



UNIVERSIDADE
ESTADUAL DE LONDRINA

GUSTAVO HIROSHI SERA

**SELEÇÃO DE CAFEEIROS COM RESISTÊNCIA DURÁVEL À
FERRUGEM ALARANJADA**

Londrina
2008

GUSTAVO HIROSHI SERA

**SELEÇÃO DE CAFEEIROS COM RESISTÊNCIA DURÁVEL À
FERRUGEM ALARANJADA**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação, em Agronomia da Universidade Estadual de Londrina, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Agronomia.

Orientadora: Profa. Dra. Inês Cristina de
Batista Fonseca

Co-Orientador: Prof. Dr. Tumoru Sera

Londrina
2008

Catálogo na publicação elaborada pela Divisão de Processos Técnicos da Biblioteca Central da Universidade Estadual de Londrina.

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)

S481s Sera, Gustavo Hiroshi.

Seleção de cafeeiros com resistência durável à ferrugem alaranjada / Gustavo Hiroshi Sera. – Londrina, 2008.
65f. : il.

Orientador: Inês Cristina de Batista Fonseca.

Co-orientador: Tumoru Sera.

Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual de Londrina, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, 2008.

Bibliografia: f. 56-62.

1. Café – Resistência a doenças e pragas – Aspectos genéticos – Teses.
2. Fungos da ferrugem – Teses. 3. Café – Melhoramento genético – Teses.
I. Fonseca, Inês Cristina de Batista. II. Sera, Tumoru. III. Universidade Estadual de Londrina. Centro de Ciências Agrárias. Programa de Pós-Graduação em Agronomia. IV. Título.

CDU 631.52:633.73

GUSTAVO HIROSHI SERA

**SELEÇÃO DE CAFEEIROS COM RESISTÊNCIA DURÁVEL À
FERRUGEM ALARANJADA**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação, em Agronomia da Universidade Estadual de Londrina, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Agronomia.

BANCA EXAMINADORA

Pesq. Dr. Carlos Roberto Riede – IAPAR

Pesq. Dr. Nelson da Silva Fonseca Junior –
IAPAR

Profa. Dra. Débora Cristina Santiago – UEL

Profa. Dra. Valéria Carpentieri Pípolo – UEL

Prof. Dr. Édison Miglioranza –UEL

Pesq. Dr. Pedro Mário de Araújo – IAPAR

Profa. Dra. Inês Cristina de Batista Fonseca
Orientadora
Universidade Estadual de Londrina

Londrina, 20 de maio de 2008.

DEDICATÓRIA

Aos meus pais, Tumoru Sera e Alice Enomoto Sera, pelo incentivo e apoio.

À minha esposa, Glaucia da Silva Mariucci Sera, que me apóia e é muito especial na minha vida.

À Sirlene da Silva Mariucci, Valter Mariucci, Valquíria da Silva Mariucci, Vandléia da Silva Mariucci Perez, Valmir Perez e à minha sobrinha Bianca Mariucci Perez.

À toda minha família e amigos, pelo companheirismo e ajuda nos momentos difíceis.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Estadual de Londrina, à coordenação do curso de pós-graduação em Agronomia e aos professores do Departamento de Agronomia, pela oportunidade de realizar o doutorado.

À CAPES pelo apoio financeiro para execução deste trabalho e bolsa concedida.

Ao Consórcio Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento do Café / Embrapa Café pelo apoio financeiro no projeto “Desenvolvimento de cultivares de café com resistência durável à ferrugem alaranjada”.

Ao Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR) pelo apoio financeiro para execução deste trabalho e pela oportunidade de trabalhar neste centro de excelência em pesquisa agrícola.

À minha orientadora Inês Cristina de Batista Fonseca e ao meu co-orientador Tumoru Sera, os quais contribuíram muito na minha formação como Engenheiro Agrônomo e pesquisador.

Aos companheiros de trabalho do IAPAR que contribuíram para a execução deste trabalho.

Aos doutores Carlos Roberto Riede, Nelson da Silva Fonseca Junior, Débora Cristina Santiago, Valéria Carpentieri Pípolo, Pedro Mário de Araújo e Édison Miglioranza pelas sugestões e participação nas bancas de qualificação e de defesa da tese.

SERA, Gustavo Hiroshi. **Seleção de cafeeiros com resistência durável à ferrugem alaranjada**. 2008. 75f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2008.

RESUMO

A resistência à ferrugem do cafeeiro (*Hemileia vastatrix* Berk. et Br.) é controlada por pelo menos nove genes maiores e outros menores. Cultivares com mais genes de resistência podem promover a resistência durável que é muito importante para plantas perenes como o cafeeiro. Os objetivos deste trabalho foram: a) avaliar a resistência completa e incompleta à ferrugem em doze cultivares de café desenvolvidas pelo Instituto Agronômico do Paraná (IAPAR); b) identificar progênies das cultivares IPR 99 e IPR 107 com mais genes de resistência completa homocigotas não quebrados pela ferrugem e progênies com resistência incompleta; c) verificar a eficiência dos cruzamentos testes na seleção dessas plantas. As avaliações da resistência à ferrugem foram a campo, em cafeeiros adultos e para a população local de raças presentes no IAPAR (Londrina, Paraná, Brasil). Foram avaliadas desde a cultivar IPR 97 até a 'IPR 108'. Avaliaram-se 23 cruzamentos testes (suscetível x progênie a ser testada) com progênies F_3 da 'IPR 107' e cinco com progênies F_4 da 'IPR 99'. Além disso, foram avaliadas 11 progênies F_4 da 'IPR 107' e cinco progênies F_5 da 'IPR 99'. Para a avaliação da resistência foi utilizada uma escala de notas variando de 1 a 5, baseada na severidade da ferrugem (SF). As plantas com esporulação de ferrugem (PEF) e as notas médias de SF das avaliações foram usadas como parâmetros para identificar progênies das cultivares IPR 99 e IPR 107 com mais genes de resistência não quebrados pela ferrugem e/ou com mais desses genes em condição homocigótica e progênies com resistência incompleta. As cultivares do "Sarchimor" IAPAR 59, IPR 97, IPR 98 e IPR 104 apresentaram resistência completa à população local de raças. 'IPR 105' ("Catuaí S_{H2} , S_{H3} ") apresentou 100 % das plantas com resistência completa, indicando que é portadora do fator de resistência S_{H3} em condição homocigótica. As cultivares IPR 99 ("Sarchimor"), IPR 101 ("Catuaí S_{H2} , S_{H3} "), IPR 102 ("Catuaí" x "Icatu") e IPR 107 ('IAPAR 59' x 'Mundo Novo IAC 376-4') apresentaram cerca de 75 % das plantas com resistência completa e, provavelmente, segrega para um gene maior. Foi observada resistência incompleta nas cultivares IPR 103 e IPR 108 e, provavelmente, também nas PEF do IPR 99, IPR 101, IPR 102 e IPR 107, pois muitas plantas dessas cultivares apresentaram poucas lesões com esporulação em comparação com o padrão suscetível. Esta resistência incompleta ocorreu nas cultivares derivadas do "Sarchimor" e "Catuaí". As cultivares IPR 100 ("Catuaí S_{H2} , S_{H3} ") e IPR 106 ("Icatu"), que perderam recentemente a resistência, apresentaram suscetibilidade similar ao do padrão suscetível 'Catuaí Vermelho IAC 81'. Por meio de análise da frequência de PEF dos cafeeiros derivados dos cruzamentos testes e da autofecundação foi possível identificar progênies das cultivares IPR 99 e IPR 107 com mais genes de resistência não quebrados do que outras dessas cultivares. O uso da autofecundação para identificar cafeeiros com mais genes de resistência não quebrados é mais viável que os cruzamentos testes, porque é mais fácil. Cruzamentos testes são restritos para poucas situações, podendo ser utilizados para cafeeiros com muitos genes maiores de resistência em condição heterocigótica e inoculados com raças portadoras de poucos fatores de virulência.

Palavras-chave: *Coffea*. Cruzamentos testes. Genes S_H . *Hemileia vastatrix*. Resistência parcial.

SERA, Gustavo Hiroshi. **Selection of coffees with durable resistance to rust.** 2008. 75p. Thesis (Ph.D in Agronomy) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2008.

ABSTRACT

The resistance to coffee leaf rust (*Hemileia vastatrix* Berk. et Br.) is controlled by at least nine major genes and other minor ones. Cultivars with more resistance genes can promote durable resistance, very important for perennial plants such as coffee. The aims of this research were: a) to evaluate the complete and incomplete resistance to rust in twelve coffee cultivars developed by the Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR); b) to identify 'IPR 99' and 'IPR 107' progenies with more resistance genes not defeated by rust and with more of these genes in homozygous condition; c) to verify the efficiency of test-crosses in the selection of these plants. The resistance evaluations of rust were done in the field, on adult coffee plants and for the local race population at IAPAR (Londrina, Paraná, Brazil). In one experiment the cultivars IPR 97 to IPR 108 were evaluated. Twenty three test-crosses (susceptible x progeny to be tested) with 'IPR 107' F₃ progenies and five with 'IPR 99' F₄ progenies were evaluated. Furthermore, 11 F₄ progenies of 'IPR 107' and five F₅ progenies of 'IPR 99', both selfed, were evaluated. For the resistance evaluation a score scale varying from 1 to 5, based on rust severity. The percentage of plants with rust sporulation and mean scores of rust severity were used as parameters to identify 'IPR 99' and 'IPR 107' progenies with more complete resistance in homozygosis not defeated by rust and progenies with incomplete resistance. The "Sarchimor" cultivars IAPAR 59, IPR 97, IPR 98 and IPR 104 showed complete resistance to the local population of races. 'IPR 105' ("Catuaí S_{H2}, S_{H3}") presented 100 % of plants with complete resistance, indicating that carry the S_{H3} in homozygous condition. The cultivars IPR 99 ("Sarchimor"), IPR 101 ("Catuaí S_{H2}, S_{H3}"), IPR 102 ("Catuaí" x "Icatu") and IPR 107 ('IAPAR 59' x 'Mundo Novo IAC 376-4') presented 75% of plants with complete resistance and probably the segregation can be due to one major gene. Incomplete resistance was observed in the cultivars IPR 103 and IPR 108 and, probably, also in coffees with partial rust sporulation of 'IPR 99', 'IPR 101', 'IPR 102' and 'IPR 107' because many plants of these cultivars presented few lesions in comparison with the susceptible standard. This incomplete resistance occurred in cultivars derived from "Sarchimor" and "Catuaí". The cultivars IPR 100 ("Catuaí S_{H2}, S_{H3}") and IPR 106 ("Icatu") showed susceptibility similar to the susceptible standard 'Catuaí Vermelho IAC 81'. By the analysis of frequency of plants with sporulated rust lesions of coffees derived from test-crosses and self-pollination were identified 'IPR 99' and 'IPR 107' progenies with more resistance genes not defeated than others of these cultivars. The use of self-pollination to identify coffees with more resistance genes not defeated is more viable than test-crosses because it is easier. Test-crosses are restricted for few situations, and can be used for coffees with many major resistance genes on heterozygous condition and inoculated with races carrying few virulence factors.

Keywords: *Coffea*. Genes S_H, *Hemileia vastatrix*, Partial resistance, Test-crosses.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	9
2 REVISÃO DE LITERATURA	11
2.1 ASPECTOS ECONÔMICOS DA CADEIA PRODUTIVA DO CAFÉ.....	11
2.2 FERRUGEM ALARANJADA DO CAFEIEIRO	12
2.2.1 Sintomatologia.....	13
2.2.2 Etiologia.....	13
2.2.3 Danos e perdas	15
2.2.4 Controle da ferrugem.....	16
2.3 MELHORAMENTO GENÉTICO DO CAFEIEIRO PARA A RESISTÊNCIA À FERRUGEM.....	17
2.3.1 Genes de resistência.....	18
2.3.2 Resistência incompleta específica para raças.....	19
2.3.3 Resistência incompleta não específica para raças.....	21
2.3.4 Fontes de resistência	22
2.3.4.1 Grupos fisiológicos de resistência	22
2.3.4.2 Variedades resistentes	23
2.3.4.3 Avaliação da resistência.....	25
2.3.4.4 Marcadores de DNA.....	28
2.4 RAÇAS FISIOLÓGICAS DA FERRUGEM.....	28
2.4.1 Identificação das raças fisiológicas	30
3 ARTIGO A – RESISTÊNCIA À FERRUGEM EM CULTIVARES DE CAFÉ ARÁBICA DESENVOLVIDAS NO INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ	32
3.1 RESUMO	32
3.2 ABSTRACT	33
3.3 INTRODUÇÃO	33
3.4 MATERIAL E MÉTODOS	35
3.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	37
3.6 CONCLUSÕES	44

4 ARTIGO B – SELEÇÃO PARA A RESISTÊNCIA DURÁVEL À FERRUGEM EM PROGÊNIES DAS CULTIVARES DE CAFÉ IPR99 E IPR 107	46
4.1 RESUMO	46
4.2 ABSTRACT	47
4.3 INTRODUÇÃO	47
4.4 MATERIAL E MÉTODOS	50
4.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	52
4.5.1 Progênies da cultivar IPR 99 com mais genes de resistência	52
4.5.2 Progênie da cultivar IPR 99 com resistência incompleta.....	55
4.5.3 Progênies da cultivar IPR 107 com mais genes de resistência	56
4.5.4 Progênies da cultivar IPR 107 com resistência incompleta.....	59
4.5.5 Eficiência dos cruzamentos testes	60
4.6 CONCLUSÕES	60
5 CONCLUSÕES GERAIS	63
REFERÊNCIAS	64
ANEXOS	73
ANEXO A – Raças Fisiológicas de Ferrugem Identificadas no Mundo com seus Respectivos Genes de Virulência.....	74
ANEXO B – Cafeeiros Diferenciadores Utilizados na Identificação das Raças de Ferrugem com seus Respectivos Genes de Resistência, Designações e Grupos Fisiológicos	75

1 INTRODUÇÃO

A ferrugem alaranjada do cafeeiro (*Hemileia vastatrix* Berk. et Br.), ainda representa um dos principais problemas para a cafeicultura mundial, pois causa grandes perdas para a produtividade e qualidade.

Apesar da existência de diversas cultivares de café com resistência completa à ferrugem, a maioria são suscetíveis ou apresentam resistência incompleta. Por este motivo, o controle químico vem sendo utilizado extensivamente pelos cafeicultores. Este tipo de controle quando realizado corretamente é eficiente, porém as aplicações de fungicidas demandam custos e complexidade tecnológica para o cafeicultor.

O uso de cultivares resistentes é o meio mais econômico, eficiente e ecologicamente correto de controle da ferrugem. Várias cultivares resistentes foram desenvolvidas e adaptadas para as diferentes regiões cafeeiras do mundo.

Entretanto, muitas cultivares resistentes no passado perderam sua resistência ao longo do tempo e se tornaram parcialmente resistentes ou totalmente suscetíveis. Várias cultivares ainda apresentam resistência completa, porém existe o risco de novas raças de ferrugem anularem esta resistência por mutação.

A ferrugem é de alta capacidade mutagênica e, atualmente, ocorrem mais de 45 raças no mundo. Quase todos os genes maiores de resistência conhecidos já foram quebrados.

