos e maior enfolhamento, a doença evolui rapidamente, atingindo níveis de incidência acima de 50% (MANSK & MATIELLO, 1984; ZAMBOLIM et al.,1992). Mesmo com aplicações de fungicidas para controlar a doença, há reflexos negativos na produção do ano seguinte.

ORTOLANI (1973) verificou correlação positiva entre a produção e a incidência de ferrugem, sendo que esta incidência foi maior nos anos de grandes produções das plantas. De acordo com o autor, provavelmente ocorreu alteração do grau de resistência da planta em função de um desequilíbrio nutricional.

A incidência da ferrugem no cultivar Mundo Novo pode ser reduzida em até 50% quando são removidos os frutos das plantas (MARIOTTO et al., 1974). O aumento da susceptibilidade de plantas com frutos em desenvolvimento tem sido evidenciado pela observação do desenvolvimento natural de doença em ramos com e sem frutos, crescendo lado a lado na mesma planta. A remoção de frutos logo no início da produção diminui a intensidade da doença no cultivar Catuaí em 50% (ESKES & CARVALHO, 1983).

O aumento de susceptibilidade devido à produção também foi demonstrado em testes de laboratório, nos quais o período latente curto e alta densidade de lesões foram observados em discos foliares de ramos produtivos comparado a discos foliares de ramos não produtivos (ACUÑA & ZAMBOLIM, 1985).

De acordo com TAIZ & ZEIGER (2000), existe uma relação fonte-dreno afetando a formação dos frutos. As áreas de produção são denominadas fontes e as áreas de metabolismo ou armazenamento são chamadas de dreno. Fontes incluem qualquer órgão exportador, tipicamente folhas maduras que são capazes de produzir fotoassimilados em excesso para suas necessidades. Os drenos incluem órgãos não-fotossintetizantes dos vegetais e órgãos que não produzem produtos fotossintéticos em quantidade suficiente para suas próprias necessidades de crescimento ou reserva. As raízes, os tubérculos, os frutos em desenvolvimento e as folhas imaturas, que devem importar carboidratos para seu desenvolvimento normal, são exemplos de tecidos-dreno. Enquanto os ápices caulinares e radiculares são normalmente os drenos principais durante o crescimento vegetativo, os frutos tornam-se o dreno dominante durante o desenvolvimento reprodutivo. As folhas-fonte preferencialmente suprem os drenos com os quais elas possuem conexões vasculares diretas.

A alteração dos teores de nutrientes e carboidratos nas folhas dos cafeeiros, quando em produção, pode tornar as folhas mais suscetíveis à ferrugem, por isso, objetivou-se neste trabalho avaliar: (i) o efeito da produção do cafeeiro no desenvolvimento da ferrugem utilizando-se o cultivar Catuaí e (ii) a relação entre a incidência da doença e o teor de macro e micronutrientes e de carboidratos nas folhas infectadas.

## **2.MATERIAL E MÉTODOS**

### **2.1.Efeito de níveis de produção do cafeeiro no progresso da ferrugem**

A pesquisa foi realizada nos anos agrícolas de 2001/2002 e 2002/2003 em área do sítio Crindiúvas, localizada no município de Coimbra (MG), a uma altitude aproximada de 650 m. Utilizaram-se cafeeiros do cultivar Catuaí Vermelho com 4 anos de idade, suscetíveis à ferrugem. Os cafeeiros eram cultivados a pleno sol, em espaçamento de 3 m x 1,5 m, com duas plantas por cova. Os cafeeiros apresentavam alta carga de frutos e bom grau de enfolhamento no momento da instalação do experimento.

Na safra de 2001/2002, foram retirados os frutos em fase inicial de desenvolvimento (“chumbinhos”) em diferentes quantidades, visando obter plantas com aproximadamente 100, 75, 50, 25 e 0% de frutos da produção esperada. Nas safra de 2002/2003, assim que as plantas floresceram, no mesmo experimento, as flores foram desbastadas para se conseguirem as mesmas percentagens de frutificação. Após a colheita, nos dois anos agrícolas, a produtividade foi estabelecida em sacas beneficiadas por hectare (60 kg).

Devido à característica de produção bienal do cafeeiro, foi necessário inverter a ordem das parcelas, de forma que aquela que continha o nível de produção de 100% em 2001/2002, passou a ser considerada com nível de produção zero em 2002/2003.

O delineamento experimental foi o de blocos casualizados com 5 tratamentos e 4 repetições. Os tratamentos foram constituídos pelos níveis de produção 100, 75, 50, 25 e 0% e cada unidade experimental foi formada por 7 plantas, sendo que 2 delas, em cada uma das extremidades das parcelas, serviram de bordadura. Realizou-se os tratos

culturais conforme recomendações vigentes para o plantio adensado na Zona da Mata de Minas Gerais (MALAVOLTA & MOREIRA, 1997).

As avaliações da doença, ocorrendo sob condição natural, foram realizadas nas datas descritas na Tabela 1. Obteve-se folhas de ramos localizados no terço inferior das plantas, nas projeção Norte Sul, Leste e Oeste, totalizando 50 folhas por parcela. Essas folhas foram usadas para a avaliação da área foliar lesionada e o número de lesões com uredosporos. Quantificou-se a severidade baseando-se na escala proposta por KUSHALAPPA & CHAVES (1978) e a área foliar foi avaliada através do medidor de área foliar (LI-3100).

TABELA 1. Época de avaliação de ferrugem, carboidratos, nutrientes, radiação interceptada e variáveis climáticas.

Variáveis	Ano, mês e dia													
	2001/2002						2002/2003							
	Nov 01	Nov 20	Jan 11	Fev 27	Abr 28	Jul 04	Set 11	Out 20	Nov 30	Jan 13	Fev 25	Abr 02	Mai 12	Jun 26
Ferrugem	x	x	x	x	x	x		x	x	x	x	x	x	x
Carboi- dratos	x	x	x	x		x	x	x	x		x			x
Nutrientes	x	x	x	x		x	x	x	x		x			x
Radiação interceptada								x	x	x	x	x	x	x
Variáveis climáticas - SEMANAL														

A radiação fotossinteticamente ativa na base do dossel das plantas foi avaliada utilizando-se de um ceptômetro (Accupar) para se inferir na queda foliar provocada pela ferrugem. O aparelho permitiu medir a radiação emitida diretamente pelos raios solares. Quanto menor o número de folhas presentes maior foi o valor obtido na base do dossel (Tabela 1).

## 2.2. Análise do teor de carboidratos e nutrientes nas folhas de plantas infectadas

### 2.2.1. Coleta e processamento de folhas para as determinações químico-analíticas

Obteve-se amostras foliares no terceiro e quarto pares de folhas de ramos localizados na porção média da planta. As folhas foram colocadas em nitrogênio líquido e armazenadas em refrigerador, a  $-80^{\circ}\text{C}$ , até o processamento. As coletas foram realizadas às 10 horas em dias claros nas épocas que estão descritas na Tabela 1.

O teor do carboidrato nas folhas foi determinado no Laboratório de Fisiologia Vegetal da UFV a partir de amostras de aproximadamente 350 mg de folha. Para extração dos carboidratos, triturou-se o tecido foliar em graal de porcelana com areia lavada e com etanol 80% a 60°C, até a obtenção de uma polpa fina. Esta polpa foi transferida para tubos de 50 mL e centrifugada a 2000 g durante 5 minutos a 20°C. Repetiu-se este procedimento três vezes. Após cada centrifugação, os sobrenadantes foram combinados e os volumes determinados e armazenados em câmara fria a 5°C. O resíduo foi armazenado a -20°C para posterior determinação do amido. Procedeu-se posteriormente à remoção dos pigmentos e dos lipídios dos extratos etanólicos. Para tanto, colocaram-se 15 mL dos extratos em funil de separação, submetendo-os a quatro extrações consecutivas com iguais volumes de clorofórmio. Em seguida, os extratos clarificados foram evaporados a vácuo, a 45°C, até completa secagem. Os resíduos foram então dissolvidos em 5 mL de água destilada, constituindo, assim, os extratos aquosos, os quais foram armazenados em congelador a -20°C, para as determinações químico-analíticas.

Nas etapas de separação utilizaram-se bombas munidas de compressor para vácuo (TE-058), unidades de refrigeração (TE-083) e evaporador rotatório (TE-120), possibilitando a separação dos reagentes utilizados na obtenção dos carboidratos.

Os precipitados resultantes das extrações etanólicas utilizados para a extração do amido, de acordo com o método descrito por MCCREADY et al. (1950), com algumas modificações.

Os açúcares redutores foram dosados pelo reagente proposto por NELSON (1944) e os açúcares solúveis totais foram determinados conforme análise de rotina do laboratório.