Para evitar ou dificultar a quebra de resistência, uma das estratégias é o acúmulo de genes maiores de resistência em cultivares do tipo linhagem pura ou do tipo multilinha visando à resistência durável. Uma outra alternativa é o uso da resistência incompleta e a tolerância à ferrugem, pois reduzem o risco do surgimento de novas raças, além de reduzirem as perdas na cultura do café.

O desenvolvimento de cultivares de café resistentes é de extrema importância tanto econômica para o cafeicultor quanto científica, pois podem ser utilizadas em novos cruzamentos visando o acúmulo de genes de resistência numa mesma cultivar.

Na resistência incompleta, também denominada resistência parcial, apesar de ocorrer a multiplicação do fungo, esta é mais baixa em comparação com uma suscetível e a pressão por surgimento de mutação para genes de virulência é

menor. Quando esta resistência é utilizada em conjunto com outros tipos de controle como o químico, a eficiência do controle aumenta e os custos são mais baixos.

Os objetivos desta pesquisa foram: a) identificar cultivares de café arábica com resistências completa e incompleta à ferrugem; b) identificar progênies das cultivares IPR 99 e IPR 107 com mais genes de resistência em homozigose não quebrados pela população local de raças; c) verificar se cruzamentos testes são eficientes na seleção de plantas com mais genes de resistência não quebrados.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 ASPECTOS ECONÔMICOS DA CADEIA PRODUTIVA DO CAFÉ

No mundo, o país que mais produz e exporta café é o Brasil. Este representa um dos principais produtos para a agricultura brasileira, totalizando em 2007, 28,01 milhões de sacas exportadas, o que representa 29,37 % das exportações mundiais (ABIC, 2008).

Assim, o café ainda é um dos mais importantes produtos agrícolas de exportação brasileira gerando riquezas e divisas para o país, além de ter grande função social pela geração de empregos ao longo da cadeia produtiva.

Coffea arabica L. (café arábica) e *C. canephora* Pierre (café robusta) são as de maior cotação no mercado internacional (FAZUOLI, 1986). O café robusta é de qualidade inferior e maior produtividade, mas o café arábica apresenta preços melhores no mercado mundial pela sua qualidade.

A safra brasileira em 2007 foi de 33,740 milhões de sacas beneficiadas de 60 kg em grãos de café, sendo 23,477 milhões de café arábica (69,58 %) e 10,263 milhões de café robusta (30,42 %). Os estados brasileiros que mais produziram café, por ordem decrescente, foram: Minas Gerais (46,78 %), Espírito Santo (28,40 %), São Paulo (7,80 %), Bahia (5,43 %), Paraná (4,81 %) e Rondônia (4,39 %), respondendo por 97,61 % do total de café produzido no Brasil. Os maiores produtores de café arábica, por ordem decrescente, são: Minas Gerais (65,81 %), São Paulo (11,21 %), Espírito Santo (8,59 %), Paraná (6,91 %) e Bahia (5,60 %). Os maiores produtores de café robusta, por ordem decrescente, foram: Espírito Santo (73,73 %), Rondônia (14,44 %), Bahia (5,04 %), Pará (2,59 %) e Mato Grosso (1,37 %) (ABIC, 2008).

Na safra de 2007, o Paraná foi o quarto maior produtor brasileiro de café arábica, sendo a produção de 1,622 milhões de sacas beneficiadas de 60 kg e com área total plantada de 105.600 hectares de café (ABIC, 2008). A atividade de produção de café representa uma das mais importantes para a agricultura do Paraná, principalmente em relação à geração de empregos, sendo o setor cafeeiro responsável pela manutenção de 73 mil empregos diretos no campo e ultrapassando

200 mil postos de trabalho nos demais segmentos da cadeia produtiva. De toda a mão-de-obra utilizada no café, 64 % é familiar, sendo assim de grande importância para a fixação de mão-de-obra no campo. Atualmente, o estado do Paraná possui 13 mil produtores de café, sendo cultivado em 210 municípios paranaenses. A maioria dos produtores possui pequenas propriedades, sendo 83 % delas propriedades familiares com área inferior a 50 hectares (SEAB/ DERAL, 2007).

O consumo interno brasileiro de café vem crescendo continuamente. No período entre novembro de 2006 a outubro de 2007, o brasileiro consumiu 17,1 milhões de sacas, isso representa um acréscimo de 4,74 % em relação ao período anterior de novembro de 2005 a outubro de 2006. No Brasil, o consumo interno evoluiu 24,8% desde 2003, de 13,7 milhões de sacas para os atuais 17,1 milhões. Em 1990, o consumo interno era somente de 8,2 milhões de sacas, menos da metade do que o consumido atualmente. O mercado brasileiro também representa 14% da demanda mundial e representa mais de 50% de todo o consumo interno dos países produtores de café. O crescimento do consumo se repete há anos, de forma consistente e duradoura, e a Associação Brasileira da Indústria de Café (ABIC) atribui este crescimento aos seguintes fatores: melhoria contínua da qualidade do café, consolidação do mercado de cafés do tipo Gourmet ou Especiais, consciência da população quanto aos aspectos benéficos do café para a saúde e melhora das condições econômicas do Brasil (ABIC, 2007).

2.2 FERRUGEM ALARANJADA DO CAFEIEIRO

A ferrugem alaranjada do cafeeiro (*Hemileia vastatrix* Berk. et Br.) foi descrita no Ceilão (Sri Lanka), em 1868, por Berkeley e tem sido o principal problema da cultura do café em todas as regiões do mundo (GODOY et al., 1997).

Nas Américas foi relatada pela primeira vez em 1902, na ilha de Porto Rico. No Brasil a ferrugem foi primeiramente detectada na Bahia em janeiro de 1970. Em apenas dois anos, a ferrugem foi disseminada para as principais regiões cafeeiras do Brasil (GODOY et al., 1997).

2.2.1 Sintomatologia

Inicialmente, na face inferior do limbo foliar, a ferrugem do cafeeiro causa manchas cloróticas translúcidas de 1 a 3 mm de diâmetro. Em poucos dias, as manchas se desenvolvem, atingindo de 1 a 2 cm de diâmetro (GODOY et al., 1997). Nessas manchas, são observadas pústulas alaranjadas ou vermelho-alaranjadas com uredósporos (ZAMBOLIM et al., 2002). Na face adaxial da folha aparecem áreas descoloridas, de tonalidade amarelada, que correspondem às regiões infectadas na face abaxial (GODOY et al., 1997).

As lesões aumentam de tamanho, deixando no seu centro uma área necrótica, com menor esporulação, esporos de coloração mais clara e com menor viabilidade. A perda da cor típica dos esporos pode ser acelerada pela presença do hiperparasita *Verticillium hemileiae* Bour. colonizando urédias de *H. vastatrix* (GODOY et al., 1997), o qual é mais observado em regiões com alta umidade relativa do ar e em cafezais sombreados (ZAMBOLIM et al., 1997). Em estádios avançados do ataque, a maior parte da área afetada morre e a produção de esporos continua somente na beira da pústula (GODOY et al., 1997).

Ocasionalmente, *H. vastatrix* pode atacar a extremidade de ramos em desenvolvimento ou frutos verdes. As folhas atacadas caem prematuramente, sendo que na plantação, o sintoma mais notável é a desfolha dos cafeeiros, que pode provocar danos à produção (NAVARRO DE ANDRADE, 1914; WELLMAN, 1952; GODOY et al., 1997).

2.2.2 Etiologia

A ferrugem alaranjada do cafeeiro é causada pelo fungo *H. vastatrix*, pertencente à família Pucciniaceae, ordem Uredinales, classe Basidiomycetes (GODOY et al., 1997).

É um fungo biotrófico, que apresenta um ciclo de vida incompleto, pois as fases de pécnio e écio ainda são desconhecidas (RAJENDREN, 1967), ocorrendo somente os estádios urédia, télia e basídio (KUSHALAPPA, 1989). O ciclo

da doença é iniciado pelos uredósporos, que são dicarióticos ($n + n$) (ONO, 2002) e ao serem depositados na face abaxial das folhas, na presença de água, germinam, penetram e colonizam as folhas. Posteriormente, produzem as urédias com os uredósporos, os quais podem novamente ser disseminados para outras folhas, iniciando o ciclo secundário (ZAMBOLIM et al., 2002).

Em determinadas condições climáticas como umidade e temperaturas baixas (COUTINHO et al., 1995) e em lesões velhas, a télia e os teliósporos ($2n$) são formados nas lesões. Os teliósporos, ao germinarem, formam o pro-micélio (basídio) e basidiósporos (n) (ZAMBOLIM et al., 2002), os quais não infectam os cafeeiros (GODOY et al., 1997).

As lesões com uredósporos em folhas de cafeeiros constituem a fonte de inóculo. Cada pústula produz, aproximadamente, 150.000 uredósporos, os quais sobrevivem sob condições secas por um período de seis semanas (GODOY et al., 1997).

A disseminação da ferrugem ocorre: pela ação do vento, pelas gotas de chuva, pelo escorrimento de água das margens do limbo para a superfície inferior, pelo homem, durante a execução dos tratos culturais, e por insetos e outros animais que entrem em contato com plantas infectadas. A água é o agente de disseminação local mais eficiente. O impacto da gota da chuva numa lesão liberta os esporos, inclusive desmanchando os aglomerados. A disseminação a longa distância é feita principalmente pelo homem e pelo vento (GODOY et al., 1997).

Os uredósporos, ao serem depositados na face abaxial da folha, germinam num período de 3 a 6 horas em condições de alta umidade ou água livre e temperatura entre 21 e 25 °C, na ausência de luz (GODOY et al., 1997). A temperatura ótima para germinação e penetração de *H. vastatrix* nos estômatos varia de 22 a 24 °C, sendo temperaturas superiores a 30 °C e inferiores a 14 °C limitantes para a infecção. A máxima infecção é obtida após 24 horas de água livre na superfície das folhas (ZAMBOLIM et al., 2002). Os tubos germinativos se ramificam e formam apressórios próximos ao estômato, onde a hifa penetra na cavidade subestomática, com posterior colonização intracelular pelos haustórios. O micélio do fungo cresce nos espaços intercelulares, dentro da folha, sem manifestar sintomas visíveis. Os uredósporos nas lesões têm, normalmente, um poder germinativo de 30 a 50 % e, nessas condições, podem permanecer viáveis durante tempo variável, até três meses em período seco. Uma vez retirados das lesões,

perdem rapidamente seu poder germinativo, sendo de 5 %, após 5 dias, e 1 %, após 20 dias. Dependendo das condições ambientais, as fase de germinação e penetração podem ser de dois a três dias (GODOY et al., 1997).

Os sintomas iniciais surgem 7 a 15 dias após a penetração, variando em função da temperatura, suscetibilidade da planta e idade do órgão afetado. A esporulação é iniciada uma semana após os primeiros sintomas (GODOY et al., 1997).

A duração do ciclo de *H. vastatrix* determina a importância econômica da doença numa determinada região. Em locais com condições desfavoráveis à doença o ciclo é longo, superior a 30 dias. Em locais com ambiente favorável os ciclos são curtos, com 20 ou menos dias de duração (GODOY et al., 1997). Os quatro fatores que interagem e determinam a severidade da ferrugem são: distribuição e intensidade de chuvas, grau de enfolhamento das plantas, carga pendente das plantas e quantidade de inóculo residual presente no final da estação seca. A curva de progresso da doença, na maioria das regiões produtoras de café do país (altitude de 650 m a 1000 m), se inicia em dezembro ou janeiro, com pico em maio ou junho. Em altitudes superiores a 1200 m, o pico da doença é deslocado para setembro ou outubro. A severidade da doença também é em função da altitude, sendo maior em torno de 850 m, e tende a diminuir e altitudes acima de 1000 m, devido ao decréscimo da temperatura (ZAMBOLIM et al., 2002). Durante a estação seca, a acentuada queda de folhas reduz a incidência da doença (GODOY et al., 1997).

Folhas em qualquer fase de desenvolvimento são suscetíveis ao fungo (GODOY et al., 1997). Entretanto, a penetração e colonização são mais rápidas e freqüentes em folhas jovens (ESKES, 1983; GODOY et al., 1997). Em folhas completamente desenvolvidas, a colonização é dificultada pelas características dos tecidos do limbo foliar (GODOY et al., 1997).

2.2.3 Danos e perdas

A produtividade brasileira média de café é de 16 a 18 sacas de 60 kg em grãos por hectare (scB/ ha) (BRANDO, 2003), entretanto, o potencial produtivo

de uma lavoura é mais do que 70 scB/ ha em cafeeiros irrigados (SOARES, 2001). Regiões específicas do cerrado da Bahia produzem mais de 50 scB/ha (BRANDO, 2003).

Um dos fatores que contribui para esta baixa produtividade média brasileira é a ocorrência de várias pragas e doenças. A ferrugem causada pelo fungo *Hemileia vastatrix* Berk. et Br. é considerada a principal doença do café no mundo. As perdas na produção provocada pela ferrugem variam de 35 % a 50 %, dependendo de vários fatores como a suscetibilidade da cultivar, umidade do ambiente, carga pendente e estado nutricional da planta (ZAMBOLIM et al., 1997). As desfolhas dos cafeeiros provocadas pela ferrugem que ocorrem antes da indução floral ou durante o desenvolvimento dos frutos, respectivamente, ocasionam à redução da floração e à má formação dos grãos (GODOY et al., 1997). A má nutrição e a desfolha da planta durante o inverno, devido ao controle deficiente da ferrugem, predispõem os cafeeiros à geada, pois plantas com deficiência nutricional congelam mais rapidamente (SERA; GUERREIRO, 1995).

Em anos de alta produção o ataque da ferrugem é mais severo (NAVARRO DE ANDRADE, 1914; MARIOTTO et al., 1974; ZAMBOLIM et al., 1985; CARVALHO et al., 2001).

2.2.4 Controle da ferrugem

Os tipos de controle da ferrugem são: biológico, cultural, químico e genético. Os dois últimos são os mais utilizados pelos agricultores.

A ação de fungos do gênero *Verticillium* e larvas de Dípteros que parasitam e/ou se alimentam sobre as lesões da ferrugem não vêm demonstrando resultados satisfatórios no controle biológico (MATIELLO; ALMEIDA, 2006).

O controle cultural através de práticas de manejo para aumentar a intensidade da luz e diminuir o período de molhamento no interior da copa da planta como podas, condução de hastes e uso de espaçamentos menos adensados são usados como auxiliares no controle químico segundo Matiello e Almeida (2006). A frequência de folhas infectadas é menor em cafezais menos adensados e cultivados a pleno sol (MATIELLO; ALMEIDA, 2006).

O controle químico é muito importante no Brasil, pois mais de 90 % das variedades cultivadas são as dos germoplasmas Catuaí, Mundo Novo e Bourbon, todas suscetíveis à ferrugem (MATIELLO; ALMEIDA, 2006). Os fungicidas cúpricos, as caldas Viçosa e bordalesa representam os produtos protetores e reduzem a pressão de seleção exercida pelos fungicidas sistêmicos. O controle via solo ou via pulverização foliar com fungicidas sistêmicos deve ser integrada num programa de manejo, em conjunto com os cúpricos. O grupo de fungicidas estrobirulinas deve ser empregado em rodízio ou em mistura formulada com os fungicidas triazóis (ZAMBOLIM et al., 2002). A predominância de cultivares suscetíveis no Brasil leva à necessidade do controle químico, que é eficiente e economicamente viável, entretanto, aumenta os custos da produção, além da dependência de tecnologia e treinamento adequado dos aplicadores. Apesar do controle químico ser potencialmente eficiente, o custo anual varia entre US\$ 200 a US\$ 500 por hectare, tornando difícil a situação financeira de cafeicultores em períodos com baixos preços do café.

Apesar da predominância do cultivo de cafeeiros suscetíveis no Brasil, paulatinamente, vêm sendo adotadas novas cultivares com resistência completa ou parcial à ferrugem. O método mais econômico e ecologicamente correto de controle da ferrugem é o uso de cultivares resistentes.

2.3 MELHORAMENTO GENÉTICO DO CAFEIRO PARA A RESISTÊNCIA À FERRUGEM

Diversos institutos de pesquisa no mundo vêm enfrentando dificuldades em encontrar algum modo para impedir que a ferrugem quebre a resistência dos cafeeiros. A resistência pode ser completa ou incompleta e específica ou não específica a raças.

2.3.1 Genes de resistência

A teoria gene a gene de Flor (1955) pode ser aplicada na interação entre café e ferrugem (NORONHA-WAGNER; BETTENCOURT, 1967). Os genes de resistência à ferrugem conhecidos são S_H1 , S_H2 , S_H3 , S_H4 , S_H5 , S_H6 , S_H7 , S_H8 e S_H9 , contrastando com os correspondentes genes de virulência $v1$ a $v9$ de *H. vastatrix* (RODRIGUES-JUNIOR et al., 1975; BETTENCOURT, 1981; BETTENCOURT; RODRIGUES-JUNIOR, 1988). Os genes S_H1 , S_H2 , S_H4 e S_H5 foram identificados em acessos de cafeeiros arábicos puros originados da Etiópia. S_H6 , S_H7 , S_H8 e S_H9 são originados de *C. canephora*, um dos parentais do “Híbrido de Timor” e outros híbridos interespecíficos como o “Icatu” (RODRIGUES-JUNIOR et al., 1975; BETTENCOURT; RODRIGUES-JUNIOR, 1988). O S_H3 supostamente é derivado de *C. liberica*, pois foi caracterizado nas seleções indianas S.288, S.333, S.353 4/5 e Séries B.A. derivadas dos cafeeiros tetraplóides S.26 e S.31 (*C. arabica* x *C. liberica*) (NORONHA-WAGNER; BETTENCOURT, 1967; BETTENCOURT; NORONHA-WAGNER, 1971).

A existência de outro(s) gene(s) maior(es) de resistência ($S_H?$) como em derivados de “Híbrido de Timor” e em “Icatu” têm sido confirmados devido à quebra de resistência por novas raças de ferrugem em alguns desses cafeeiros portadores dos genes S_H5 , S_H6 , S_H7 , S_H8 e S_H9 e, as que mantêm a resistência, provavelmente é portador do gene $S_H?$ (RODRIGUES-JUNIOR et al., 2000).

Dois fatores de resistência monogênicos, diferentes de S_H6 a S_H9 , foram detectados no Brasil, um em *C. canephora* cv. Kouillou e outro em “Icatu” (ESKES, 1989).

O gene S_H3 e certos genes de *C. canephora* têm promovido resistência à ferrugem em condições de campo por um longo período (SRINIVASAN; NARASIMHASWAMY, 1975; BERGAMIN-FILHO, 1976; RAMACHANDRAN; SRINIVASAN, 1979; ESKES, 1989).

Além desses genes maiores citados anteriormente, que promovem resistência completa, também foi observada a resistência incompleta devido à presença de um ou poucos genes menores em plantas do “Icatu” e “Híbrido de Timor” (ESKES et al., 1990). Outros genes vêm promovendo resistência incompleta

não específica para raças em variedades de *C. arabica* e em *C. canephora* cv Kouillou, sendo que nesta última parece ser de caráter poligênico (ESKES, 2005).

2.3.2 Resistência incompleta específica para raças

Existem evidências que genes maiores quebrados por um patógeno podem apresentar características de genes menores, promovendo uma resistência residual. É provável que os atuais genes menores foram genes maiores no passado (NELSON, 1978).

Os genes S_H promovem resistência completa quando estão em condição homozigótica e são específicos para raças, entretanto, quando alguns genes S_H são quebrados pela ferrugem ocorre a resistência incompleta ou parcial (“resistência residual”) de cafeeiros (ESKES, 1989).

Os genes S_{H1} , S_{H2} , S_{H3} , S_{H4} e S_{H6} aparentam ser de caráter monogênico e dominante (RODRIGUES-JUNIOR et al., 1975). Dependendo das condições dos testes, o S_{H4} pode ser parcialmente dominante ou mesmo ser recessivo. Quando o S_{H4} está em condição heterozigótica é observada a resistência incompleta. Estudos de herança sobre o S_{H5} não têm sido publicados. As heranças para os genes S_{H7} , S_{H8} e S_{H9} parecem ser complexas quando são usadas raças com virulência incompleta, as quais resultam em níveis de resistência intermediários (ESKES, 1989; ESKES et al., 1990). Raças com altos níveis de virulência para os genes S_{H7} , S_{H8} e S_{H9} têm sido identificadas (VÁRZEA et al., 2002), mostrando que o patógeno é capaz de suprimir a resistência incompleta específica para raças.

O gene S_{H2} não promove resistência residual, pois cafeeiros inoculados com raças de ferrugem portadoras do gene de virulência v2 apresentaram alta suscetibilidade. Porém, cafeeiros com os genes S_{H1} e S_{H4} apresentaram menos doença no campo do que cafeeiros sem esses genes quando foram expostos com raças de ferrugem portadores dos fatores v1 e v4. Variedades com o gene S_{H3} vêm apresentando diferentes níveis de resistência residual (ESKES, 1989). Estudos realizados numa população F_2 mostraram que a herança do gene S_{H3} é muito mais complexa do que a hipótese de um gene sozinho (KUKHANG et

al., 1993). Genótipos de café portadores do gene S_H3 vêm sendo cultivados na Índia sem a necessidade de controle químico sistemático.

Essa resistência incompleta ou residual, provavelmente ocorre devido ao não “anulamento” completo dos genes de resistência S_H por *H. vastatrix*, e não de genes menores, fazendo parte da base genética do cafeeiro (VÁRZEA et al., 2002). Dependendo da agressividade da raça de ferrugem, é possível observar em cafeeiros diferentes reações como: resistência, moderada resistência, moderada suscetibilidade e suscetibilidade (BETTENCOURT, 1981). O nível de resistência residual dos genes maiores quebrados depende do genótipo das raças, pois algumas apresentam virulência intermediária. A virulência intermediária pode ser explicada pela dominância incompleta dos alelos de avirulência, por alelos múltiplos para virulência ou por interações interalélicas. A presença desta virulência intermediária sugere que a resistência monogênica incompleta não seja durável (ESKES, 2005).

Algumas plantas da cultivar Colômbia (“Catimor”) com a resistência quebrada pela ferrugem vêm mantendo a resistência incompleta ao longo do tempo (ALVARADO, 2005). Progenies de “Catimor” selecionadas pelo programa de melhoramento genético de café da Universidade Federal de Viçosa (UFV) e Empresa de Pesquisa Agropecuária do estado de Minas Gerais (EPAMIG) apresentaram diferentes níveis de resistência incompleta à raça II (COSTA et al., 2007). Entretanto, em outras cultivares do germoplasma Catimor como a ‘Cauvery’ foi observada resistência incompleta somente no início. Passo a passo, a suscetibilidade dos cafeeiros e a agressividade da ferrugem aumentaram. Atualmente, esta cultivar não apresenta resistência incompleta em condições de campo na Índia (VÁRZEA; MARQUES, 2005).

A resistência incompleta específica para raças pode não promover a resistência durável (ESKES, 1983, 2005). Em plantas do “Icatu” têm sido freqüentemente detectados diferentes níveis de resistência parcial (MONACO; CARVALHO, 1975; ESKES; CARVALHO, 1983; ESKES; COSTA, 1983; ESKES et al., 1990). Estudos de herança em plantas do “Icatu” e em derivados do “Híbrido de Timor” com diferentes níveis de resistência incompleta indicaram a presença de um ou poucos genes parcialmente dominantes. Esses fatores genéticos quando em condição homozigótica ou associados, conferem uma resistência quase completa (ESKES et al., 1990).

2.3.3 Resistência incompleta não específica para raças

A resistência poligênica não específica para raças tem sido avaliada, principalmente, em condições de laboratório usando diferentes parâmetros como período de latência, porcentagem de lesões esporulando e produção de esporos por lesão. Muitos autores relatam a existência de fontes deste tipo de resistência em *C. canephora*, em híbridos interespecíficos e em alguns genótipos de *C. arabica*, mas a herança desta resistência ainda é desconhecida (SILVA et al., 2006).

A produtividade de cafeeiros com resistência incompleta é correlacionada positivamente com o grau de severidade da ferrugem em condições de campo (ESKES, 1983). Em progênies de “Catimor” com resistência parcial foi observada correlação positiva e significativa entre a incidência da ferrugem e a produtividade (COSTA et al., 2007).

Em *C. arabica* é observado um nível baixo de resistência não específico para raças. Essa resistência é fortemente afetada por condições de estresse como alta intensidade de luz e alta produção, as quais aumentam a suscetibilidade desses cafeeiros. Este tipo de resistência é insuficiente para proteger variedades de *C. arabica* com alta produção e utilizando modernas técnicas de cultivo (ESKES, 2005). Cafeeiros arábicos como Rume Sudan e Tafarikella com baixa produtividade e classificadas no Centro de Investigação das Ferrugens do Cafeeiro (CIFC) como plantas do grupo E (suscetível à maioria das raças), vêm apresentando um alto nível de resistência parcial em campo por muitos anos (VÁRZEA et al., 2000; VÁRZEA et al., 2002). Assim, é provável que parte da resistência parcial possa ser explicada pelo estado fisiológico da planta (SILVA et al., 2006).

Aparentemente, outro tipo de resistência não específica para raças, denominada “resistência de folhas adultas”, tem sido detectada em *C. canephora* cv Kouillou. É caracterizada pela baixa densidade de lesões em folhas adultas, sendo as folhas jovens e velhas mais suscetíveis. Este tipo de resistência também é afetado pela intensidade da luz e produção. É encontrada grande variação desta resistência, sendo algumas plantas do “Kouillou” mais suscetíveis do que cultivares de *C. arabica*, enquanto que outras são quase imunes. A herança dos altos níveis de resistência das folhas adultas em *C. canephora* parece ser poligênica. Em

cruzamentos com *C. arabica* a resistência poligênica, aparentemente, é recessiva e, portanto, de difícil transferência para esta espécie (ESKES, 2005). A resistência incompleta de *C. canephora* cv Kouillou pode ter valor na obtenção de resistência duradoura (ESKES, 1983).

O longo período de retenção das folhas pode ser um componente de tolerância à ferrugem, pois folhas infectadas continuam fotossinteticamente ativas por um longo período após as infecções (ESKES, 2005). Na variedade Ibaarê de *C. arabica* foi observada este tipo de resistência. Nesta variedade, apesar da alta incidência da ferrugem foi observada boa produtividade, entretanto, somente nos primeiros quatro anos após a chegada da ferrugem. Após este período a produção de Ibaarê foi reduzida (ESKES, 1989). Portanto, esta característica pode ser útil quando associada com algum tipo de resistência (ESKES, 2005).

2.3.4 Fontes de resistência

2.3.4.1 Grupos fisiológicos de resistência

No CIFIC foram caracterizados 40 grupos fisiológicos de resistência (RODRIGUES-JUNIOR et al., 1975; BETTENCOURT, 1981). O grupo A, resistente a todas as raças de ferrugem conhecidas, tem sido encontrado em plantas de: *C. canephora*, *C. liberica*, *C. dewevrei*, *C. eugenioides*, *C. congensis*, *C. zamguebariae* (D' OLIVEIRA; RODRIGUES-JUNIOR, 1961; BETTENCOURT et al., 1965) e em híbridos entre *C. arabica* e *C. canephora* como o Híbrido de Timor e Icatu (D' OLIVEIRA; RODRIGUES-JUNIOR, 1961; BETTENCOURT et al., 1965; BETTENCOURT; RODRIGUES-JUNIOR, 1988). Cafeeiros arábicos puros não têm sido classificados no grupo A. Ao contrário do grupo A, plantas do grupo F apresentam suscetibilidade para todas as raças conhecidas. A maioria dos acessos de *C. racemosa* recebidos pelo CIFIC é do grupo F. Entre os grupos A e F existem mais 38 grupos, variando de suscetibilidade a 43 raças a suscetibilidade a somente 3 raças (grupo W) (BETTENCOURT, 1981; BETTENCOURT; RODRIGUES-JUNIOR, 1988). Pesquisas realizadas no CIFIC têm mostrado que o grupo A não é

uniforme. Dos cafeeiros do grupo A em estudo no CIFC, mais que cinco novos grupos fisiológicos se tornaram suscetíveis a cinco diferentes isolados de ferrugem da Índia (VÁRZEA; MARQUES, 2005).

As cultivares dos germoplasmas Catuaí e Mundo Novo, as mais cultivadas no Brasil, são do grupo E, suscetível à maioria das raças (MATIELLO; ALMEIDA, 2006). Plantas do grupo fisiológico A possuem os genes maiores S_{H5} , S_{H6} , S_{H7} , S_{H8} , S_{H9} e, provavelmente, outros genes maiores ($S_{H?}$), enquanto que plantas do grupo E somente o S_{H5} (BETTENCOURT et al., 1992).

2.3.4.2 Variedades resistentes

Muitos dos cafeeiros melhorados para a resistência à ferrugem tiveram como fonte de resistência o “Híbrido de Timor” (HDT), selecionado no CIFC, com as designações: HDT CIFC 832/1, HDT CIFC 832/2 e HDT CIFC 1343. Essas plantas do “Híbrido de Timor”, provavelmente, foram originadas do cruzamento natural entre *C. arabica* e *C. canephora*. Conforme Silva et al. (2006) os principais híbridos produzidos no CIFC com o HDT foram: HW 26 = “Caturra Vermelho” x HDT 832/1 (“Catimor”); HW 46 = “Caturra Vermelho” x HDT 832/2 (“Catimor”); HW 361 = “Villa Sarchi” x HDT 832/2 (“Sarchimor”); H 528 = “Catuaí Amarelo” x HW 26/13 (“Cavimor”); H529 = “Caturra Amarelo” x H 361/3 (“Cachimor”). Oeiras MG 6851 é um exemplo de uma cultivar originada do “HW 26”. As cultivares IAPAR 59, IPR 98, IPR 99 e Tupi IAC 1669-33 foram originados do “HW 361”. A cultivar Colômbia foi originada do cruzamento “Caturra” x “HDT 1343”.

A população do “Híbrido de Timor” possui pelo menos cinco genes dominantes S_{H5} , S_{H6} , S_{H7} , S_{H8} , S_{H9} (BETTENCOURT et al., 1992), sendo S_{H6} a S_{H9} originados de *C. canephora* (BETTENCOURT; RODRIGUES-JUNIOR, 1988). Além destes já identificados, é provável que outros genes de resistência estejam presentes nestes genótipos (VÁRZEA; MARQUES, 2005). Foi quebrada a resistência da cultivar Cauvery (“Catimor”) por novas raças. É provável que o mesmo tenha ocorrido para as cultivares Costa Rica, Mida 96, Oro Azteca e Lempira 98, todas derivadas do “Catimor”. Em algumas linhagens do “Sarchimor” e em plantas

da cultivar Colômbia foi verificado que, tanto na Índia como no CIFC, ainda apresentam resistência completa às novas raças (VÁRZEA et al., 2002). Em alguns derivados do “Híbrido de Timor” com a resistência quebrada vem sendo observada a resistência parcial por um longo período (ALVARADO, 2005).