Na etapa de determinação dos carboidratos, colocaram-se alíquotas variáveis dos extratos em tubos de ensaio com tampa rosqueada e imersos em recipientes com gelo. Após completar os volumes para 1 mL, juntou-se 5 mL do reagente de antrona (antrona 1% em H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 28 N) e a seguir os tubos foram agitados e submetidos a um banho de água fervente durante 15 minutos. Após esse tempo, os tubos foram imediatamente transferidos para um recipiente com gelo. Utilizou-se como padrão a glicose e as absorbâncias foram lidas a 620 nm em espectrofotômetro. Os açúcares não-redutores foram avaliados por diferença entre os açúcares solúveis totais e os açúcares redutores.

Durante os trabalhos de determinação de carboidratos, pelo menos 18 reagentes foram utilizados nas diferentes etapas, entre eles o ácido perclórico, o

clorofórmio, o álcool etílico, o metanol, a antrona, o ácido sulfúrico, o arseniato de sódio anidro, o sulfato de cobre, o sulfato de sódio anidro, o bicarbonato de sódio, a acetona, a solução tampão (Buffer), a D (+) glucose anidra, o cloreto de manganês, o molibdato de amônio tetrahidratado, o tartarato de sódio e potássio, o arseniato de sódio heptahidratado e o polissorbato 80.

Triturou-se as amostras foliares secas em dessecador a 65°C, em moinho Willey, com peneira de 60 mesh e armazenadas à temperatura ambiente para a quantificação dos macro e micronutrientes.

As folhas secas foram processadas para determinação de nutrientes no Laboratório de Análise Foliar do Departamento de Solos da UFV. Retirou-se das folhas amostradas uma sub-amostra para as análises químicas.

Analisou-se os teores de nitrogênio pelo método da digestão sulfúrica. O potássio foi determinado por fotometria de chama. O fósforo por espectrofotometria de absorção molecular, método da vitamina C modificado por BRAGA & DE FILIPPO (1974). O enxofre por turbidimetria de sulfato (BLANCHARD et al., 1965). Os teores de cálcio, magnésio, cobre, ferro, manganês e zinco por espectrofotometria de absorção atômica. O boro por colorimetria de azometina H. Todas essas metodologias encontram-se descritas por MALAVOLTA et al. (1997).

Os macronutrientes foram expressos em dag/kg de matéria seca e os micronutrientes em mg/kg de matéria seca.

Comparou-se os resultados obtidos com os níveis críticos para cada um dos nutrientes estudados de acordo com MARTINEZ et al. (2000).

### **2.3. Variáveis climáticas**

O registro de temperatura (°C), umidade relativa (%), duração do período de molhamento foliar (horas) e precipitação foi realizado utilizando-se de um termohigrohumectógrafo munido com sensor de molhamento foliar. O abrigo para o aparelho foi instalado entre as plantas de café à altura de 1,5 m. Fixou-se o sensor de molhamento foliar a um suporte de madeira, na altura do terço médio e entre a folhagem da planta contígua ao abrigo meteorológico.

### **2.4. Análise estatística**

As médias dos resultados obtidos foram plotadas em figuras juntamente com os respectivos desvios padrões, confeccionadas no software Excel (Windows 1998). Os dados foram submetidos à análise de correlação de Pearson, utilizando-se o teste de t, ao nível de 5% de probabilidade. Os dados de cada variável foram analisados usando o GLM Procedure do software SAS (versão 6.12).

### **3.RESULTADOS E DISCUSSÃO**

#### **3.1.Efeito de níveis de produção do cafeeiro sobre o desenvolvimento da ferrugem**

A produção do cafeeiro influenciou o desenvolvimento da ferrugem (Figuras 1 e 2). Nas parcelas que apresentavam frutos (25 a 100%) ocorreu aumento significativo da doença a partir do estabelecimento do experimento em 2001/2002, enquanto que naquelas sem frutos (0%) a doença não evoluiu. Cerca de 20% das folhas já se encontravam com algumas lesões quando o experimento foi instalado em 2001/2002 (Figura 1). Assim que foram retirados os frutos, a doença decresceu naquelas parcelas. Em 2002/2003, quando o experimento foi instalado, assim que houve florescimento em outubro (Figura 1), a percentagem de folhas com ferrugem aumentou somente quando haviam frutos em desenvolvimento nas plantas. A intensidade da doença alcançou valores acentuados a partir de janeiro, em ambos os casos estudados, exceto nas plantas sem frutos, confirmando que as plantas tornam-se passíveis de serem infectadas com a produção; além disso, as condições climáticas tornam-se mais propícias ao desenvolvimento do patógeno nessa época. O período de frutificação nesta região coincidiu exatamente com as condições climáticas ótimas para o desenvolvimento do patógeno, com duração do período de molhamento foliar contínuo, variando de 10 a 80 horas semanais e temperatura média de 21°C (Figura 3). A temperatura declinou a partir de maio, mas não impediu o progresso da doença nas plantas. Nesta fase, a precipitação também era baixa, mas a duração do período de molhamento foliar e a umidade ainda eram muito propícios para o desenvolvimento a doença.

A área foliar lesionada não alcançou níveis tão altos nas parcelas com produção abaixo de 15 sc.ha<sup>-1</sup>, (Figura 1), mas permaneceu em pelo menos 10%. Já naquelas parcelas com produção acima deste valor, os níveis foram significativamente altos, alcançando até 49% da área foliar total.

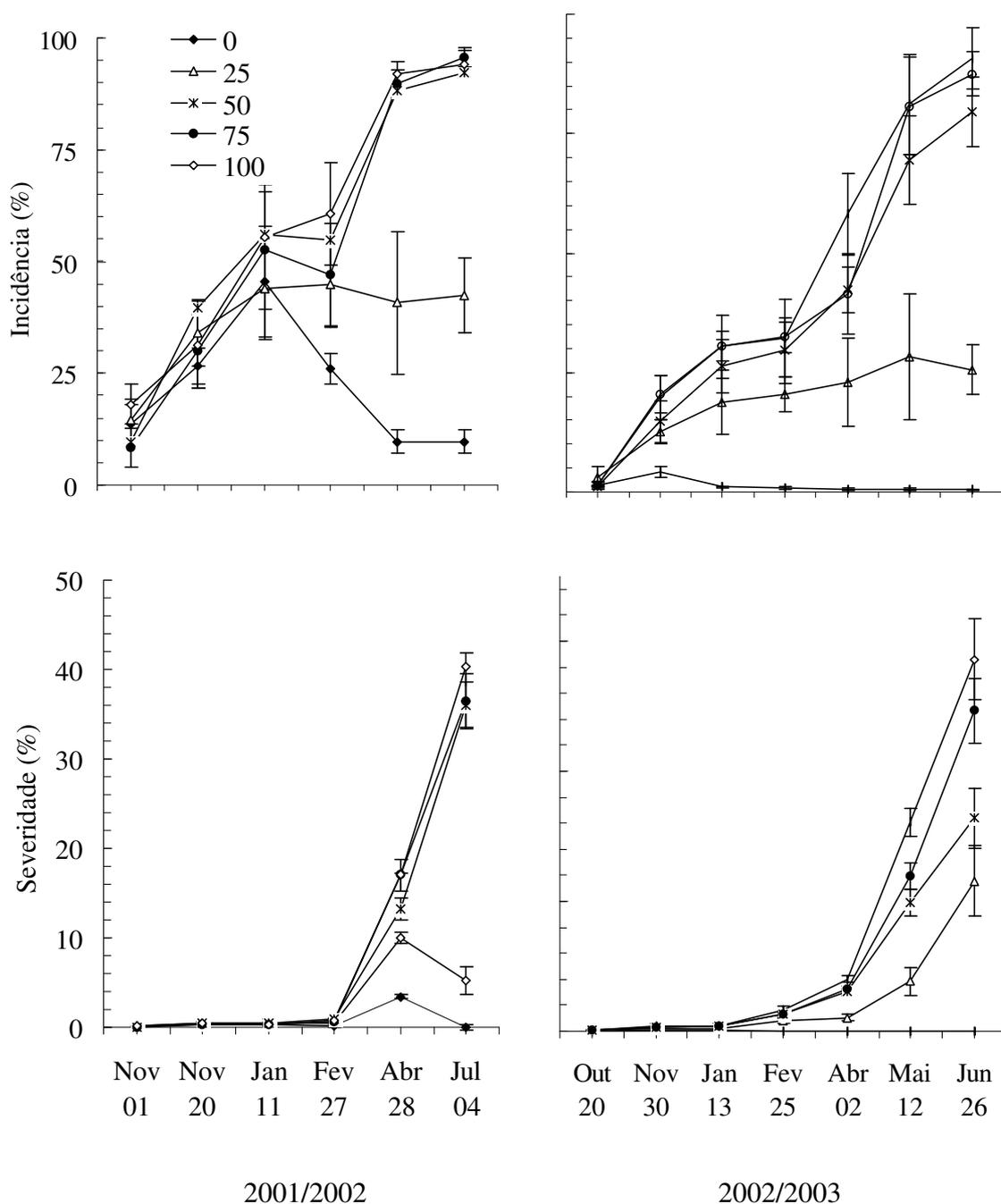


FIGURA 1. Percentagem de folhas com ferrugem (incidência) e área foliar lesionada (severidade) por *Hemileia vastatrix* de cafeeiros com diferentes níveis de produção, em função das épocas de avaliação, em 2001/2002 e 2002/2003.