Em vários institutos de pesquisa vêm sendo realizados cruzamentos do “Catimor”, “Sarchimor”, “Cachimor” e “Híbrido de Timor” com as cultivares dos germoplasmas Catuaí e Mundo Novo, visando aumentar o vigor vegetativo desses cafeeiros. IBC Palma I, IBC Palma II, Acauã, IPR 107, Sabiá 398, Paraíso MG H 419-1, Sacramento MG 1 e Catiguá MG 1 são exemplos de cultivares originadas desses cruzamentos. Essas cultivares apresentam resistência para as raças predominantes de ferrugem do Brasil, porém em muitas já ocorreu a quebra da resistência por novas raças. Conforme Matiello et al. (2005), ‘Acauã’ (“Sarchimor” x ‘Mundo Novo’) vem apresentando resistência completa às raças do Brasil. Progenies F₅ de “Catuaí Amarelo” com “Híbrido de Timor”, com alta produtividade, vêm apresentando resistência à ferrugem no município de Machado em Minas Gerais, segundo Miranda et al. (2005).

Um cruzamento entre *C. canephora* var. *robusta* com o número de cromossomos duplicado e *C. arabica* “Bourbon Vermelho” e mais dois retrocruzamentos deste híbrido com *C. arabica* “Mundo Novo” resultaram no germoplasma Icatu, cujas plantas apresentam grande variabilidade para a resistência à ferrugem (FAZUOLI et al., 2005). Estudos desenvolvidos no CIFC com plantas do “Icatu” detectaram cafeeiros do grupo fisiológico A, resistente a todas as raças conhecidas (BETTENCOURT; CARVALHO, 1968; MARQUES; BETTENCOURT, 1979). Foi observada resistência em “Icatu” para a raça XXIX (cultura 1321) portadora dos fatores de virulência v5 a v9. Portanto, essas plantas estudadas apresentam os genes S_H5 a S_H9, além de um ou mais fatores de resistência (SCALI, 1973). Em muitas plantas deste germoplasma ocorreu a quebra da resistência, inclusive para as raças do Brasil. Após a quebra, diferentes níveis de resistência parcial têm sido frequentemente detectados no “Icatu” (MONACO; CARVALHO, 1975; ESKE; CARVALHO, 1983; ESKE; COSTA, 1983; ESKE et al., 1990). As linhagens do “Icatu” que apresentam de moderada resistência a moderada suscetibilidade são: Icatu Vermelho IAC 2941, 2942, 2945, 4040, 4041, 4042, 4043, 4045, 4046, 4228; Icatu Amarelo IAC 2944, 3686, 2907; e Icatu Precoce IAC 3282 (moderadamente suscetível) (FAZUOLI et al., 2002).

A partir do cruzamento entre “Catuaí” e “Icatu” surgiu o “Catucaí”, que possui várias linhagens em seleção e plantio, com boa produtividade e vigor vegetativo. Muitas plantas são suscetíveis à ferrugem, entretanto, um bom grau de resistência incompleta vem sendo observado em algumas linhagens. Exemplos de linhagens e cultivares deste germoplasma são: Catucaí Vermelho 20/15, 19/8, 24/137, 785-15; Catucaí Amarelo 20/15, 24/137; IPR 102 e IPR 103.

Vários institutos de pesquisa vêm realizando o melhoramento de cafeeiros para incorporar os genes S_H1 , S_H2 , S_H3 e S_H4 , complementando com os genes S_H5 , S_H6 , S_H7 , S_H8 , S_H9 e outros presentes nas cultivares derivadas do “Híbrido de Timor” e “Icatu”. O gene S_H3 vem sendo incorporado em cultivares dos germoplasmas Mundo Novo, Catuaí e Acaíá (FAZUOLI et al., 2005; PEREIRA et al., 2005; SERA et al., 2005), pois é um gene promissor para promover resistência durável (SRINIVASAN; NARASIMHASWAMY, 1975; RAMACHANDRAN; SRINIVASAN, 1979; ESKES, 1989). Cafeeiros F_3 derivados do cruzamento entre “Catuaí” e genótipos portadores do S_H3 vêm apresentando alta produtividade e resistência à ferrugem (CONCEIÇÃO et al., 2005). O gene S_H1 vem sendo usado no melhoramento do cafeeiro, pois promove resistência simultânea para algumas raças de ferrugem e para a bactéria *Pseudomonas syringae* pv. *garcae* causadora da doença mancha aureolada (MORAES et al., 1974).

2.3.4.3 Avaliação da resistência

A resistência à ferrugem dos cafeeiros pode ser avaliada em condições controladas com a inoculação de raças com fatores de virulência conhecidos ou em campo com a população local de raças presentes no experimento, sem inoculação artificial. São usadas diferentes escalas de notas para avaliar a intensidade e severidade da ferrugem.

As inoculações da ferrugem podem ser: a) nas folhas em plantas, com três a cinco folhas ou em plantas com 60 a 150 cm de altura em condições de casa de vegetação; b) folhas destacadas; c) disco de folhas em gerbox. Desses três métodos, o que vem apresentando os melhores resultados nos testes de inoculação é o de folhas destacadas. Este método evita o escape, garante resultados mais

uniformes, usa menor quantidade de uredósporos, demandam pouco tempo e espaço, além de poucas folhas e ocorrem menos contaminações com o fungo *Verticillium hemileiae*. Sobre folhas destacadas, a inoculação é feita depositando 20 gotas (5 µl cada) de uma suspensão de esporos (2 mg de esporos/ 250 ml). Quando plantas são usadas essas podem ser inoculadas com uma suspensão (1 mg de esporos/ mL) ou pincelando as folhas com esporos (1 mg de esporos por folha). No método do disco de folhas os esporos são espalhados sobre as folhas (ZAMBOLIM et al., 2005).

Para estudos de resistência incompleta vêm sendo avaliados os componentes: eficiência da infecção, período de latência, produção de esporos e período infeccioso (ESKES, 2005).

Para a avaliação da resistência incompleta de progênies de café do “Catimor”, Costa et al. (2007) utilizaram os componentes: a) período de incubação = tempo em dias, decorrido desde a inoculação até o aparecimento dos primeiros sintomas em cada folha inoculada. A observação visual foi diária, a partir do décimo dia da inoculação até a constatação dos primeiros sintomas nas folhas; b) período latente médio = 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 e sinais da doença em cada folha inoculada. A partir do décimo dia após a inoculação, as observações foram realizadas a cada dois dias, durante 60 dias; c) razão de infecção = foi obtida dividindo-se o número de plantas doentes, pelo número de plantas inoculadas; d) produção de uredósporos = foi quantificada utilizando-se uma escala de notas variando de 0 a 4 pontos, sendo 0 para pústulas 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; e) razão de lesões esporuladas = o número de lesões esporuladas por folha, independentemente do grau de reação, avaliado 70 dias após a inoculação; f) razão de esporulação = obtida dividindo-se o número de plantas com lesões esporuladas, pelo número total de plantas inoculadas, descendentes de cada progênie; g) área foliar lesionada = a relação entre a área foliar lesionada e a área foliar total. Dentre esses componentes, a que melhor caracterizou as progênies para a resistência parcial foi a esporulação.

Uma escala de notas de 0 a 9 (ESKES; TOMA-BRAGHINI, 1981) vem sendo usada em avaliações da resistência completa e incompleta em

laboratório, casa de vegetação, viveiro e campo, onde são avaliadas plantas inteiras, ramos, folhas individuais e discos de folhas. Esta escala representam aumentos no tamanho da lesão com tipos de reações (TRs) resistentes (notas de 0 a 3) e na frequência e intensidade da esporulação para TRs mais suscetíveis (notas de 4 a 9). Com esta e outras é possível classificar os cafeeiros em altamente resistentes, resistentes, moderadamente resistentes, moderadamente suscetíveis e suscetíveis (ESKES, 2005). O Programa de Melhoramento Genético de Café do Instituto Agrônomo do Paraná utiliza notas de 1 a 5 para os cafeeiros avaliados em condições de campo com a população local de raças, sem inoculação artificial, onde nota 1 representam plantas com folhas sem pústulas, nota 2 são plantas com pústulas sem esporos e as notas entre 3 e 5 são para plantas com esporos nas folhas e com aumento gradual na incidência da ferrugem (SERA et al., 2007 a, b).

Para identificar, com precisão, quais genes S_H os cafeeiros são portadores, é necessário inocular raças específicas de ferrugem com os genes de virulência v1 a v9, sozinhos ou em combinações. Essas raças são de difícil acesso, pois se encontram no CIFC, em Portugal. Assim, normalmente, a seleção de cafeeiros no Brasil vem sendo realizada para as raças locais de ferrugem e na maioria das cultivares não se conhece quais genes S_H são portadoras.

É possível estimar o número de genes de resistência com base na análise da porcentagem de plantas suscetíveis em gerações F_2 ou retrocruzamentos (ESKES et al., 1990; FAZUOLI, 1991). No Programa de Melhoramento Genético de Café do IAPAR, a identificação de cafeeiros com mais genes S_H vem sendo realizado por meio da análise da frequência de plantas com esporulação da ferrugem. Esses cafeeiros são derivados de autofecundação ou cruzamento teste. O cruzamento teste consiste em cruzar um genótipo a ser testado com um genótipo suscetível, o que poderia diminuir a quantidade de progênies necessárias para a identificação de plantas mães com mais genes de resistência em comparação com as derivadas de autofecundação. Cafeeiros com maior porcentagem de plantas com esporulação são considerados como portadores de menor quantidade de genes de resistência não quebrados pela ferrugem. Sera et al. (2007b) utilizaram cruzamentos testes de cafeeiros suscetíveis com as cultivares IAPAR 59 e Tupi IAC 1669-33 para identificar plantas dessas cultivares com mais genes de resistência não quebrados pela ferrugem ou com mais desses genes em condição homozigótica. Plantas

dessas cultivares com 100 % das progênies resistentes foram consideradas como portadoras de mais genes de resistência não quebrados.

2.3.4.4 Marcadores de DNA

A identificação de marcadores moleculares ligados aos genes de resistência à ferrugem é uma importante ferramenta para melhorar a eficiência da seleção em programas de melhoramento de café (LASHERMES et al., 2005).

A técnica AFLP (Amplified Fragment Length Polymorphism) parece ser altamente eficiente na geração de marcadores de DNA para a resistência à ferrugem (PRAKASH et al., 2002). Com a técnica AFLP, muitos marcadores de DNA já foram identificados ligados ao gene S_{H3} (PRAKASH et al., 2002, 2004).

A obtenção desses marcadores será de grande importância, pois facilitarão o acúmulo dos genes S_H visando o desenvolvimento de cultivares com resistência durável.

2.4 RAÇAS FISIOLÓGICAS DA FERRUGEM

A quebra de resistência por novas raças de ferrugem em muitas cultivares antes consideradas resistentes como as do germoplasma Catimor vem ocorrendo com bastante frequência em todas as regiões do mundo. As raças fisiológicas de ferrugem existentes já quebraram quase todos os genes S_H de resistência (VÁRZEA et al., 2002).

A formação de novas raças parece estar relacionada com a pressão de seleção exercida pelos genes de resistência do hospedeiro, do mesmo modo que tem sido observado para outras ferrugens (JOHNSON, 2000). A maior diversidade na virulência de *H. vastatrix* vem sendo observada em regiões cafeeiras, como na Índia, onde foram realizados grande número de cruzamentos interespecíficos e retrocruzamentos visando incorporar genes de resistência (RODRIGUES-JUNIOR et al., 2000). A principal causa de variação em *H. vastatrix* vem sendo atribuída à

mutação genética, pois ainda não foi identificada a fase sexuada e os hospedeiros alternativos. A heterocariose pode ser um dos mecanismos para o surgimento de novas raças, entretanto, tentativas em produzir heterocariontes no CIFC não tiveram sucesso (VÁRZEA et al., 2002).

Atualmente já foram caracterizadas mais de 45 raças fisiológicas de ferrugem no mundo, portadoras dos 9 genes de virulência (v1 até v9), sozinhos ou em combinações (ANEXO A). Algumas raças apresentam um grande espectro de virulência como a raça XXXIX, com sete genes de virulência (v2, 4, 5, 6, 7, 8, 9), isolada de amostras provenientes da Índia (VÁRZEA; MARQUES, 2005).

Raças virulentas ainda não foram identificadas nos cafeeiros HDT CIFC 832/1 e HDT CIFC 832/2. Os cafeeiros HDT CIFC 2570 e HDT CIFC 1343 ainda não foram testados com as novas raças. Em derivados do Híbrido de Timor mais que 20 raças virulentas já foram caracterizadas no CIFC (VÁRZEA; MARQUES, 2005).

Em 1981, onze anos após a constatação da ferrugem no Brasil, 12 diferentes raças do fungo já haviam sido identificadas (CARDOSO et al., 1981). Atualmente são 17 raças detectadas no país (I, II, III, VII, X, XIII, XIV, XV, XVI, XVII, XXI, XXII, XXIII, XXIV, XXV ou XXXI, XXX e XXXIII), de 1972 a 2002, sendo essas portadoras dos genes v1, v2, v3, v4, v5, v6, v8 e v9, sozinhos ou em combinações (ZAMBOLIM et al., 2005). Como no Brasil as variedades mais cultivadas são as dos germoplasmas Catuaí e Mundo Novo, portadoras do gene S_{H5} (MATIELLO; ALMEIDA, 2006), a raça II (v5) é a de maior distribuição geográfica, sendo encontrada em todos os estados tanto em *C. arabica* como em outros germoplasmas. A raça III (v1, v5) foi detectada nos estados de São Paulo, Espírito Santo, Minas Gerais e Paraná e a raça XV (v4, v5) nos estados de São Paulo, Espírito Santo e Minas Gerais. Raças complexas como a XVI (v1, v2, v3, v4, v5), com vários genes de virulência, somente foram identificadas em germoplasmas de café com combinações complexas de genes de resistência, em campos experimentais mas com baixa agressividade (ZAMBOLIM et al., 2005).

Na Índia já foram identificadas 37 das 45 raças existentes no mundo, sendo que muitas apresentam um grande espectro de virulência como as raças XXIX (v5, 6, 7, 8, 9), XXXVII (v2, 5, 6, 7, 9) e XXXIX (v2, 4, 5, 6, 7, 8, 9) (PRAKASH et al., 2005).

Nunca foram encontradas raças com o v3 associado com os genes

v6 a v9. Entretanto, já foram encontradas raças com v1, v2 e v4 associados com v6 a v9, como é o caso das raças XXXVIII (v1,2,4,5,8) e XXXIX (v2,4,5,6,7,8,9) (VÁRZEA; MARQUES, 2005).

A ferrugem pode perder fatores de virulência não necessários para a infecção quando é inoculada em cafeeiros com poucos genes de resistência, sendo este processo denominado seleção estabilizadora (VÁRZEA et al., 2002; ESKES, 2005). Após repetidas inoculações da raça VIII (v2,3,5) em genótipos de café com o SH4, surgiu a raça XIV (v2,3,4,5). Esta raça perdeu os genes de virulência adquiridos quando inoculada várias vezes no “Caturra”, portador somente do S_H5. Por este motivo, raças devem ser inoculadas em seus respectivos hospedeiros diferenciadores para evitar a perda de virulência (VÁRZEA; MARQUES, 2005).

2.4.1 Identificação das raças fisiológicas

As raças fisiológicas de ferrugem vêm sendo identificadas através do uso de cafeeiros diferenciadores (ANEXO B), pertencentes a dezoito grupos fisiológicos (VÁRZEA; MARQUES, 2005). Esses possuem os genes S_H1 a S_H9, sozinhos ou em combinação. Além desses, possuem outros genes, os quais vêm sendo denominados S_H? (BETTENCOURT, 1981). Já foram identificados cafeeiros diferenciadores derivados de HDT CIFC 832/1 (BETTENCOURT et al., 1980; BETTENCOURT et al., 1992) e HDT CIFC 1343 (BETTENCOURT et al., 1980), entretanto em derivados de HDT CIFC 832/2 e HDT CIFC 2570 ainda não foram identificados. Devido a falta de diferenciadores, os genótipos de virulência de algumas raças não são completamente caracterizados e, provavelmente, existem mais genes de virulência. Não existem suficientes diferenciadores para caracterizar o espectro de virulência das novas raças dos derivados do “Híbrido de Timor”. Novos diferenciadores poderão facilitar a identificação de nova raças. (VÁRZEA; MARQUES, 2005).

Marcadores genéticos baseados na análise direta do DNA são métodos alternativos para estudar a variabilidade genética das populações de *H. vastatrix* (ZAMBOLIM et al., 2005). Existem poucos estudos moleculares da diversidade genética de *H. vastatrix*. Vem sendo observado que o uso de

marcadores RAPD (Random Amplified Polymorphic DNA) e AFLP (Amplified Fragment Length Polymorphism) são importantes ferramentas na identificação de raças, em conjunto, com os cafeeiros diferenciadores (VÁRZEA et al., 2002; GOUVEIA et al., 2005; ZAMBOLIM et al., 2005).

3 ARTIGO a: RESISTÊNCIA COMPLETA E INCOMPLETA À FERRUGEM ALARANJADA EM CULTIVARES DE CAFÉ

3.1 Resumo

As cultivares de café obtidas pelo IAPAR eram resistentes à ferrugem (*Hemileia vastatrix*) quando foram registradas, mas com o surgimento de novas raças, estas cultivares apresentam, atualmente, diferentes níveis de resistência. O objetivo deste trabalho foi avaliar a resistência completa e incompleta à ferrugem em 12 cultivares de café desenvolvidas pelo IAPAR. A avaliação da resistência foi para a população local de raças de ferrugem em condições de alta incidência e severidade da doença em campo e foi realizada em agosto de 2007 em Londrina - PR. Avaliaram-se 12 cultivares desde IPR 97 a IPR 108. Como padrões de resistência e suscetibilidade foram avaliados, respectivamente, 'IAPAR 59' e 'Catuaí Vermelho IAC 81'. O delineamento experimental foi em blocos ao acaso com nove repetições e parcelas de sete plantas. Para a avaliação da resistência foi utilizada uma escala de notas variando de 1 a 5, baseada na severidade da ferrugem. A avaliação da produtividade foi com base na colheita realizada em junho de 2007. As cultivares IAPAR 59, IPR 97, IPR 98, IPR 104 e IPR 105 apresentaram resistência completa à ferrugem. 'IPR 99', 'IPR 101', 'IPR 102' e 'IPR 107' apresentaram cerca de 75 % das plantas com resistência completa e, provavelmente, a segregação deve estar ocorrendo para um gene maior. Foi observada resistência parcial ou incompleta nas cultivares IPR 103 e IPR 108, enquanto que 'IPR 100' e 'IPR 106' apresentaram suscetibilidade similar ao da cultivar Catuaí Vermelho IAC 81.

Palavras-chave: *Coffea*. Genes S_H . *Hemileia vastatrix*. Melhoramento. Resistência incompleta.

3.2 Abstract

All coffee cultivars developed by IAPAR were resistant to rust (*Hemileia vastatrix*) when registered, but with occurrence of new races these cultivars present now different resistance levels. The aim of this research was to evaluate the complete and incomplete resistance to rust in coffee cultivars developed by IAPAR. The resistance evaluation was performed for the local leaf rust population at IAPAR with high incidence and severity of the disease in field and carried out on August 2007. Twelve coffee cultivars from IPR 97 to IPR 108 were evaluated. 'IAPAR 59' and 'Catuaí Vermelho IAC 81' were used such as resistant and susceptible standards, respectively. The experimental design was randomized blocks with nine replications and plots with seven plants. For the resistance evaluation a score scale varying from 1 to 5 was used, based on rust severity. The yield evaluation was based on the harvest carried out in June 2007. The cultivars IAPAR 59, IPR 97, IPR 98, IPR 104 and IPR 105 presented almost 100 % of complete resistance to rust while 'IPR 99', 'IPR 101', 'IPR 102' and 'IPR 107' presented around 75% of plants with complete resistance and, probably, the segregation occurred due to one gene. Partial or incomplete resistance in cultivars IPR 103 and IPR 108 was observed. 'IPR 100' and 'IPR 106' presented similar susceptibility when compared with 'Catuaí Vermelho IAC 81'.

Keywords: Breeding. *Coffea*. *Hemileia vastatrix*. Incomplete resistance. S_H genes.

3.3 Introdução

A ferrugem alaranjada do cafeeiro, causada pelo fungo *Hemileia vastatrix* Berk. et Br., representa um dos principais problemas para a cultura do café, pois causa grandes perdas na produtividade e qualidade.

O controle químico da ferrugem realizado corretamente é eficiente, porém, as aplicações de fungicidas demandam custos para o cafeicultor. O controle deficiente pode levar à má nutrição e desfolha durante o inverno, resultando em cafeeiros predispostos à geada, pois plantas com deficiência nutricional congelam

mais rapidamente (SERA e GUERREIRO, 1995). Se a desfolha dos cafeeiros ocorrer antes da indução floral ou durante o desenvolvimento dos frutos, respectivamente, leva à redução da floração e à má formação dos grãos (GODOY et al., 1997). A ferrugem pode provocar perdas na produção que variam de 35 % a 50 % em média de biênio, dependendo da suscetibilidade da cultivar, umidade do ambiente, carga pendente e estado nutricional da planta (ZAMBOLIM et al., 1997).

Muitos cafeeiros apresentam resistência completa para a maioria das raças de ferrugem presentes no mundo, como as cultivares IAPAR 59, Obatã IAC 1669-20, Oeiras, Tupi IAC 1669-33 e outras, a maioria derivada dos germoplasmas Catimor e Sarchimor. Entretanto, vem ocorrendo a quebra de resistência por novas raças em cultivares, antes, consideradas resistentes como as originadas do germoplasma Catimor (VÁRZEA et al., 2002). Assim, no melhoramento genético de café vem sendo visada a obtenção de cultivares com resistência durável. Os genes de resistência à ferrugem conhecidos são S_H1 a S_H9 , contrastando com os correspondentes genes de virulência $v1$ a $v9$ de *H. vastatrix* (RODRIGUES-JUNIOR et al., 1975; BETTENCOURT, 1981; BETTENCOURT e RODRIGUES-JUNIOR, 1988). S_H1 , S_H2 , S_H4 e S_H5 foram identificados em acessos de cafeeiros arábicos puros originados da Etiópia. O gene S_H3 , supostamente, é derivado de *C. liberica* e S_H6 , S_H7 , S_H8 e S_H9 originados de *C. canephora*, um dos parentais do “Híbrido de Timor” e outros híbridos interespecíficos como o “Icatu” (NORONHA-WAGNER e BETTENCOURT, 1967; BETTENCOURT e NORONHA-WAGNER, 1971; RODRIGUES-JUNIOR et al., 1975; BETTENCOURT e RODRIGUES-JUNIOR, 1988). A existência de outros genes em derivados de “Híbrido de Timor” e em outros híbridos interespecíficos tem sido confirmada devido à quebra de resistência por novas raças de *H. vastatrix* em alguns desses cafeeiros (RODRIGUES-JUNIOR et al., 2000). Os fatores S_H promovem resistência completa quando estão em condição homozigótica e são específicos para raças, entretanto, quando alguns S_H são quebrados pode ocorrer a resistência incompleta ou parcial de cafeeiros (ESKES, 1989). Além dos genes S_H conhecidos, também foi observada a resistência incompleta devido à presença de outros genes em plantas do “Icatu” e “Híbrido de Timor” (ESKES et al., 1990).

O Programa de Melhoramento Genético de Café do Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR) vem desenvolvendo cultivares de café adaptadas às condições ambientais do estado do Paraná, desde 1972. Ao longo deste período

obtiveram-se 13 cultivares (IAPAR 59, IPR 97, IPR 98, IPR 99, IPR 100, IPR 101, IPR 102, IPR 103, IPR 104, IPR 105, IPR 106, IPR 107 e IPR 108), registradas no Ministério da Agricultura, sendo quatro delas (IAPAR 59, IPR 98, IPR 99 e IPR 103) lançadas e disponibilizadas para os cafeicultores. Esses cafeeiros foram derivados de diferentes fontes de resistência como o “Icatu”, “Híbrido de Timor CIFC 832/2” e “Catuaí S_H2, S_H3”.

O objetivo deste trabalho foi avaliar a resistência completa e incompleta às raças de ferrugem presentes no Paraná em doze novas cultivares de café desenvolvidas pelo Instituto Agrônômico do Paraná.

3.4 Material e Métodos

O experimento, em campo, foi instalado em março de 2003 na Estação Experimental do Instituto Agrônômico do Paraná (23° 22' S, 51° 10' W) em Londrina, Paraná, Brasil. A altitude local é de 585 m e as médias anuais de precipitação, temperatura e umidade relativa do ar são, respectivamente, 1610 mm, 20,8 °C e 71 %. Neste experimento não foi realizado controle químico para ferrugem no ano de 2007.

A avaliação da resistência foi para a população local de raças de ferrugem presentes no IAPAR em condições de alta infecção em campo e foi realizada em agosto de 2007 (54 meses após o plantio).

As cultivares avaliadas foram: IPR 97, IPR 98, IPR 99, IPR 100, IPR 101, IPR 102, IPR 103, IPR 104, IPR 105, IPR 106, IPR 107 e IPR 108. Como padrão de resistência e suscetibilidade foram avaliadas, respectivamente, as cultivares IAPAR 59 e Catuaí Vermelho IAC 81. O delineamento experimental foi em blocos ao acaso com nove repetições e parcelas de sete plantas.

Para avaliar a severidade da ferrugem foi utilizada uma escala de notas variando de 1 a 5 (Tabela 1). As notas foram atribuídas para plantas individuais. A avaliação foi desde o terço inferior até o terço superior do cafeeiro. Plantas com notas 1 e 2 foram consideradas com resistência completa. Plantas com esporulação da ferrugem foram aquelas com notas 3, 4 e 5. Cultivares com nota média de severidade da ferrugem estatisticamente igual à cultivar IAPAR 59 e com

freqüência de plantas com notas 1 ou 2 entre 90 a 100 % foram consideradas com resistência completa. Cultivares com resistência incompleta foram aquelas com freqüência de plantas com nota 3 (poucas lesões com esporulação da ferrugem) maior que 50 %. Cultivares suscetíveis foram aquelas com nota média de severidade da ferrugem estatisticamente igual à cultivar Catuaí Vermelho IAC-81 e com freqüência de plantas com notas 4 ou 5 maior que 50 %.

A avaliação da produtividade foi com base na colheita manual realizada em junho de 2007. Os dados da produção coletados foram por parcela e convertidos em sacas beneficiadas de 60 kg/ hectare, com base no espaçamento utilizado.

Para a variável severidade da ferrugem foi usada a transformação log x. Foi utilizado o programa estatístico Genes (CRUZ, 2001) para análise de variância da severidade da ferrugem e produção. Para comparar as médias foi realizado o teste Scott-Knott a 1% de significância.

Tabela 1 – Escala de notas usadas na avaliação da resistência à população local de raças de ferrugem no IAPAR (Londrina, PR, Brasil).

Notas	Descrição
1	Plantas sem lesões cloróticas nas folhas.
2	Número de lesões por folha, em média, entre 1 e 4, sem esporulação.
3	Número de lesões com esporos por folha entre 1 e 10 e freqüência de folhas com esporulação entre 1 % a 10 %.
4	Número de lesões com esporos por folha entre 11 e 20 e freqüência de folhas com esporulação entre 11 % a 35 %.
5	Mais de 20 lesões com esporos por folha e mais de 35 % das folhas com esporulação.

3.5 Resultados e Discussão

Os coeficientes de variação experimental para as variáveis produção e severidade da ferrugem foram, respectivamente, 32,83 % e 34,91 %, indicando boa precisão experimental.

A cultivar IPR 100 foi estatisticamente igual ao padrão suscetível ‘Catuaí Vermelho IAC 81’ (Tabela 2). ‘IPR 100’ é resistente à raça II (gene *v5*) de *H. vastatrix*, enquanto que cultivares do germoplasma Catuaí, portadores somente do S_{H5} , são suscetíveis (CAPUCHO et al., 2007). Assim, algum gene de resistência do ‘IPR 100’, diferente do S_{H5} da ‘Catuaí Vermelho IAC 81’, foi quebrado completamente (sem resistência residual) por alguma raça, diferente da II.

Tabela 2 – Notas médias de severidade da ferrugem e produção (sacas beneficiadas de 60 kg/ hectare) em cultivares de café avaliadas em condições de campo para a população local de raças de ferrugem presentes no IAPAR.

Cultivar (Descrição) ⁽¹⁾	Ferrugem ⁽²⁾	Produção ⁽²⁾
Catuaí Vermelho IAC 81 (‘Caturra’ x ‘Mundo Novo’)	4,233 a	39,36 a
IPR 100 (‘Catuaí S_{H2} , S_{H3} ’)	3,677 a	37,62 a
IPR 106 (‘Icatu’)	3,413 b	20,09 b
IPR 103 (‘Catuaí’ x ‘Icatu’)	3,096 b	40,66 a
IPR 108 (‘IAPAR 59’ x ‘Catucaí’)	3,037 b	33,80 a
IPR 102 (‘Catuaí’ x ‘Icatu’)	2,032 c	45,58 a
IPR 107 (‘IAPAR 59’ x ‘Mundo Novo IAC 376-4’)	1,810 c	34,55 a
IPR 99 (V. Sarchi x H. Timor)	1,778 c	27,40 b
IPR 101 (‘Catuaí S_{H2} , S_{H3} ’)	1,540 c	27,45 b
IPR 97 (V. Sarchi x H. Timor)	1,318 d	21,81 b
IPR 104 (V. Sarchi x H. Timor)	1,079 d	26,33 b
IPR 98 (V. Sarchi x H. Timor)	1,037 d	21,15 b
IPR 105 (‘Catuaí S_{H2} , S_{H3} ’)	1,016 d	27,78 b
IAPAR 59 (V. Sarchi x H. Timor)	1,016 d	30,35 b

⁽¹⁾ V. Sarchi = ‘Villa Sarchi CIFC 971/10’; H. Timor = “Híbrido de Timor CIFC 832/2”.