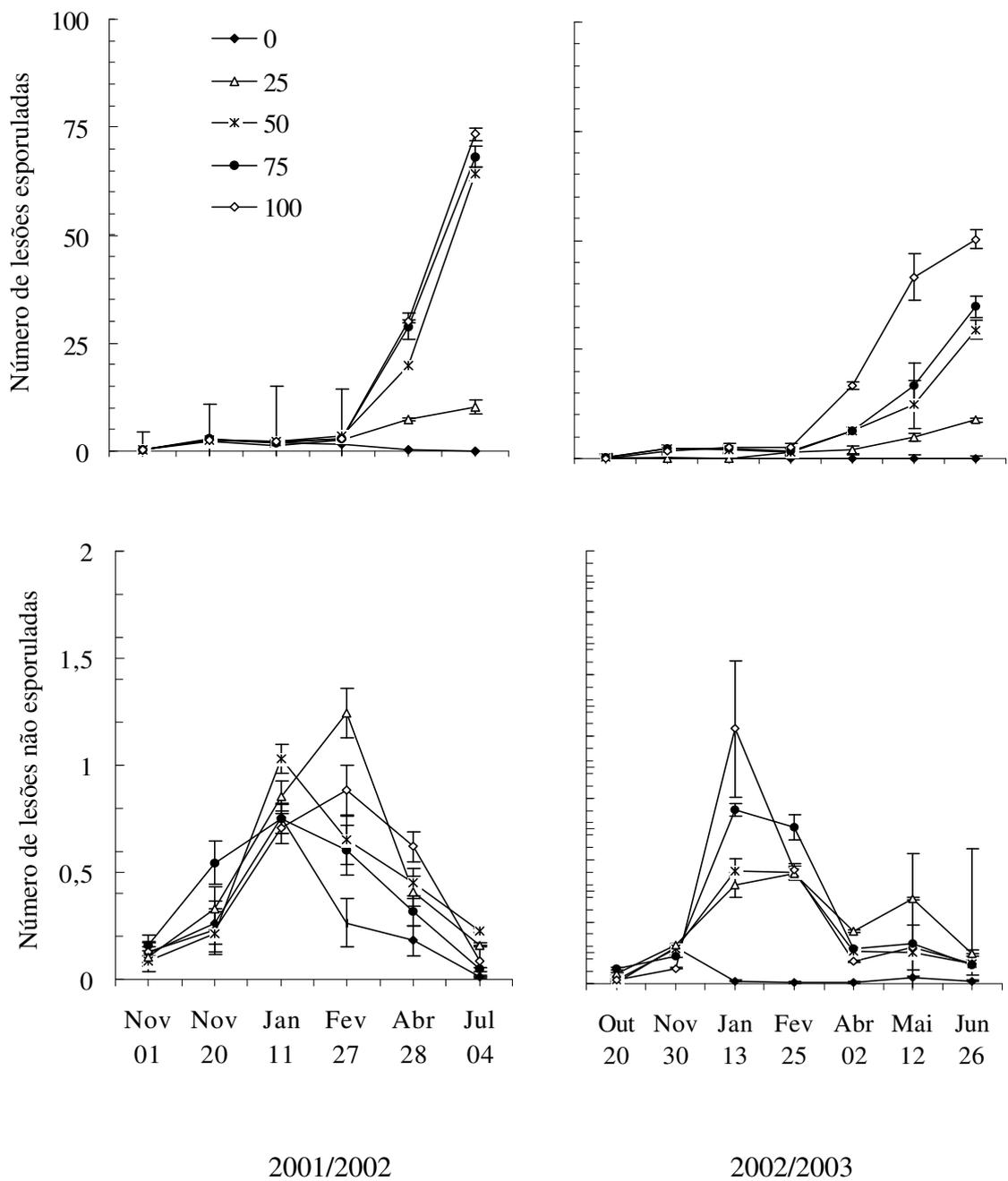


FIGURA 2. Número de lesões esporuladas e não esporuladas de *Hemileia vastatrix* em folhas de cafeeiros com diferentes níveis de produção, em função das épocas de avaliação, em 2001/2002 e 2002/2003.

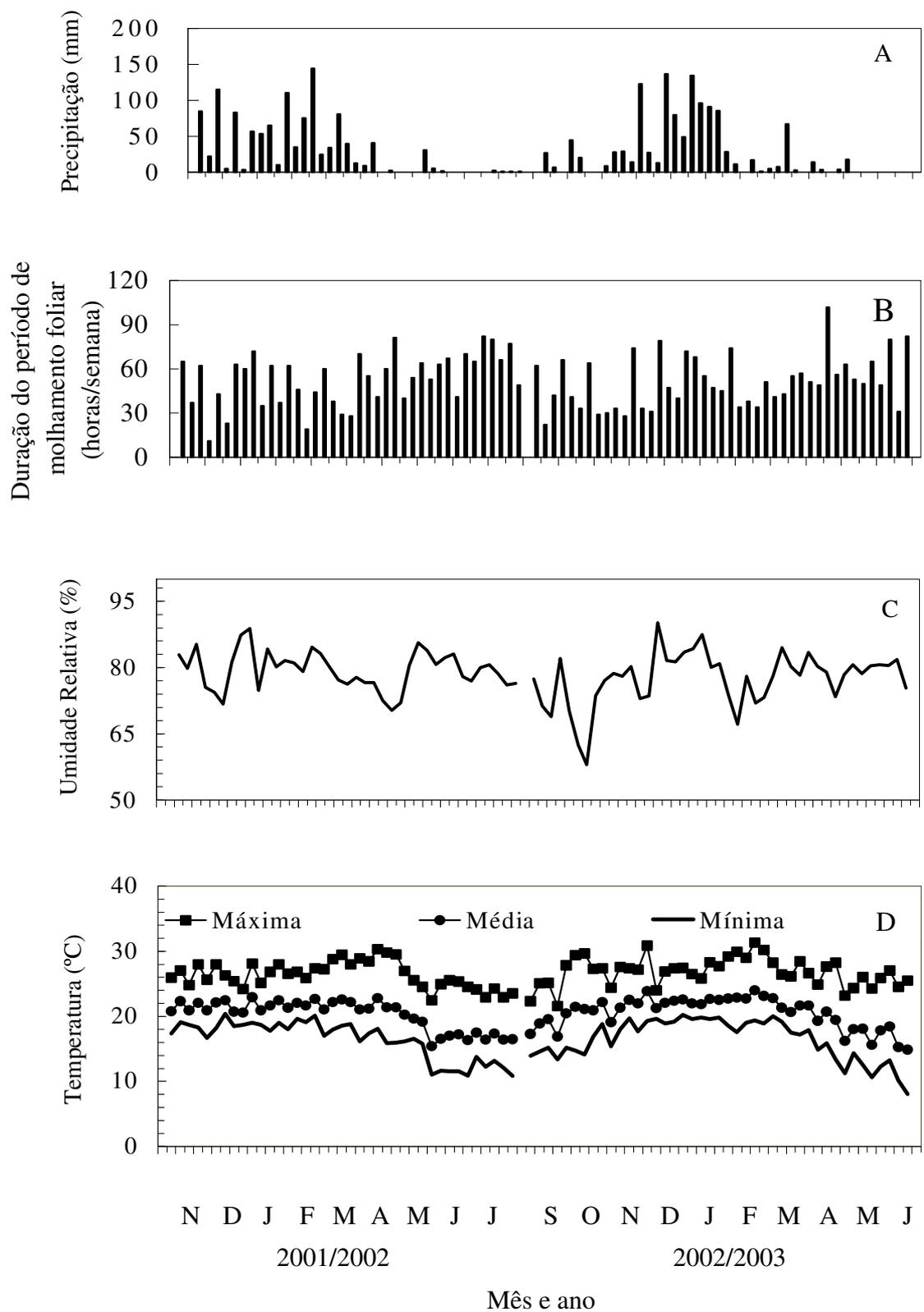


FIGURA 3. Precipitação (A), duração do período de molhamento foliar (B), umidade relativa (C) e temperaturas máxima, média e mínima (D) nos anos de 2001/2002 e 2002/2003.

Em 2001/2002, a ferrugem estabeleceu-se quando frutos já estavam em fase inicial de desenvolvimento. No início de novembro, a incidência estava em torno de 20%. Nas plantas que tiveram todos os frutos removidos ou que ficaram apenas com 25% dos frutos (Figura 1), a doença decresceu. O mesmo não ocorreu no ano seguinte, pois o desbaste foi feito no período de florescimento das plantas e a partir daí, somente plantas com frutos em desenvolvimento foram infectadas pela ferrugem.

A presença de frutos nas plantas afetou a área foliar lesionada que alcançou 40,3% nas plantas com 100% dos frutos em 2001/2002.

Outro fator que ilustra a epidemia é a presença de lesões com e sem esporulação sendo que, a partir de fevereiro, houve queda das lesões não esporuladas e aumento das lesões esporuladas, fato que propicia inóculo na área muito abundante, favorecendo a infecção de novas folhas e de novas plantas (Figura 2).