⁽²⁾ Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem estatisticamente entre si pelo teste Scott-Knott a 1%. Para a variável severidade da ferrugem os dados foram transformados em log x.

As cultivares IPR 106, IPR 103 e IPR 108 apresentaram severidade média da ferrugem (SF) estatisticamente menor que o padrão suscetível (Tabela 2). A maioria das plantas da ‘IPR 103’ (69,85 %) e da ‘IPR 108’ (67,74 %) foram de nota três (poucas lesões com esporulação), indicando que existe resistência incompleta nessas duas cultivares (Tabela 3).

Tabela 3 – Frequência de plantas (%) segundo a escala de notas (1 a 5) de severidade da ferrugem (SF) em cultivares de café (*Coffea arabica* L.) avaliadas em condições de campo para a população local de raças presentes no IAPAR.

Cultivar ⁽¹⁾	Frequência de plantas (%) segundo a SF ⁽²⁾				
	1	2	3	4	5
Catuaí Vermelho IAC 81 ⁽³⁾	---	---	---	79,66	20,34
IPR 100	---	4,84	27,42	62,90	4,84
IPR 106	6,35	1,59	36,51	55,55	---
IPR 103	4,76	3,17	69,85	22,22	---
IPR 108	3,23	9,68	67,74	19,35	---
IPR 102	50,79	15,87	19,05	7,94	6,35
IPR 107	52,38	19,05	23,81	4,76	---
IPR 99	58,73	12,70	20,63	7,94	---
IPR 101	76,19	4,76	9,52	7,94	1,59
IPR 97	82,25	9,68	3,23	3,23	1,61
IPR 104	93,65	4,76	1,59	---	---
IPR 98	96,61	3,39	---	---	---
IPR 105	98,41	1,59	---	---	---
IAPAR 59	98,41	1,59	---	---	---

⁽¹⁾ Tratamentos ordenados decrescentemente com base na nota média de severidade da ferrugem. ⁽²⁾ Três traços (---) indicam ausência de plantas com a respectiva nota de severidade da ferrugem. ⁽³⁾ padrão suscetível.

Esta resistência encontrada em ‘IPR 103’ (“Catuaí” x “Icatu”), provavelmente, é proveniente do “Icatu”, pois diferentes níveis de resistência parcial têm sido freqüentemente detectados em plantas do “Icatu” (MONACO e CARVALHO, 1975; ESKES e CARVALHO, 1983; ESKES e COSTA, 1983; ESKES et al., 1990). Condições ambientais favoráveis para o desenvolvimento da ferrugem, alta pressão de inóculo e alta produção dos cafeeiros podem ser as explicações

para a ocorrência de 22,22 % e 19,35 % de plantas com nota 4 (Tabela 3), respectivamente, nas cultivares IPR 103 e IPR 108. Por outro lado, pode ter ocorrido condições ambientais desfavoráveis para a ferrugem, falta de inóculo e baixa produção em algumas plantas com resistência completa (notas 1 e 2) nas cultivares IPR 100, IPR 103, IPR 106 e IPR 108 (Tabela 3).

Em 'IPR 108' ('IAPAR 59' x "Catucaí") pode ter ocorrido resistência residual dos genes provenientes da 'IAPAR 59' ou do "Híbrido de Timor CIFC 832-2" quebrados pela população local de raças. Plantas do "Híbrido de Timor" possuem pelo menos os genes maiores S_{H5} a S_{H9} (BETTENCOURT et al., 1992). Além destes já identificados, é provável que outros genes estejam presentes nestes genótipos (VÁRZEA e MARQUES, 2005). A resistência completa do 'IPR 108' foi quebrada, pois esta, provavelmente, não possui um ou mais S_H do 'IAPAR 59'. A resistência parcial em 'IPR 108' também pode ter ocorrido devido a ação de genes menores provenientes do "Icatu".

Essa resistência incompleta ou residual, provavelmente, ocorreu devido ao não "anulamento" completo dos genes S_H por *H. vastatrix*, e não devido a genes menores (VÁRZEA et al., 2002). Genes menores controlando características quantitativas podem ser genes maiores que foram quebrados por algum patógeno (NELSON, 1978).

Eskes (1989) relatou que o S_{H2} não promove resistência residual, pois ocorreu alta suscetibilidade quando cafeeiros com este gene foram inoculados com raças portadoras do v2. Porém, cafeeiros com os fatores S_{H1} e S_{H4} apresentaram menos doença no campo do que cafeeiros sem esses fatores quando foram expostos com raças portadoras dos genes v1 e v4. Variedades com o S_{H3} vêm apresentando diferentes níveis deste tipo de resistência conforme Eskes (1989). É possível que a resistência incompleta se mantenha ao longo do tempo em 'IPR 108' do mesmo modo que vem ocorrendo para algumas plantas da cultivar Colômbia ("Catimor") com a resistência quebrada (ALVARADO, 2005), pois ambas são derivadas do "Híbrido de Timor". Entretanto, após a quebra de resistência em 'Cauvery' ("Catimor") foi observada resistência parcial somente no início. Em pouco tempo, a suscetibilidade dos cafeeiros e a agressividade da ferrugem aumentaram. Atualmente, esta cultivar é suscetível em condições de campo na Índia (VÁRZEA e MARQUES, 2005). Estudos de herança em plantas do "Icatu" e em derivados do "Híbrido de Timor" com diferentes níveis de resistência incompleta indicaram a

presença de um ou poucos genes parcialmente dominantes, o que não levaria a uma resistência durável. Esses fatores genéticos quando em condição homozigótica ou associados, conferem uma resistência quase completa (ESKES et al., 1990). Dependendo da agressividade da raça, é possível observar cafeeiros com diferentes reações como: resistência, moderada resistência, moderada suscetibilidade e suscetibilidade (BETTENCOURT, 1981). É provável que a resistência parcial observada nas cultivares IPR 103 e IPR 108 seja durável, dependendo das raças presentes no local. No IAPAR (Londrina, Paraná), 'IPR 103' vem apresentando este mesmo nível de resistência parcial durante mais de 10 anos, enquanto que 'IPR 108' por seis anos, aproximadamente (SERA T. 2008, comunicação pessoal). Essas progênes deverão ser melhores estudadas para verificar os níveis precisos de resistência incompleta para raças específicas de ferrugem.

O nível de resistência residual dos genes maiores quebrados depende do genótipo das raças, pois algumas apresentam virulência intermediária. Esta pode ser explicada pela dominância incompleta dos alelos de avirulência, por alelos múltiplos para virulência ou por interações interalélicas. A presença desta virulência intermediária, também, sugere que a resistência monogênica incompleta dos genes S_H não seja durável (ESKES, 2005).

A resistência parcial em 'IPR 108', também, poderia ser explicada pelo início tardio da infecção pela ferrugem, pois é possível que a população predominante seja da raça II (v5), sendo esta a que ocorre com mais frequência no Brasil conforme Zambolim et al. (2005). Entretanto, no IAPAR, cafeeiros com os genes S_{H1} , S_{H2} , S_{H4} , S_{H5} e S_{H8} vêm apresentando suscetibilidade à ferrugem (SERA et al., 2007a), indicando que várias raças estão presentes no local. Além disso, foi observada suscetibilidade na 'IPR 100', a qual é resistente à raça II conforme Capucho et al. (2007).

O aumento da severidade de *H. vastatrix* foi correlacionada positivamente com a produção de cafeeiros com resistência incompleta (ESKES, 1983). Foi observada correlação positiva e significativa entre a severidade da ferrugem e a produtividade em progênes do "Catimor" com resistência parcial (COSTA et al., 2007). Cafeeiros arábicos como "Rume Sudan" e "Tafarikella", com baixa produtividade, e classificadas no CIFC como plantas do grupo suscetível E, vêm apresentando um alto nível de resistência parcial em campo por muitos anos (VÁRZEA et al., 2000; VÁRZEA et al., 2002). Portanto, 'IPR 103' e 'IPR 108'

apresentaram um bom nível desta resistência, pois mesmo com produtividade alta, estatisticamente superior ao do padrão resistente 'IAPAR 59', apresentaram nota média da SF estatisticamente menor que o padrão suscetível (Tabela 2). 'IPR 106' ("Icatu") apesar de estatisticamente igual às cultivares IPR 103 e IPR 108, provavelmente, não apresenta resistência parcial, pois a maioria das plantas foram de nota quatro (55,55 %), do mesmo modo que foi observado para as cultivares Catuaí Vermelho IAC 81 (79,66 %) e IPR 100 (62,90 %) e, além disso, apresentou baixa produtividade. Se a produção fosse maior é provável que mais plantas com notas quatro e cinco poderiam ser observadas em 'IPR 106'. Entretanto, é possível que 'IPR 100' e 'IPR 106' tenham um baixo nível de resistência parcial, pois ambas apresentaram poucas plantas com notas cinco em comparação com o padrão suscetível.

As cultivares IPR 99, IPR 101, IPR 102 e IPR 107 apresentaram SF estatisticamente menor do que as cultivares IPR 106, IPR 103 e IPR 108 (Tabela 2). Foram observadas cerca de 75 % das plantas com resistência completa (notas um e dois) (Tabela 3) nas cultivares IPR 99, IPR 101, IPR 102 e IPR 107, portanto, é provável que estejam segregando para apenas um gene maior em condição heterozigótica. 'IPR 99' é proveniente do mesmo cruzamento que originou a 'IAPAR 59', a qual possui pelo menos quatro genes S_H (S_{H6} , S_{H7} , S_{H8} , S_{H9}) do "Híbrido de Timor CIFC 832-2" e vem apresentando resistência completa durável por mais de 30 anos. Além disso, 'IAPAR 59' é um dos parentais da 'IPR 107'. Assim, tanto 'IPR 99' quanto 'IPR 107' podem apresentar os mesmos genes S_H da 'IAPAR 59', entretanto, a maioria de suas progênes devem estar segregando para apenas um gene maior. Isto indica que só resta mais um S_H para que a população local de raças presentes no IAPAR quebrem a resistência da 'IAPAR 59' e de outras cultivares derivadas do "Híbrido de Timor". Uma outra hipótese é que 'IPR 99' e 'IPR 107' apresentem menos genes de resistência do que a 'IAPAR 59' e esses estão em condição heterozigótica, sendo assim menor a probabilidade de quebra na 'IAPAR 59', se esta hipótese for verdadeira. Conforme Zambolim et al. (2005), as raças fisiológicas de *H. vastatrix* que já foram identificadas no Paraná, desde 1970, são: I (v2, v5), II (v5), III (v1, v5), XIII (v5, v?), XIV (v2, v3, v4, v5), XVII (v1, v2, v5), XXI (v?) e XXX (v5, v8). Sera et al. (2007a) relataram que no IAPAR, em Londrina, vários cafeeiros diferenciadores com os genes S_{H1} , S_{H2} , S_{H4} , S_{H5} e S_{H8} apresentaram suscetibilidade, enquanto que dois diferenciadores, um portador do S_{H5} , S_{H6} e S_{H9} e

outro portador do S_{H5} , S_{H6} , S_{H7} e S_{H9} apresentaram resistência. Isto indica que um ou mais dentre os genes S_{H6} , S_{H7} e S_{H9} ainda não foram quebrados pela população local de raças, além de mais um gene presente no “Híbrido de Timor CIFC 832-2”. Assim, pelo menos dois S_H ainda não foram quebrados. No mundo já foram identificadas 45 raças, sendo que algumas apresentam grande espectro de virulência como as raças XXXIX (v2, 4, 5, 6, 7, 8, 9) e XXIX (v5, 6, 7, 8, 9). Entretanto, mesmo em cafeeiros derivados do “Híbrido de Timor” expostos com essas raças vem sendo observada resistência, indicando que existam outros genes maiores que promovem resistência completa segundo Rodrigues-Junior et al. (2000).

Nas várias gerações de autofecundação para a obtenção das cultivares IPR 99 e IPR 107 ocorreram segregações para os genes S_H e, assim, a probabilidade de identificar plantas com mais de quatro S_H da ‘IAPAR 59’ é reduzida. Entretanto, é possível identificar progênies com os mesmos genes, desde que realizada uma seleção adequada das plantas com mais genes de resistência. Ito et al. (2005) e Sera et al. (2007c) identificaram, respectivamente, algumas progênies da ‘IPR 99’ e da ‘IPR 107’ com alta frequência de plantas resistentes, próximas ao da cultivar IAPAR 59’.

Na ‘IPR 102’ a frequência de plantas com resistência completa próxima de 75 % pode ser explicada pela existência de algum gene maior que está promovendo resistência completa nesta cultivar. Como “Catuaí” é suscetível, o(s) gene(s) deve(m) ser proveniente(s) do “Icatu”, pois ‘IPR 102’ é derivada do cruzamento entre cafeeiros do “Catuaí” e do “Icatu”. Estudos desenvolvidos no CIFC com plantas do “Icatu” detectaram cafeeiros do grupo fisiológico A, resistente a todas as raças conhecidas (BETTENCOURT e CARVALHO, 1968; MARQUES e BETTENCOURT, 1979). A resistência completa observada em ‘IPR 102’ também pode ter ocorrido devido a um ou poucos genes menores parcialmente dominantes provenientes do “Icatu”. Esses fatores genéticos quando em condição homozigótica ou associados, conferem uma resistência quase completa (ESKES et al., 1990).

Como ‘IPR 101’ é do germoplasma Catuaí S_{H2} , S_{H3} o gene maior que está segregando, provavelmente, é o S_{H3} , que vem promovendo completa resistência no IAPAR. Sera et al. (2007a) relataram que as raças presentes no IAPAR infectaram cafeeiros com o S_{H2} e não infectaram cafeeiros com o S_{H3} .

Se realizado a seleção de plantas com o(s) gene(s) de resistência em condição homozigótica nas cultivares IPR 99, IPR 101, IPR 102 e IPR 107, essas

ficarão com cerca de 100 % de cafeeiros com resistência completa e, portanto, o grau de resistência será semelhante ao das cultivares IAPAR 59, IPR 97, IPR 98, IPR 104 e IPR 105.

Considerando somente as plantas com esporulação da ferrugem (notas três, quatro e cinco) nas cultivares IPR 99, IPR 101, IPR 102 e IPR 107, respectivamente, 72,22 %, 50,00 %, 57,14 % e 83,33 % (Tabela 3) dessas plantas são de nota três (poucas lesões), indicando que nestas cultivares também existe resistência incompleta nas plantas com a resistência quebrada. As cultivares IPR 102 e IPR 107 apresentaram boa produção (Tabela 2), estatisticamente igual ao da 'Catuaí Vermelho IAC 81', indicando que apresentam um bom nível de resistência parcial. As prováveis explicações desta resistência nas cultivares IPR 99, IPR 102 e IPR 107 já foram discutidas anteriormente para IPR 103 e IPR 108. As mesmas discussões atribuídas para a 'IPR 108' ("Sarchimor" x "Catucaí") poderiam ser aplicadas para as cultivares IPR 99 ("Sarchimor") e IPR 107 ("Sarchimor" x "Mundo Novo"), pois ambas foram derivadas do cruzamento com cafeeiros do "Sarchimor". Para a 'IPR 102' seriam as mesmas hipóteses da 'IPR 103', pois ambas foram originadas do cruzamento entre "Catuaí" e "Icatu". Se a resistência completa das cultivares IPR 99, IPR 102 e IPR 107 for quebrada, provavelmente, ocorrerá a resistência parcial nessas plantas. Isto pode não ocorrer para a 'IPR 101', pois esta é do germoplasma Catuaí S_H2 , S_H3 e, provavelmente, as plantas com esporulação possuem somente o S_H2 , o qual não promove resistência residual conforme Eskes (1989). Entretanto, outros genes podem ter promovido a resistência incompleta nesta cultivar. A explicação para a ocorrência de plantas com notas 4 e algumas com notas 5 nas cultivares IPR 99, IPR 101, IPR 102 e IPR 107 pode ser a mesma relatada anteriormente para as cultivares IPR 100, IPR 103, IPR 106 e IPR 108.

Somente as cultivares IPR 97, IPR 98, IPR 104 e IPR 105 apresentaram resistência completa, pois a SF foi estatisticamente igual ao da 'IAPAR 59' (Tabela 2) e as freqüências de plantas com notas 1 ou 2 variaram de 91 a 100 % (Tabela 3). O padrão resistente IAPAR 59 e as cultivares IPR 98 e IPR 105 apresentaram 100 % das plantas com resistência completa. É possível que as cultivares IPR 97, IPR 98 e IPR 104 apresentem os mesmos genes de resistência da 'IAPAR 59', pois todas são derivadas da mesma progênie F_3 do cruzamento 'Villa Sarchi CIFC 971/10' x "Híbrido de Timor CIFC 832/2". A freqüência de plantas com esporulação de 8,07 % e 1,59 %, respectivamente, para IPR 97 e IPR 104 pode ser

explicada, provavelmente, pelo fato de que algumas plantas dessas cultivares podem não ser do grupo fisiológico A (resistente a todas as raças). Isto também é observado na 'IAPAR 59', a qual possui cerca de 94 % de plantas do grupo A e 6 % em outros grupos conforme Cardoso et al. (1996).

A 'IPR 105' é derivada do "Catuaí S_H2, S_H3" e, provavelmente, a resistência completa foi promovida pelo gene S_H3, pois no IAPAR vêm sendo observados cafeeiros resistentes com este gene (ITO et al., 2005; SERA et al., 2007a) e cafeeiros suscetíveis com o S_H2 (SERA et al., 2007a). Progenies de café F₃ derivadas do cruzamento entre plantas do "Catuaí" e genótipos portadores do S_H3 vêm apresentando alta produtividade e resistência à ferrugem (CONCEIÇÃO et al., 2005).

O S_H3 e certos genes de *C. canephora* como os dos germoplasmas Híbrido de Timor e Icatu podem ser mais eficientes para promover resistência durável, especialmente quando usados em combinação (SRINIVASAN & NARASIMHASWAMY, 1975; BERGAMIN-FILHO, 1976; RAMACHANDRAN & SRINIVASAN, 1979; ESKES, 1989). Cruzamentos da 'IPR 105' com derivados do "Híbrido de Timor" como 'IAPAR 59', 'IPR 97', 'IPR 98' e 'IPR 104' e com derivados do "Icatu" como 'IPR 102' e 'IPR 103' podem promover resistência durável devido à combinação de vários genes maiores e menores de resistência completa ou incompleta.

As cultivares avaliadas neste trabalho serão enviadas ao Centro de Investigação das Ferrugens do Cafeeiro (CIFC), em Portugal, para serem inoculadas com as raças de ferrugem portadoras dos genes de virulência v1 até v9 e, assim, determinar com precisão quais genes S_H essas cultivares possuem.

3.6 Conclusões

As cultivares IAPAR 59, IPR 97, IPR 98, IPR 104 e IPR 105 apresentaram resistência completa à população local de raças de ferrugem presentes no IAPAR.

As cultivares IPR 99, IPR 101, IPR 102 e IPR 107 apresentaram cerca de 75 % das plantas com resistência completa e, provavelmente, a

segregação deve estar ocorrendo devido um gene maior em condição heterozigótica.

As cultivares IPR 100 e IPR 106 apresentaram suscetibilidade similar ao da cultivar Catuaí Vermelho IAC 81.

Foi observada resistência parcial ou incompleta nas cultivares IPR 103 e IPR 108 e, provavelmente, também nas plantas com poucas lesões esporuladas da ferrugem das cultivares IPR 99, IPR 101, IPR 102 e IPR 107.

4 ARTIGO B: SELEÇÃO PARA A RESISTÊNCIA DURÁVEL À FERRUGEM EM PROGÊNIES DAS CULTIVARES DE CAFÉ IPR 99 E IPR 107

4.1 Resumo

Quase todas as plantas das cultivares de café IPR 99 (“Sarchimor”) e IPR 107 (‘IAPAR 59’ x ‘Mundo Novo IAC 376-4’) apresentavam no passado resistência à ferrugem (*Hemileia vastatrix*). Entretanto, recentemente, muitas plantas dessas cultivares estão suscetíveis devido ao surgimento de novas raças. Os objetivos deste estudo foram: a) identificar progênies dessas duas cultivares com resistência mais durável à ferrugem; b) identificar progênies com resistência incompleta; c) verificar a eficiência dos cruzamentos testes na seleção dessas plantas. A avaliação da resistência em campo foi realizada em cafeeiros adultos expostos com a população local de raças no IAPAR. Foram avaliados 23 cruzamentos testes com progênies F₃ de ‘IPR 107’ e 5 com progênies F₄ de ‘IPR 99’. Além disso, foram avaliadas 11 progênies F₄ de ‘IPR 107’ e 5 progênies F₅ de ‘IPR 99’, provenientes de autofecundação. Várias progênies das cultivares IPR 99 e 107 apresentaram alta frequência de plantas com resistência completa e são portadoras de mais genes de resistência não quebrados pelas raças de ferrugem do que outras progênies dessas cultivares. Progênies das cultivares IPR 99 e IPR 107 com a resistência quebrada apresentaram resistência incompleta à população local de raças. O uso da autofecundação para identificar cafeeiros com mais genes de resistência não quebrados é mais viável que os cruzamentos testes, pois é menos onerosa. Cruzamentos testes são restritos para poucas situações, podendo ser utilizados para cafeeiros com muitos genes maiores de resistência em condição heterozigótica e inoculados com raças portadoras de poucos fatores de virulência.

Palavras-chave: *Coffea*. Cruzamento teste. Genes S_H. *Hemileia vastatrix*. Resistência incompleta.

4.2 Abstract

Almost all the plants of the coffee cultivars IPR 99 (“Sarchimor”) and IPR 107 (‘IAPAR 59’ x ‘Mundo Novo IAC 376-4’) had in the past resistance to rust (*Hemileia vastatrix*). However, recently, many plants of these cultivars are susceptible due to new rust races. The aims of this research were: a) to identify coffee (*Coffea arabica* L.) progenies of these two cultivars with more durable resistance to rust; b) to identify progenies with incomplete resistance; c) to verify the efficiency of test-crosses in the selection of these plants. The field resistance evaluation was carried out on adult coffee plants with the local leaf rust population at IAPAR. Twenty three test-crosses with F₃ progenies of ‘IPR 107’ and five with F₄ progenies of ‘IPR 99’ were evaluated. Moreover, eleven F₄ progenies of ‘IPR 107’ and five F₅ progenies of ‘IPR 99’ were evaluated, derived from self pollination. Several progenies of the cultivars IPR 99 and 107 presented high frequency of resistant plants and are carrying more resistance genes not defeated by the rust races than other progenies of these cultivars. Progenies of ‘IPR 99’ and ‘IPR 107’ with defeated resistance presented incomplete resistance to local population of races. The use of self-pollination to identify coffees with more resistance genes not defeated is more viable than test-crosses because it is easier. Test-crosses are restricted for few situations, and can be used for coffees with many major resistance genes on heterozygous condition and inoculated with races carrying few virulence factors.

Keywords: *Coffea*. *Hemileia vastatrix*. Incomplete resistance. S_H genes. Test-cross.

4.3 Introdução

A ferrugem alaranjada, causada pelo fungo biotrófico *Hemileia vastatrix* Berk. et Br., ainda é uma das principais doenças da cultura do café, pois causam grandes perdas na produção e qualidade. Além disso, a maioria das cultivares são suscetíveis e, devido ao surgimento de novas raças fisiológicas de ferrugem, as resistentes estão se tornando suscetíveis.

O controle químico é muito importante no Brasil, pois mais de 90 % das cultivares usadas são as dos germoplasmas Catuaí, Mundo Novo e Bourbon, todas suscetíveis à maioria das raças (MATIELLO e ALMEIDA, 2006). Entretanto, o método mais econômico, eficiente e ecologicamente correto de controle da ferrugem é o uso de cultivares resistentes.

A quebra de resistência provocada pelo surgimento de novas raças vem dificultando a obtenção de cultivares com resistência completa e durável. Os fatores de resistência dos cafeeiros conhecidos são S_H1 a S_H9 (RODRIGUES-JUNIOR et al., 1975; BETTENCOURT, 1981), contrastando com os respectivos fatores de virulência $v1$ a $v9$, os quais estão presentes, sozinhos ou em combinações, em 45 raças identificadas no mundo (VÁRZEA e MARQUES, 2005). Os genes S_H1 , S_H2 , S_H4 e S_H5 conferem resistência para algumas raças e foram encontrados em acessos de café arábica originados da Etiópia, enquanto que o gene S_H3 , supostamente, é derivado de *C. liberica* (NORONHA-WAGNER e BETTENCOURT, 1967; BETTENCOURT e NORONHA-WAGNER, 1971; BETTENCOURT e RODRIGUES-JUNIOR, 1988). Genes S_H6 , S_H7 , S_H8 e S_H9 são do *C. canephora*, um dos parentais do “Híbrido de Timor” (“HDT”) e outros híbridos interespecíficos como o “Icatu”. Várias plantas do “HDT” possuem pelo menos os genes S_H5 a S_H9 (BETTENCOURT et al., 1992). Tem sido confirmada a existência de outros genes maiores em derivados do “HDT” devido a quebra da resistência por novas raças em alguns desses genótipos (RODRIGUES-JUNIOR et al., 2000). Cafeeiros dos germoplasmas Híbrido de Timor e Icatu foram originados do cruzamento entre *C. arabica* e *C. canephora* e representam as principais fontes de resistência utilizadas em programas de melhoramento. A partir de algumas plantas do “Híbrido de Timor” como HDT CIFC 832/1, HDT CIFC 832/2 e HDT CIFC 1343, surgiram as principais cultivares resistentes à ferrugem do mundo.

Os genes S_H promovem resistência completa e são específicos para raças, entretanto, quando alguns genes S_H são quebrados, pode ocorrer a resistência incompleta ou parcial (resistência residual) de cafeeiros (ESKES, 1989). Genes menores em plantas do “Icatu” e “Híbrido de Timor” podem promover a resistência incompleta (ESKES et al., 1990). Diferentes níveis de resistência parcial têm sido freqüentemente detectados no “Icatu” (MONACO e CARVALHO, 1975; ESKES e CARVALHO, 1983; ESKES e COSTA, 1983; ESKES et al., 1990) e em derivados do “HDT” como a cultivar Colômbia (“Catimor”) (ALVARADO, 2005). A

resistência incompleta é importante, pois diminui o risco do surgimento de novas raças, pois a pressão de seleção é menor do que na resistência completa, entretanto, existem dúvidas sobre sua real durabilidade.

A 'IAPAR 59' foi originada da hibridação entre "Villa Sarchi CIFC 971/10" e "HDT CIFC 832/2" e possui pelo menos cinco fatores S_H . A 'IPR 107' foi originada do cruzamento entre 'IAPAR 59' (resistente) e 'Mundo Novo IAC 376-4' (suscetível) e a 'IPR 99' é derivada do mesmo cruzamento que originou a 'IAPAR 59'. Nas várias gerações de autofecundação para a obtenção das cultivares IPR 99 e IPR 107 ocorreram segregações para os genes de resistência e, atualmente, muitas progênies apresentam alta frequência de plantas suscetíveis. É provável que algumas progênies das cultivares IPR 99 e IPR 107 apresentem os mesmos fatores de resistência da 'IAPAR 59' ou do "Híbrido de Timor CIFC 832/2", os quais vêm se mantendo resistentes por muitos anos.

O desenvolvimento de cultivares com muitos genes S_H e com outros genes maiores ou menores é de extrema importância para obter uma resistência durável. A porcentagem de plantas com esporulação da ferrugem (PEF) tem sido um parâmetro utilizado no Programa de Melhoramento Genético de Café do IAPAR para identificar cafeeiros com mais genes S_H não quebrados pela ferrugem (SERA et al., 2005, 2007b). Apesar da baixa precisão, este método é muito útil e simples para realizar a seleção de cafeeiros agronomicamente superiores e com resistência durável à ferrugem baseada em milhares de plantas ao invés de poucas plantas avaliadas de forma precisa, fugindo da dependência da sorte em uma população não representativa. No IAPAR, a frequência de PEF tem sido analisada em progênies derivadas da autofecundação e de cruzamentos testes (genótipo a ser testado x genótipo suscetível).

Os objetivos deste estudo foram: a) identificar progênies das cultivares IPR 99 e IPR 107 com mais genes de resistência não quebrados pela ferrugem; b) identificar progênies com resistência incompleta; c) verificar se cruzamentos testes são eficientes na identificação de plantas carregando maior número de genes de resistência.

4.4 Material e Métodos

Quatro ensaios de campo, denominados E1, E2, E3 e E4, respectivamente, foram instalados em março de 2001, março de 1999, março de 2003 e setembro de 2003, no espaçamento 2,5 m x 0,5 m na Estação Experimental do IAPAR (23° 22' S, 51° 10' W) em Londrina. Neste local, a altitude é 585 m, a precipitação média anual é 1610 mm, a temperatura média anual 20,8 °C e a umidade relativa do ar é de 71 %. Nos anos de avaliação da resistência dos cafeeiros não foi realizado o controle químico para ferrugem.

A avaliação da resistência em condições de campo foi realizada para a população local de raças de ferrugem presentes na Estação Experimental do IAPAR. No ensaio E1 foi realizada uma avaliação em julho de 2004 (40 meses após o plantio) e outra em julho de 2007 (76 meses após o plantio). No ensaio E2 a avaliação foi em julho de 2004 (64 meses após o plantio). A avaliação no ensaio E3 foi uma em julho de 2005 (28 meses após o plantio) e outra em agosto de 2007 (54 meses após o plantio). A avaliação no ensaio E4 foi em julho de 2007 (47 meses após o plantio).

No ensaio E1, duas progênies F₄ da 'IPR 99' (C1P2 e C3P2) foram avaliadas por meio de cruzamentos testes, os quais consistem em cruzar um genótipo a ser testado com um genótipo suscetível. Os cruzamentos testes realizados foram: dois da hibridação ("*Coffea arabica* da Etiópia portador do gene S_H1" x "Catuaí") x progênie F₄ da 'IPR 99-C1P2' e três de ("*C. arabica* da Etiópia portador do gene S_H1" x "Catuaí") x progênie F₄ da 'IPR 99-C3P2'. O parental suscetível usado nesses cruzamentos testes foi o "*C. arabica* da Etiópia portador do gene S_H1" x "Catuaí". Os híbridos usados como padrões suscetíveis foram: ("*C. arabica* da Etiópia portador do gene S_H1" x "Catuaí") x 'Icatu IAC 3282' e 'Catuaí Vermelho IAC 81' x "Catuaí Semperflorens", os quais foram derivados do cruzamento entre dois parentais suscetíveis.