Pelo menos 60% da variação entre os níveis de doença no cultivar Catuaí pode ser explicada pela variação nos níveis de produção ( $P \leq 0,05$ ). Estes valores alcançaram até 78% quando foi correlacionada a severidade da doença nas plantas em produção.

Com base na análise da área abaixo da curva do progresso da doença, verificou-se que a doença não progrediu nas plantas sem produção (0%) (Tabela 2). Plantas com produtividade de 15 sc.ha<sup>-1</sup> (25%) tiveram uma menor intensidade de doença, corroborando com os trabalhos de ACUÑA & ZAMBOLIM (1985), MANSK & MATIELLO (1984) e MARIOTTO et al. (1974).

TABELA 2. Área abaixo da curva do progresso da percentagem de folhas doentes (FD), área foliar lesionada (AFL) e número de lesões esporuladas (NLE) ou não esporuladas (LNE) de *Hemileia vastatrix* em cafeeiro nas safras de 2001/2002 e 2002/2003.

Níveis de produção	Variáveis							
	FD		AFL		NLE		LNE	
	1 <sup>1</sup>	2 <sup>2</sup>	1	2	1	2	1	2
0	4902,5 a	243,6 a	244,2 a	63,3 a	314,8 a	10,04 a	21,0 a	34,8 a
25	8997,0 ab	840,0 b	1017,2 b	98,5 ab	4660,3 b	508,6 ab	539,8 ab	212,9 b
50	14580,2 b	2029,6 b	3578,9 b	123,2 b	8970,7 b	973,4 bc	1641,9 ab	257,9 b
75	13967,2 ab	2251,6 b	4228,9 b	116,6 b	1130,5 b	1259,4 bc	1972,5 ab	299,0 b
100	15029,2 b	2389,3 b	4456,9 b	140,1 b	1073,3 b	1567 c	3743,8 b	286,4 b
C.V. <sup>3</sup> (%)	1,9	15,12	50,24	25,12	30,5	53,5	15,12	27,8

<sup>1</sup>2001/2002; <sup>2</sup>2002/2003. Médias seguidas pela mesma letra, na vertical, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. <sup>3</sup>C.V.: coeficiente de variação.

### 3.2.Efeito da ferrugem do cafeeiro no nível de desfolha do dossel

A medição da radiação fotossinteticamente ativa obtida abaixo do dossel tornou possível inferir sobre a indução da queda foliar provocada pela ferrugem do cafeeiro (Figura 4). Observou-se que quanto maior a presença de frutos e conseqüentemente da doença, maior a captação da radiação, indicando que a queda foliar estava relacionada ao ataque da doença. Houve correlação de 91% entre severidade da ferrugem e intensidade de radiação medida abaixo do dossel.

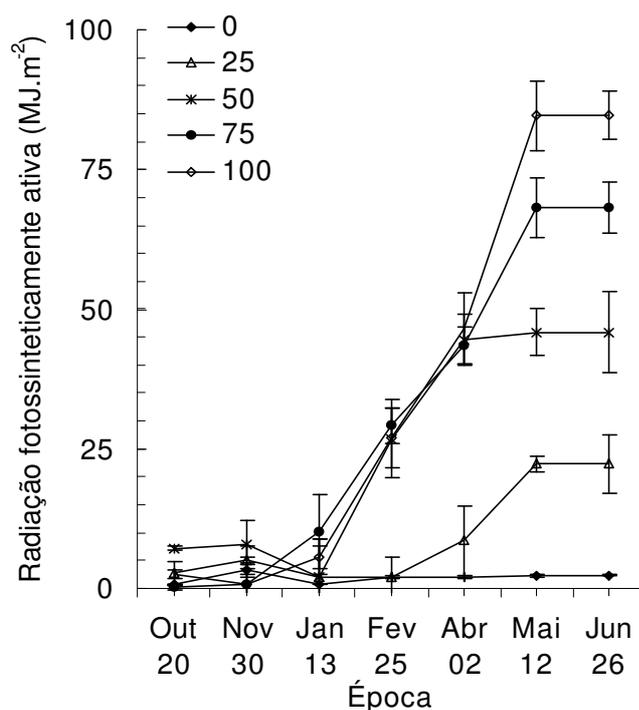


FIGURA 4. Radiação fotossinteticamente ativa medida abaixo do dossel dos cafeeiros com diferentes níveis de produção.

Quando as plantas não possuíam frutos, e conseqüentemente apresentavam níveis de doença muito baixos, a quantidade de queda foliar foi pelo menos 90% inferior àquela obtida em plantas com alta carga pendente e alta presença de ferrugem. Pode-se esperar, naturalmente, que, como conseqüência, o enchimento dos grãos nas plantas com frutos tenha sido comprometido.

A fotossíntese é um processo essencial para o desenvolvimento das plantas e da produção. Tal processo é altamente dependente da radiação solar fotossinteticamente ativa. Uma interceptação eficiente de radiação depende da cobertura do dossel na área cultivada e um dos melhores indicativos é o índice de área foliar (RODRIGUEZ et al., 1997).

### **3.3.Efeito da produção no teor de nutrientes minerais nas folhas de cafeeiro**

O teor de diferentes macro e micronutrientes de folhas de cafeeiros com 0, 25, 50, 75 e 100% de frutos foi quantificado. Observou-se que o teor de fósforo, potássio, cálcio, manganês e boro foi afetado pela presença de frutos (Tabela 3). Os teores de fósforo, potássio e manganês das folhas diminuíram com o aumento da produção. Esses resultados sugerem que esses elementos foram translocados das folhas para os frutos, permitindo o ataque da ferrugem nas plantas com frutos, como descrito no item 3.1.

Os teores de potássio estiveram alterados com a presença de frutificações desde o início das avaliações, ao contrário do fósforo, que apresentou maiores diferenças, quando os frutos já estavam na fase de enchimento e não na formação, como observado com potássio. O elemento iniciou a queda no teor foliar a partir de pelo menos 40 dias após o estabelecimento do experimento. O potássio teve o seu teor alterado desde o início e assim ocorreu até o final das avaliações, evidenciando uma influência significativa da presença de frutificações.

Fósforo e potássio são altamente importantes na produção de frutos de café (MALAVOLTA et al., 1997). De acordo com TAIZ & ZEIGER (2000), o potássio interage com quase todos os outros nutrientes essenciais à planta. É importante na ativação enzimática, uso eficiente da água, fotossíntese, transporte de açúcares, movimento de nutrientes, síntese de proteínas, formação de amido e qualidade de frutos. Segundo os autores, plantas deficientes em potássio tendem a acumular grandes quantidades de amido. O fósforo é componente de açúcares fosfatados, ácidos nucleicos, coenzimas, fosfolipídeos e ácido fítico, dentre outros.

A diminuição dos elementos deve estar ligada intimamente à função que representam na formação de frutificações e o ataque da ferrugem pode estar ligado à diluição do efeito de um ou mais desses elementos.

Para os nutrientes cálcio e boro, observa-se um aumento de seus teores nas folhas com o aumento da quantidade frutos. A causa pode estar ligada à diminuição dos outros elementos ou ao fato deles serem elementos imóveis nas folhas e, portanto, não translocam para os frutos. A queda foliar, acumulando os elementos nas folhas remanescentes, também pode explicar o aumento de cálcio e boro.

Muitos elementos apresentaram teores variáveis em função das épocas avaliadas, provavelmente, devido à diferenças nos teores de umidade do solo que possibilitava

menor ou maior transporte de nutrientes ou também à temperatura ambiente, visto que ela afeta o transporte de água e conseqüentemente de nutrientes.

TABELA 3. Teores de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S), em dag/kg, e zinco (Zn), ferro (Fe), manganês (Mn), cobre (Cu) e boro (B), em mg/kg, em função da produção do cafeeiro nas safras 2001/2002 e 2002/2003.

Elemento	Época										
	2001/2002					2002/2003					
	Nov 01	Nov 20	Jan 11	Fev 27	Jul 04	Set 11	Out 20	Nov 30	Fev 25	Jun 26	
N	0 <sup>1</sup>	2,79 <sup>2</sup>	2,61	2,97	2,98	3,30	2,90	2,98	2,89	3,13	2,72
	25	2,64	2,84	3,02	3,22	3,21	2,94	2,82	2,81	3,01	2,55
	50	2,61	2,74	3,16	3,20	2,62	2,92	2,76	3,06	2,97	2,44
	75	2,63	2,83	3,18	3,16	2,40	3,17	2,74	2,94	2,92	2,33
	100	2,58	2,78	2,98	2,98	2,32	3,02	3,02	3,01	2,94	2,30
P	0	0,18	0,19	0,10	0,17	0,19	0,19	0,19	0,20	0,21	0,20
	25	0,17	0,19	0,16	0,18	0,19	0,21	0,18	0,18	0,19	0,16
	50	0,17	0,19	0,16	0,17	0,17	0,20	0,18	0,16	0,18	0,15
	75	0,17	0,18	0,15	0,16	0,15	0,21	0,18	0,16	0,16	0,14
	100	0,16	0,19	0,15	0,16	0,14	0,18	0,18	0,15	0,15	0,13
K	0	1,27	1,55	1,63	1,70	1,58	1,45	1,62	1,73	0,71	1,41
	25	1,20	1,32	1,32	1,43	1,35	1,35	1,52	1,68	1,62	1,23
	50	1,16	1,03	1,30	1,21	1,22	1,39	1,23	1,62	1,42	1,15
	75	1,23	0,94	1,24	1,02	1,21	1,38	1,02	1,02	1,34	0,93
	100	1,32	0,93	1,22	1,01	1,11	1,47	1,03	0,91	1,01	1,00
Ca	0	0,92	0,94	0,89	0,92	1,14	1,36	1,32	1,52	0,32	1,12
	25	1,26	1,56	1,24	1,12	1,31	1,44	1,45	0,52	1,42	0,81
	50	1,30	1,76	1,62	1,31	1,21	1,28	1,53	1,62	1,32	0,76
	75	1,34	1,76	1,51	1,41	1,23	1,44	1,92	1,83	1,53	1,42
	100	1,36	1,64	1,42	1,21	1,51	1,50	1,83	1,84	1,53	1,57
Mg	0	0,46	0,52	0,57	0,46	0,43	0,48	0,50	0,51	0,52	0,44
	25	0,47	0,52	0,51	0,49	0,42	0,44	0,46	0,53	0,51	0,45
	50	0,47	0,47	0,51	0,47	0,43	0,48	0,47	0,52	0,50	0,43
	75	0,46	0,51	0,51	0,49	0,41	0,43	0,46	0,53	0,42	0,44
	100	0,42	0,51	0,51	0,46	0,34	0,45	0,43	0,39	0,41	0,45
S	0	0,12	0,10	0,14	0,12	0,10	0,15	0,14	0,14	0,15	0,17
	25	0,12	0,11	0,15	0,113	0,07	0,15	0,13	0,14	0,14	0,17
	50	0,13	0,10	0,13	0,123	0,09	0,15	0,14	0,13	0,14	0,14
	75	0,12	0,09	0,12	0,112	0,06	0,14	0,13	0,13	0,13	0,12
	100	0,13	0,10	0,12	0,114	0,08	0,15	0,12	0,11	0,11	0,13
Zn	0	8,20	8,50	9,60	10,10	9,30	8,50	9,50	9,80	9,80	9,96
	25	7,40	8,60	10,60	9,800	8,40	8,10	9,20	9,70	7,40	8,96
	50	7,90	8,40	10,70	10,20	8,20	7,80	9,40	10,40	7,30	8,60
	75	7,90	8,20	9,60	10,80	7,90	8,50	9,50	9,40	8,00	8,01
	100	8,60	7,40	10,20	10,60	7,80	8,90	8,60	8,70	8,30	8,24
Fe	0	113,40	114,5	166,60	201,6	201,40	163,10	172,20	162,20	246,30	267,80
	25	119,70	111,2	118,60	192,5	182,40	154,70	155,70	168,20	252,10	255,80
	50	124,60	111,6	191,20	181,2	190,40	146,80	147,80	144,60	244,10	265,70
	75	115,90	114,2	192,60	191,2	212,30	168,40	156,20	182,40	198,60	260,10
	100	111,80	96,2	192,40	165,2	201,20	144,40	182,40	166,30	201,20	254,80
Mn	0	190,50	187,10	192,40	192,3	149,60	184,60	161,20	181,20	152,10	132,70
	25	201,50	201,20	182,60	189,6	154,20	181,50	161,10	192,10	162,40	144,90
	50	143,90	193,20	162,30	172,4	151,20	157,60	171,20	182,30	146,30	134,40
	75	207,40	201,50	201,40	200,4	147,30	167,70	168,20	172,40	132,40	128,90
	100	150,60	161,50	192,40	192,3	148,10	142,60	172,20	162,40	125,40	142,10

Continua...

TABELA 3, cont.,

Cu	0	20,10	20,30	17,30	17,30	15,20	14,10	19,60	17,40	16,30	16,04
	25	19,20	17,20	17,10	15,20	14,10	13,70	18,90	16,60	13,40	13,02
	50	20,70	17,10	16,30	14,30	12,10	12,90	18,60	13,20	12,70	11,97
	75	18,90	18,20	17,10	14,20	12,30	13,40	17,40	12,90	13,10	13,45
	100	10,40	17,40	16,20	12,60	12,50	14,10	13,60	12,40	14,10	14,02
B	0	35,00	42,10	50,20	60,60	80,20	51,50	52,50	41,20	41,20	57,52
	25	35,00	39,60	52,40	62,40	81,30	45,30	44,30	46,20	38,20	62,02
	50	33,20	44,20	53,60	65,95	81,20	54,80	55,60	51,20	40,20	72,92
	75	35,00	46,40	56,20	82,40	86,40	53,10	54,20	68,60	50,80	78,90
	100	36,20	43,20	49,60	82,40	92,40	54,80	56,20	64,20	46,20	93,22

<sup>1</sup>Níveis de produção em percentagem. <sup>2</sup>Médias de 4 repetições (parcelas com 5 plantas adultas).

O nitrogênio comportou-se semelhantemente nos dois anos de avaliação, não sendo afetado pela frutificação, a não ser na fase de maturação.

O magnésio, enxofre, zinco e ferro boro e manganês tiveram seus teores afetados muito mais pelas épocas de avaliação do que pela presença de frutificações.

Quando feita correlação do nutriente com a produção (Tabela 4), ficou caracterizado que pelo menos 74% da variação entre os níveis de potássio pode ser explicada pela variação produção, bem como de 51% para fósforo e de 45% para cobre. Entretanto, se correlacionada com a produção do ano anterior com o teor de nutriente na mesma parcela, no ano seguinte, não parece haver uma influência na diminuição dos nutrientes, pelo contrário, houve aumento significativo, exceto para cálcio, que reduziu o seu teor em 50% (Tabela 5).

TABELA 4. Coeficiente de correlação de Pearson para os diversos nutrientes e a produção nas safras de 2001/2002 e 2002/2003.

Nutriente	Época	
	2001/2002	2002/2003
Nitrogênio	-0,28	-0,10
Fósforo	-0,51*	-0,56**
Potássio	-0,77**	-0,74**
Cálcio	0,66**	0,57**
Magnésio	-0,23	-0,50**
Enxofre	-0,14	-0,67**
Zinco	-0,07	-0,34
Ferro	-0,02	-0,10
Manganês	-0,14	-0,30
Cobre	-0,45*	-0,5**
Boro	0,16	0,47**

\*\* , \* significativo ao nível de 1 e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste de t.

TABELA 5. Coeficiente de correlação de Pearson para a produção em 2001/2002 e os diversos nutrientes nas safras de 2002/2003.

Nutriente	Coeficiente	Nutriente	Coeficiente
Nitrogênio	0,10	Enxofre	0,69**
Fósforo	0,55**	Zinco	0,31
Potássio	0,73**	Ferro	0,10
Cálcio	-0,50**	Manganês	0,31
Magnésio	0,52**	Cobre	0,44*

\*\* , \* significativo ao nível de 1 e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste de t.

Comparando com os níveis críticos dos elementos estabelecidos para a região de Viçosa, MG (MARTINEZ et al., 1999) foram confeccionados fertigramas que podem ser observados nas Figuras 5 e 6. Boro, manganês e ferro em 2001/2002, e boro, manganês, ferro e zinco em 2002/2003 estiveram nitidamente acima dos teores considerados mínimos para o cafeeiro, enquanto que todos os outros elementos estudados estiveram próximos ou abaixo do nível crítico, independente da presença ou não de frutificação.

Os teores abaixo do nível crítico de N, P, K, Ca, S e Zn tanto em 2001/2002 e 2002/2003 nas plantas com e sem produção, e ao mesmo tempo os níveis elevados de Mn e Fe (e às vezes Zn), mostrou um desequilíbrio entre os elementos e talvez estejam afetando a produção e a suscetibilidade das plantas.

Não foi possível estabelecer uma relação entre nível crítico e presença de frutificações, devido ao desequilíbrio dos nutrientes nas folhas.

ESKES & CARVALHO (1983), buscando correlacionar os níveis de nutrientes nas folhas e a resistência à ferrugem, concluiu que nenhum nutriente especificamente afeta a resistência e que uma fertilização balanceada pode reduzir os danos através do estímulo do crescimento vegetativo.

Segundo HUBER & ARNY (1985), o potássio está envolvido na resistência de plantas às doenças, dificultando o estabelecimento e desenvolvimento do patógeno e promovendo a cicatrização de ferimentos.

Quanto maior o vigor vegetal, maior a produção obtida, entretanto as folhas podem tornar-se suscetíveis devido ao dreno dos íons potássio para os frutos, diminuindo os seus níveis nos tecidos foliares (TAIZ & ZEIGER, 2000).

MALAVOLTA (1993) observou que os elementos retirados em maior quantidade pelos frutos são nitrogênio, fósforo e potássio, sendo que a “palha de café” contém grande parte deles. A variação dos teores de nutrientes foi de natureza fisiológica, mas isto tornou as plantas desprotegidas. O ataque da ferrugem, como

descrito no item 3.1, foi uma consequência e não uma causa da diminuição dos nutrientes nas folhas.

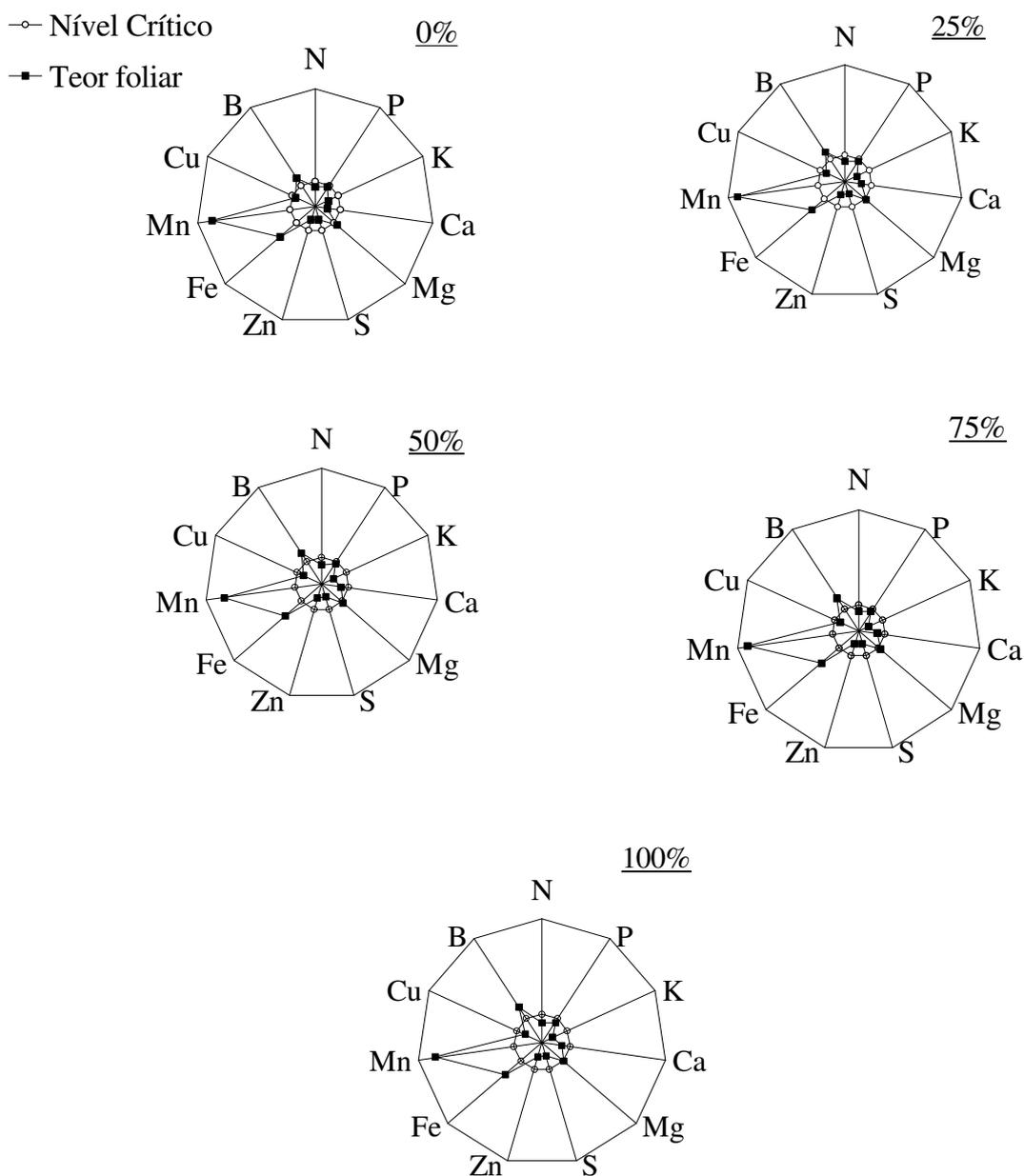


FIGURA 5. Fertigrama representativo do teor nutricional das folhas do cafeeiro em função dos níveis de 0, 25, 50, 75 e 100% da produção, comparado com o teor crítico para o cafeeiro. Teor crítico ( $\text{dag.kg}^{-1}$ ): N=26,4-30,3; P=2,2-2,6; K=21,8-28,4; Ca=12,1-14,5; Mg=3,4-5,8; S=1,0-1,2; ( $\text{mg.kg}^{-1}$ ), Zn=6-12; Fe=62-82; Mn=94-113; Cu=12-29 e B=28-52. O teor foliar representa a média de avaliações em 5 épocas na safra 2001/2002.

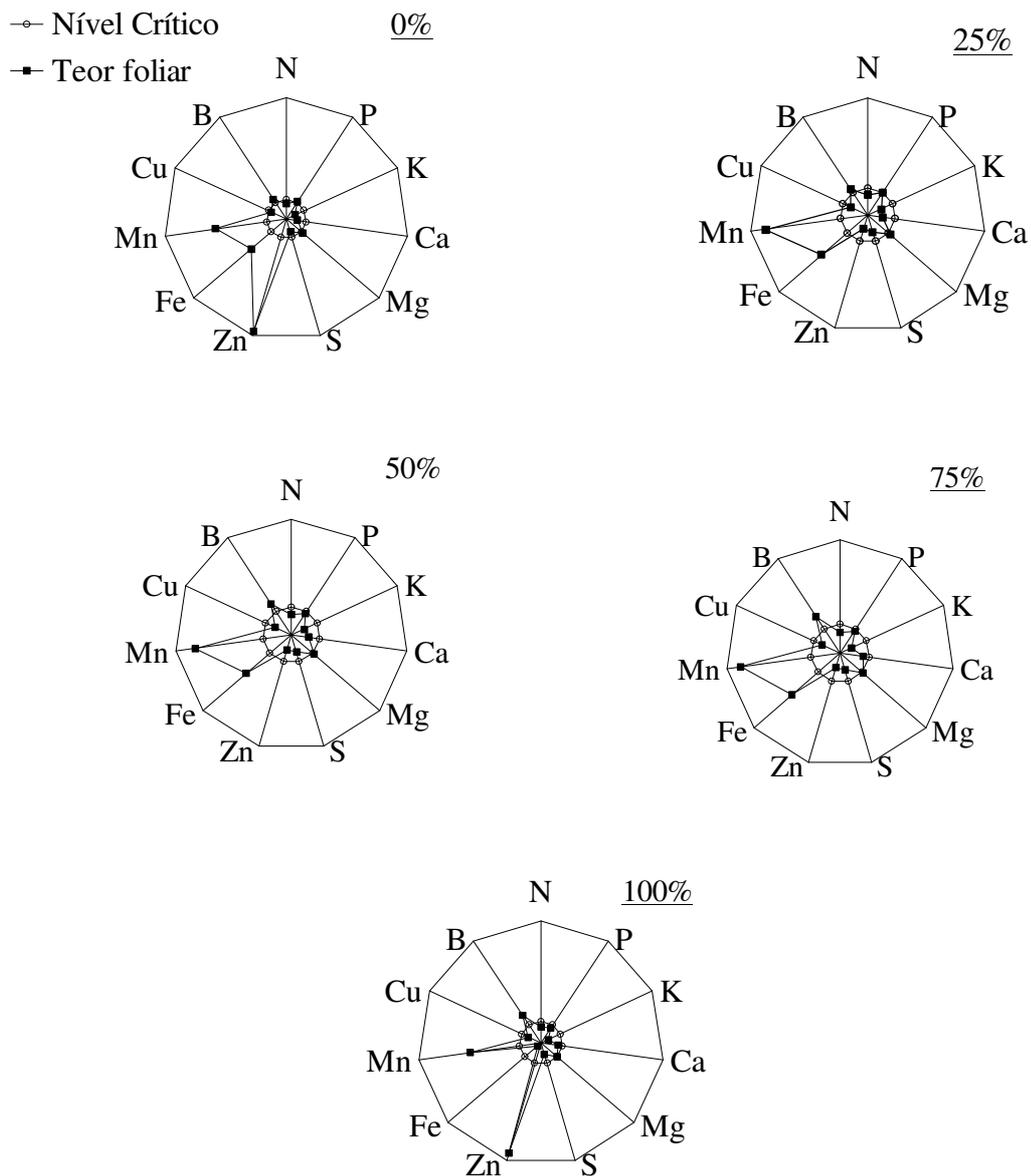


FIGURA 6. Fertigrama representativo do teor nutricional das folhas do cafeeiro em função dos níveis de 0, 25, 50, 75 e 100% da produção, comparado com o teor crítico para o cafeeiro. Teor crítico ( $\text{dag.kg}^{-1}$ ): N=26,4-30,3; P=2,2-2,6; K=21,8-28,4; Ca=12,1-14,5; Mg=3,4-5,8; S=1,0-1,2; ( $\text{mg.kg}^{-1}$ ), Zn=6-12; Fe=62-82; Mn=94-113; Cu=12-29 e B=28-52. O teor foliar representa a média de avaliações em 5 épocas na safra 2002/2003.

A variação dos nutrientes em diferentes épocas está ligada ao clima e às fases de desenvolvimento dos frutos. Em relação ao clima, a precipitação observada no presente trabalho é o principal parâmetro, afetando a quantidade do nutriente que é absorvido. Quanto às fases do desenvolvimento dos frutos, quanto maior é a demanda, maior é a absorção pelo sistema radicular e maior o desvio dos nutrientes para os frutos. Também deve ser considerada queda foliar que pode tornar os elementos mais concentrados nas folhas remanescentes, como foi o caso ocorrido com cálcio e boro.

A eficácia de adubações foliares, principalmente com micronutrientes, já foi comprovada pelos pesquisadores e produtores rurais. O uso da formulação “K<sub>2</sub>O, Cu, Zn, B, Mg, S (10; 10; 8,2; 3; 1 e 10%)”, tem propiciado melhora do desenvolvimento das plantas e efeito contra *Hemileia vastatrix* (ZAMBOLIM et al., 1997). Essa formulação, como muitas outras, pode ter efeito principalmente na nutrição, o que torna as plantas capazes de reagir ao ataque de doenças, produzindo substâncias de defesa. O efeito fungicida talvez seja exercido por algum dos elementos.

Os trabalhos futuros devem visar, principalmente, íons de potássio, cobre e fósforo e a razão entre eles e deles com os outros elementos, principalmente N/K.

### **3.4.Efeito da produção no teor de carboidratos nas folhas de cafeeiro**

Observou-se efeito da produção no teor de amido, açúcares solúveis totais e de açúcares não redutores (Tabela 6). Os açúcares não redutores aumentaram com a maior produção (exceto nas últimas avaliações), provavelmente, devido à maior demanda para o suprimento dos frutos em desenvolvimento. Um dos exemplos deste tipo de açúcar é a sacarose, muito utilizada na produção dos frutos (TAIZ & ZEIGER, 2000). Em relação ao amido, além do efeito da produção, um outro fator também marcante foi o aumento considerável na última época de avaliação, em ambos os casos estudados.

De acordo com SILVA et al. (2004), DA MATTA et al. (1997) e AMARAL (1991), este é um comportamento típico para o cafeeiro na região de Viçosa, MG, provavelmente devido ao acúmulo do mesmo em decorrência das menores taxas de crescimento das plantas nesta época do ano, quando as temperaturas foram baixas (média de 16°C). A retirada de frutos afetou os níveis de amido, acumulando-se mais intensivamente nas plantas sem frutos. Pôde-se constatar que, durante todo o período analisado, as plantas demandaram carboidrato para o desenvolvimento dos frutos. Provavelmente as reservas de amido foram utilizadas para esta função.

Grande parte dos carboidratos pode ter sido utilizada pelo fungo, ou mesmo deixou de ser produzida devido às necroses produzidas nas folhas tecido-fonte dos carboidratos, no processo fotossintético. Por isso, provavelmente, além da demanda dos frutos pelo amido, os baixos níveis de amido nas plantas com maiores produções sejam também devido às dificuldades de produção dos carboidratos.

O efeito de época foi marcante no caso dos carboidratos e parece estar ligado principalmente ao clima e à fisiologia das plantas. RENA et al. (1983) verificaram a existência de correlação entre crescimento e carboidratos. O acúmulo dos teores de amido pode ser uma consequência das quedas de crescimento e à queda dos teores de potássio (TAIZ & ZEIGER, 2000). A partir de setembro, o amido das folhas diminuiu rapidamente, sendo utilizado para manutenção do crescimento reprodutivo.

TABELA 6. Teor de amido (AM), açúcares solúveis totais (AST), açúcares redutores (AR) e açúcares não redutores (ANR), em  $\text{mg.g}^{-1}$  (matéria seca), em função da produção em plantas de café cv. Catuaí nas safras 2001/2002 e 2002/2003.

Carboidrato		Época									
		2001/2002					2002/2003				
		Nov 01	Nov 20	Jan 11	Fev 27	Jul 04	Set 11	Out 20	Nov 30	Fev 25	Jun 26
AM	0 <sup>2</sup>	38,90	36,20	27,20	36,30	49,20	36,20	38,40	35,60	32,80	54,60
	25	38,40	34,20	25,40	25,70	51,90	57,10	37,40	29,60	23,18	41,13
	50	39,20	32,80	20,20	20,80	27,60	37,40	38,10	21,20	19,10	28,60
	75	38,60	32,30	19,70	20,10	27,10	38,10	37,10	21,00	18,40	22,50
	100	38,10	30,30	19,20	20,00	25,20	36,60	36,20	25,10	17,30	22,03
AST	0	48,30	55,30	59,30	45,80	70,30	68,60	68,30	52,10	43,40	78,83
	25	45,80	54,80	60,30	45,70	64,20	65,40	67,40	51,20	44,20	76,60
	50	46,80	54,90	61,60	43,90	66,40	77,30	76,30	47,20	41,60	71,18
	75	53,80	58,80	58,60	42,20	61,60	78,90	75,40	48,10	37,40	73,13
	100	57,30	59,60	59,70	41,60	58,70	77,20	78,10	47,30	38,60	72,90
AR	0	34,10	35,10	38,40	30,70	36,80	41,30	37,10	30,40	26,80	40,90
	25	32,40	34,20	37,40	29,70	34,80	41,70	39,40	30,20	23,40	40,30
	50	31,60	35,30	37,20	29,10	34,10	40,70	38,60	31,40	22,40	38,24
	75	30,20	36,10	35,10	29,90	32,40	40,60	37,40	31,60	22,10	37,19
	100	31,20	35,60	35,90	28,40	34,70	40,20	39,60	31,20	23,90	37,60
ANR	0	22,60	21,00	20,60	19,20	15,80	24,40	20,50	20,60	22,80	23,71
	25	21,30	21,00	20,20	18,40	12,10	24,40	20,70	18,00	25,60	21,46
	50	21,50	21,40	23,40	17,00	17,20	23,10	21,20	18,50	25,80	20,16
	75	21,90	22,70	23,40	22,00	16,60	22,40	22,20	19,40	24,30	20,39
	100	20,40	22,60	21,10	21,50	16,30	23,30	22,10	19,30	23,40	20,61

<sup>1</sup>Níveis de produção em percentagem. <sup>2</sup>Média de 4 repetições (parcelas com 5 plantas adultas).

Os teores de carboidratos foram maiores em trabalhos já desenvolvidos com plantas desfrutificadas (AMARAL 1991), sendo relacionados ao crescimento vegetativo e sobretudo a demanda por carboidratos pelos frutos em desenvolvimento. Considerando-se que as reservas de carboidratos dos cafeeiros em frutificação estavam

praticamente esgotadas, o crescimento vegetativo e a manutenção do desenvolvimento dos frutos deve ser, desde então, dependentes de fotossíntese corrente (RENA & MAESTRI, 1986).

No florescimento, amido decresce rapidamente, utilizado na manutenção do crescimento vegetativo e reprodutivo (AMARAL 1991).

Quando feita a correlação do teor do carboidrato com a produção (Tabela 7) na mesma parcela, ficou caracterizada uma diminuição significativa ( $r = 0,48$  para a safra 2001/2002 e  $0,49$  para a safra 2002/2003) do amido. Da mesma forma, quando correlacionado o teor do carboidrato das folhas das plantas da safra 2002/2003 com a produção do ano anterior, o amido foi reduzido (Tabela 8). Isto evidencia um efeito considerável da produção de frutos nos teores de amido foliares tanto no mesmo ano, quanto no ano seguinte da produção.

TABELA 7. Coeficiente de correlação de Pearson de amido, açúcares solúveis totais e açúcares redutores e não redutores com os níveis de produção nas safras de 2001/2002 e 2002/2003.

Carboidrato	Safr	
	2001/2002	2002/2003
Amido	-0,48**	-0,49**
Açúcares solúveis totais	-0,01	0,01
Açúcares redutores	-0,25	-0,06
Açúcares não redutores	0,20	-0,11

\*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade, pelo teste de t.

TABELA 8. Coeficiente de correlação de Pearson da produção na safra 2001/2002 com as variáveis amido, açúcares solúveis totais e açúcares redutores e não redutores na safra 2002/2003.

Carboidrato	Coeficiente
Amido	0,47**
Açúcares solúveis totais	-0,03
Açúcares redutores	0,06
Açúcares não redutores	0,10

\*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade, pelo teste de t.

Ao final, as produtividades foram avaliadas. Na safra 2001/2002 as plantas produziram 0; 15,05; 29,45; 41,25 e 50,25 sc.ha<sup>-1</sup> e na safra 2002/2003 elas produziram 0; 19,25; 32,25; 52,75 e 62,75 sc.ha<sup>-1</sup>. As produtividades confirmaram que os tratamentos estavam adequadamente estabelecidos.

Os resultados obtidos neste trabalho permitem concluir que a presença de frutos no cafeeiro é suficiente para a ocorrência da ferrugem e que quanto maior é a

quantidade dos frutos, maior é a intensidade da doença. Quanto aos teores de nutrientes e carboidratos nas folhas atacadas, variam em função da presença de frutos nas plantas e estão correlacionados com o ataque da doença.

#### 4.REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACUÑA, R.S. & ZAMBOLIM, L. Influência da carga pendente sobre o desenvolvimento da ferrugem do cafeeiro (*Hemileia vastatrix*). **Fitopatologia Brasileira**. 10:2. 1985.
- AMARAL, J.A.T. **Crescimento vegetativo estacional do cafeeiro e suas inter-relações com fontes de nitrogênio, fotoperíodo, fotossíntese e assimilação de nitrogênio.** (Tese de Doutorado). Viçosa. Universidade Federal de Viçosa. 1991.
- BLANCHAR, R.W.; REM, G. & GALDWEIL, A.C. Sulfur in plant material by digestion with nitric and perchloric acid. **Soil Science Society American Proceeding**. 29:1. Pp 71-72. 1965.
- BRAGA, J.M. & DE FILIPPO. B.V. Determinação espectrofotométrica de fósforo em substratos de solos e plantas. **Revista Ceres**. Viçosa. Universidade Federal de Viçosa. 21:73-85. 1974.
- DaMATTA, F.M., MAESTRA, M., MOSQUIN, P.R. & BARROS, R.S. Photosynthesis in coffee (*Coffea canephora*) as affected by winter and summer conditions. **Plant Disease**. 128:43-50. 1997.
- ESKES, A.B. & CARVALHO, A. Variation for incomplete resistance to *Hemileia vastatrix* in *Coffea arabica*. **Study Circle of Plant Breeding**. Wageningen. Netherlands. 32:2. Pp 625-637. 1983.
- ESKES, A.B. & SOUZA, E.Z. Ataque da ferrugem em ramos com e sem produção de plantas do cultivar Catuaí. In: **Anais, 9<sup>o</sup> Congresso brasileiro de pesquisas cafeeiras**. São Lourenço. 1981.
- HUBBER, D.M. & ARNY, D.C. Interactions of potassium with plant disease. In: **Potassium in Agriculture**. Munson, D. (Ed.). American Society of Agronomy. Madison. 1985.
- KUSHALAPPA, A. C. & CHAVES, G. M. Escala para avaliar a percentagem de área foliar com ferrugem do cafeeiro. **Fitopatologia Brasileira**. 3:119. 1978.

- McCREADY, R.M., GUGGLOZ, J., SILVIERA, V. & OWENS, H.S. Determination of starch and amylase in vegetables. Application to peas. **Analytical Chemistry**. 22:1156-1158. 1950.
- MALAVOLTA, E. **Nutrição mineral e adubação do cafeeiro: colheitas máximas econômicas**. São Paulo: Editora Agronômica Ceres. 1993.
- MALAVOLTA, E. & MOREIRA, A. **Nutrição, adubação do cafeeiro adensado. Informações Agronômicas**. 80:1-8. 1997. (Encontro Técnico).
- MALAVOLTA, E., VITTI, G.C. & OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas - princípios e aplicações**. 2ª ed. ABPPF. Piracicaba. 1997.
- MANSK, Z. & MATIELLO, J.B. Efeito da produção, nível de desfolha e inóculo residual sobre a evolução da ferrugem do cafeeiro no Estado do Espírito Santo. In: **Anais, 11º Congresso brasileiro de pesquisas cafeeiras**. Londrina. Pp 128-130. 1984.
- MARIOTTO, P.R., GERALDO, C.J.R., SILVEIRA, A.P., ARRUDA, H.V., FIGUEIREDO, P. & BREAGA, J.B.R. Efeito da produção sobre a incidência da ferrugem no cafeeiro. In: **2º Congresso Brasileiro de Pesquisas Cafeeiras**. Rio de Janeiro. 1974.
- MARTINEZ, H.E.P., CARVALHO, J.G. & RONESSA, B.S. **Diagnose foliar. Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais. 5ª aproximação**. Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais. Viçosa. 1999.
- MARTINEZ, H.E.P., SOUZA, R.B., ALVAREZ, V.V.H., MENEZES, J.F.S., OLIVEIRA, J.A., GUIMARÃES, P.T.G., ALVARENGA, A. de P. & FONTES, P.C.R. Avaliação de fertilidade do solo, padrões para diagnose foliar e potencial de resposta à adubação foliar e potencial de resposta à adubação de lavouras cafeeiras de Minas Gerais. In: Zambolim L. (Ed.) **Café: produtividade, qualidade e sustentabilidade**. Viçosa. Pp 209-238. 2000.
- NELSON, N. A photometric adaptation of the somogyi method for the determination of glucose. **Journal Biological Chemistry**. 153:375-381. 1944.
- ORTOLANI, A.A. **Contribuição ao estudo ecológico da ferrugem do cafeeiro em diferentes populações de *Coffea arabica* L. na região de Pindorama, São Paulo**. (Tese de Doutorado). 1973.
- RENA, A.B., PEREIRA, A.A. & BARTHOLO, G.F. Teor foliar de minerais, conteúdo de amido e o depauperamento de algumas progênies de café resistentes à Ferrugem. In: **Anais, 10º Congresso de Pesquisas Cafeeiras**. Poços de Caldas. MIC/IBC. 1983.
- RENA, A.B. & MAESTRI, M. Fisiologia do cafeeiro. In: Rena, A.B., Malavolta, E., Rocha, M & Yamada, T (Eds.). **Cultura do cafeeiro, fatores que afetam a produtividade**. Piracicaba. Associação Brasileira de Pesquisa da Potassa e do Fosfato. 1986.

- RODRIGUEZ, C.E.; AICILLA, P.J.; ROBLEDO, A.J.; JANABIA, J. Interceptación de la radiación fotosintéticamente activa Y su relación con el área foliar de *Coffea arabica*. **Cenicafé**. 48:3. Pp 182-194. 1997.
- SILVA, E.A., DaMATTA, F.M., DUCATT, C., REGAZZI, A.J. & BARROS, R.S. Seasonal changes in vegetative growth and photosynthesis of Arabica coffee trees. **Field Crops Research**. 1-9. 2004.
- TAIZ, L. & ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. (Tradução de Plant Physiology por Santarém, E. R.). 2000.
- ZAMBOLIM, L., ACUÑA, R.S., VALE, F.X.R. & CHAVES, G.M. Influência da produção do cafeeiro sobre o desenvolvimento da ferrugem (*Hemileia vastatrix*). **Fitopatologia Brasileira**, 17:1. Pp 32-35. 1992.
- ZAMBOLIM, L., VALE, F.X.R., PEREIRA, A.A. & CHAVES, G.M. Café (*C. arabica* L.). Controle de doenças. In: VALE, F.X.R.; ZAMBOLIM, L. (Eds.). **Controle de doenças de plantas. Grandes culturas**. Viçosa. Universidade Federal de Viçosa. Volume 1. 1997.

## CONCLUSÕES GERAIS

### Capítulo 1:

As progênies híbridas UFV 5550, 6861, 6870, 6831 e 6834 apresentaram-se semelhantes em produtividade ao cultivar Catuaí.

Não apresentaram doença as progênies UFV 5530, 5451, 5550, 6903 e 5464.

A resistência horizontal esteve presente nos genótipos estudados, proporcionando até 13 vezes menor número de lesões em descendentes de UFV 6866 e 21 vezes menor área foliar lesionada em UFV 6866.

O período de incubação variou de 18 a 36 dias e o período latente variou de 20 a 46 dias.

Quanto maior o número de características avaliadas, maior foi a eficiência do agrupamento pelo método do vizinho mais próximo, utilizando-se a distância Euclidiana média.

### Capítulo 2:

Ocorreu efeito da produção no desenvolvimento da ferrugem, sendo que a presença dos frutos em fase inicial de desenvolvimento (“chumbinho”) foi suficiente para o estabelecimento da doença.

A doença atingiu maior intensidade a partir de janeiro, atingindo o pico na época da colheita, em junho e julho.

O patógeno chegou a atingir 95% das folhas quando a produção foi de 62,75 sacas por hectare, e 49% de área foliar infectada, em média, no final do experimento.

Pelo menos 60% da variação entre os níveis de doença pôde ser explicada pela variação na produção, estes valores alcançaram até 78% quando foi correlacionada a severidade da doença nas plantas em produção.

Pelo menos 74% da variação entre os teores de potássio nas folhas pode ser explicada pela variação da produção, bem como 51% para fósforo e 45% para cobre.

O potássio teve o seu teor diminuído em função da produção, desde o início da produção de frutos, diferente dos outros elementos.

Os teores de carboidratos variaram principalmente nas épocas, influenciados pelo crescimento vegetativo ou reprodutivo e pelas condições climáticas.