No E2 foram avaliadas cinco progênies F₅ da 'IPR 99' (C1P2, C1P3, C3P1, C3P2 e C6P2). As cultivares IAPAR 59 ("Sarchimor") e Catuaí Vermelho IAC 81 foram usadas como padrões de resistência completa e suscetibilidade, respectivamente.

No E3 foram avaliados 23 cruzamentos testes (suscetível x progênies F₃ de 'IPR 107'), sendo nove com a 'Catuaí Vermelho IAC-81' e 14 com a 'Mundo Novo IAC 376-4', ambas suscetíveis à ferrugem. Como padrão de resistência completa foi usada a 'IAPAR 59' e como padrões suscetíveis foram usadas as cultivares Bourbon Vermelho, Catuaí Vermelho IAC 81 e Icatu IAC 3282.

No E4 foram avaliadas 11 progênies F₄ da cultivar IPR 107, cujos parentais F₃ foram utilizados em alguns cruzamentos testes do E1. Como padrões de resistência completa e suscetibilidade foram utilizadas, respectivamente, as cultivares IAPAR 59 e Catuaí Vermelho IAC 81.

A avaliação de severidade da ferrugem (SF) foi realizada em condições de alta incidência e severidade da ferrugem e usando uma escala de notas variando de 1 a 5 (Tabela 1). As notas foram atribuídas para plantas individuais. A avaliação foi desde o terço inferior até o terço superior do cafeeiro.

Tabela 1 – Escala de notas usada na avaliação da resistência à população local de raças de ferrugem no IAPAR (Londrina, PR, Brasil).

Notas	Descrição
1	Plantas sem lesões cloróticas nas folhas.
2	Número de lesões por folha, em média, entre 1 e 4, sem esporulação.
3	Número de lesões com esporos por folha entre 1 e 10 e freqüência de folhas com esporulação entre 1 % a 10 %.
4	Número de lesões com esporos por folha entre 11 e 20 e freqüência de folhas com esporulação entre 11 % a 35 %.
5	Mais de 20 lesões com esporos por folha e mais de 35 % das folhas com esporulação.

Plantas com notas 1 e 2 de SF foram consideradas com resistência completa. Plantas com esporulação da ferrugem (PEF) foram aquelas com notas 3, 4 e 5. A porcentagem de PEF e as notas médias de SF foram usadas como parâmetros para: a) identificar progênies das cultivares IPR 99 e IPR 107 com mais genes de resistência não quebrados pela ferrugem; b) identificar progênies com resistência incompleta; c) verificar a eficiência dos cruzamentos testes. Cafeeiros com notas 1 ou 2 num ano de avaliação, porém que apresentaram notas 3, 4 ou 5 em outro ano, não foram considerados com resistência completa. Esses cafeeiros

com notas 3, 4 ou 5 em pelo menos uma das avaliações foram plantas com esporulação da ferrugem (PEF). Foram considerados cafeeiros com resistência parcial aqueles com 90 a 100 % de PEF e com notas médias de SF entre 2,00 e 4,00. O número de plantas avaliadas de cada tratamento está apresentado nas Tabelas 2, 3, 4 e 5.

4.5 Resultados e Discussão

4.5.1 Progênes da cultivar IPR 99 com mais genes de resistência

Pelas notas médias de SF e porcentagem de PEF dos padrões (“*C. arabica* da Etiópia portador do gene S_H1 ” x “Catuaí”) x ‘Icatu IAC 3282’, ‘Catuaí Vermelho IAC 81’ x “Catuaí Semperflorens” e ‘Catuaí Vermelho IAC 81’ é possível verificar que a incidência e severidade da ferrugem foram altas nos ensaios E1 e E2 (Tabela 2, Tabela 3).

Ocorreu a esporulação da ferrugem em muitos cafeeiros dos cruzamentos testes com a progênie F_4 de ‘IPR 99-C1P2’. As freqüências de PEF nos dois cruzamentos testes com a ‘IPR 99-C1P2’ foram 100,00 % e 88,24 %. Por outro lado, as freqüências de PEF dos três cruzamentos testes com a ‘IPR 99-C3P2’ foram 0 %, 18,75 % e 29,41 %. Isto indica que a progênie C3P2 da ‘IPR 99’ apresentou mais genes de resistência não quebrados pela população local de raças (Tabela 2).

Tabela 2 – Notas médias de severidade da ferrugem avaliada em julho de 2004 e em julho de 2007 (SF04, SF07), porcentagem de plantas com esporulação da ferrugem em 2004 e em 2007 (% PEF 04/ 07) e número de plantas avaliadas (n) de cruzamentos testes com progênies da ‘IPR 99’ (“Sarchimor”) avaliadas para a população local de raças, em condições de campo (Londrina, PR, Brasil).

Cruzamentos testes ⁽¹⁾	SF04	SF07	% PEF 04/ 07	n
	(2)	(2)	(3)	
(“Et. S _H 1” x “Catuaí”) x F ₄ de IPR 99-C3P2	1,00	1,00	0,0	2
(“Et. S _H 1” x “Catuaí”) x F ₄ de IPR 99-C3P2	1,75	1,19	18,75	16
(“Et. S _H 1” x “Catuaí”) x F ₄ de IPR 99-C3P2	1,88	1,82	29,41	17
(“Et. S _H 1” x “Catuaí”) x F ₄ de IPR 99-C1P2	2,76	3,29	88,24	17
(“Et. S _H 1” x “Catuaí”) x F ₄ de IPR 99-C1P2	3,75	4,94	100,0	16
* ‘Catuaí’ x “Catuaí Semperflorens”	4,50	5,00	100,0	12
* (“Et. S _H 1” x “Catuaí”) x ‘Icatu IAC 3282’	4,82	4,88	97,06	17

⁽¹⁾ Et. S_H1 = (“*C. arabica* da Etiópia portador do gene S_H1” x “Catuaí”); ‘Catuaí’ = ‘Catuaí Vermelho IAC 81’. Os genótipos suscetíveis estão em negrito. * Padrões suscetíveis. ⁽²⁾ Escala de notas de 1 a 5 de severidade da ferrugem, sendo nota 5 as plantas com mais severidade da ferrugem. ⁽³⁾ Notas 1 e 2 = plantas com resistência completa; notas 3, 4 e 5 = plantas com esporulação da ferrugem.

A progênie F₅ IPR 99-C1P2 apresentou 57,14 % de PEF, enquanto que a progênie F₅ IPR 99-C3P2 apresentou 11,11% de PEF (Tabela 3). Portanto, confirmando os resultados dos cruzamentos testes, é possível verificar que a progênie IPR 99-C3P2 apresentaram mais genes de resistência não quebrados pela ferrugem ou mais desses genes estão em condição homocigótica em comparação com a progênie IPR 99-C1P2.

Não foram realizados cruzamentos testes para as progênies IPR 99 C1P3, C3P1 e C6P2. Entretanto, essas progênies também apresentaram mais genes não quebrados, pois as progênies F₅ apresentaram baixa frequência de PEF em comparação com a progênie C1P2 e o padrão suscetível ‘Catuaí Vermelho IAC 81’. A progênie C6P2 não apresentou nenhuma PEF, do mesmo modo que o padrão resistente ‘IAPAR 59’. Pelas notas médias de SF das progênies F₅ C1P3, C3P1, C3P2 e C6P2 é possível verificar que o grau de resistência dessas é similar ao da ‘IAPAR 59’ (Tabela 3).

Tabela 3 – Notas médias de severidade da ferrugem (SF), porcentagem de plantas com esporulação da ferrugem (% PEF) e número de plantas avaliadas (n) de progênies F₅ da ‘IPR 99’ (“Sarchimor”) avaliadas para a resistência à população local de raças em condições de campo, em julho de 2004 (Londrina, PR, Brasil).

Progênies F₅	SF ⁽¹⁾	% PEF ⁽²⁾	n
IPR 99 – C1P2	2,79	57,14	28
IPR 99 – C1P3	1,82	7,14	28
IPR 99 – C3P1	1,63	8,33	24
IPR 99 – C3P2	2,04	11,11	27
IPR 99 – C6P2	1,48	0,00	27
‘Catuaí Vermelho IAC 81’ (padrão suscetível)	4,91	100,00	22
‘IAPAR 59’ (padrão resistente)	1,65	0,00	20

⁽¹⁾ Escala de notas de 1 a 5 de severidade da ferrugem, sendo nota 5 as plantas com mais severidade. ⁽²⁾ Notas 1 e 2 = plantas com resistência completa; notas 3, 4 e 5 = plantas com esporulação.

A ‘IPR 99’ (“Villa Sarchi CIFC 971/10” x “HDT CIFC 832/2”) foi derivada dos mesmos parentais que originaram as cultivares IAPAR 59 e Tupi IAC 1669-33, as quais apresentam resistência completa por mais de 30 anos (SERA T. 2008, comunicação pessoal), mas plantas suscetíveis foram observadas quando cruzamentos testes foram realizados em algumas plantas dessas duas cultivares (SERA et al., 2007b). Então é provável que as progênies C1P3, C3P1, C3P2 e C6P2 também apresentem resistência durável e os mesmos genes de resistência de ‘IAPAR 59’ e ‘Tupi IAC 1669-33’. Novos campos das progênies C1P3, C3P1, C3P2 e C6P2 deverão ser feitos para oferecer aos cafeicultores as sementes da ‘IPR 99’ com mais genes de resistência não quebrados. Provavelmente, a progênie C1P2 não é portador de algum gene S_H ou de outros genes de resistência provenientes do “Híbrido de Timor CIFC 832-2”. As progênies C1P3, C3P1, C3P2 e C6P2 deverão ser enviados ao CIFC, em Portugal, para uma avaliação precisa dos genótipos de resistência.

4.5.2 Progênie da cultivar IPR 99 com resistência incompleta

A média da frequência de PEF dos dois cruzamentos testes com IPR99-C1P2 foram similares ao dos padrões suscetíveis (Tabela 2). Entretanto, as notas médias de SF desses dois cruzamentos foram menores que as médias de SF dos padrões suscetíveis, indicando que a progênie C1P2 apresentou resistência incompleta ou parcial. As médias dos dois cruzamentos testes com a C1P2 nos anos de 2004 e 2007 foram 93,94 % e 3,67, respectivamente, para a porcentagem de PEF e SF. As médias de SF dos padrões suscetíveis nos dois anos de avaliação foram 4,75 e 4,85, respectivamente, para (“*C. arabica* da Etiópia S_{H1}” x “Catuaí”) x ‘Icatu IAC 3282’ e ‘Catuaí Vermelho IAC 81’ x “Catuaí Semperflorens”. Assim, provavelmente se a resistência de outras progênies da ‘IPR 99’ for quebrada, provavelmente, terão ainda resistência incompleta para evitar que repentinamente se torne uma cultivar completamente suscetível.

A resistência incompleta observada na progênie C1P2 pode ser devido à resistência residual de alguns genes do Híbrido de Timor CIFC 832-2 quebrados pela ferrugem. Em cafeeiros com os genes S_{H1}, S_{H3} e S_{H4} (ESKES, 1989) e em derivados do “Híbrido de Timor” como a cultivar Colômbia (ALVARADO, 2005) também foi observada resistência residual após a quebra.

O nível de resistência residual dos genes maiores quebrados depende do genótipo das raças, pois algumas apresentam virulência intermediária. Esta pode ser explicada pela dominância incompleta dos alelos de avirulência, por alelos múltiplos para virulência ou por interações interalélicas. A presença desta virulência intermediária também sugere que a resistência monogênica incompleta dos genes S_H não seja durável (ESKES, 2005).

A resistência parcial em ‘IPR 99’ também poderia ser explicada pelo início tardio da infecção pela ferrugem, pois é possível que a população predominante seja da raça II (v5), sendo esta a que ocorre com mais frequência no Brasil conforme Zambolim et al. (2005). Entretanto, no IAPAR, cafeeiros com os genes S_{H1}, S_{H2}, S_{H4}, S_{H5} e S_{H8} vêm apresentando suscetibilidade à ferrugem (SERA et al., 2007a), indicando que várias raças estão presentes no local.

Estudos de herança em plantas do “Icatu” e em derivados do “Híbrido de Timor” com diferentes níveis de resistência incompleta indicaram a

presença de um ou poucos genes parcialmente dominantes, o que não levaria a uma resistência durável. Esses fatores genéticos quando em homozigose ou associados, conferem uma resistência quase completa (ESKES et al., 1990). É possível que esta resistência incompleta da progênie C1P2 se manterá ao longo do tempo, do mesmo modo que vem ocorrendo para algumas plantas da cultivar Colômbia (“Catimor”) com a resistência quebrada (ALVARADO, 2005), pois ambas são derivadas do “Híbrido de Timor”. Entretanto, na cultivar Cauvery (“Catimor”) foi observada resistência incompleta somente no começo. Passo a passo, a suscetibilidade dos cafeeiros e a agressividade da ferrugem aumentaram. Atualmente, esta cultivar não apresenta resistência incompleta em condições de campo na Índia (VÁRZEA e MARQUES, 2005). Dependendo da virulência e/ ou agressividade das raças, as reações dos cafeeiros podem ser: resistente, moderadamente resistente, moderadamente suscetível e suscetível (BETTENCOURT, 1981). Assim, a resistência parcial observada na progênie C1P2 pode ser durável dependendo das raças presentes no local.

4.5.3 Progênies da cultivar IPR 107 com mais genes de resistência

Pelas notas médias de SF e porcentagens de PEF dos padrões nos ensaios E3 e E4 é possível verificar que a incidência e severidade da ferrugem foram altas (Tabela 4 e Tabela 5).

Como era de se esperar, em poucos cruzamentos testes com as progênies da ‘IPR 107’ foi observada baixa incidência de PEF, pois a cultivar Mundo Novo IAC 376-4’ (susceptível) representa um dos parentais desta cultivar. Os cruzamentos testes com as progênies F₃ 29-8, 14-3, 17-1 e 17-2 foram os que apresentaram as menores freqüências de PEF. As duas primeiras apresentaram porcentagens muito altas de plantas com resistência completa, iguais ao da cultivar IAPAR 59 (padrão resistente). Nos demais cruzamentos testes utilizando outras progênies foram observadas maiores freqüências de PEF, quando comparadas com às progênies 29-8, 14-3, 17-1 e 17-2 (Tabela 4).

Tabela 4 – Severidade média da ferrugem avaliada em julho de 2005 (SF 05) e agosto de 2007 (SF 07), porcentagem de plantas com esporulação da ferrugem nos anos de 2005 e 2007 (% PEF 05/ 07) e número de plantas avaliadas (n) para a resistência à população local de raças em cruzamentos testes realizados com progênies F₃ da cultivar IPR 107 (Londrina, PR, Brasil).

Cruzamentos testes ⁽¹⁾	SF 05	SF 07	% PEF 05/ 07 ⁽²⁾	n
'IAPAR 59'	1,000	1,160	4,00	25
Catuaí V. x progênie 29-8	1,000	1,000	0,00	5
Catuaí V. x progênie 14-3 *	1,200	1,300	10,00	10
M. Novo x progênie 17-1	1,380	1,680	28,00	50
M. Novo x progênie 17-2 *	1,592	1,388	28,57	49
Catuaí V. x progênie 28-8	1,800	1,600	40,00	5
M. Novo x progênie 14-10	2,467	2,400	53,34	15
M. Novo x progênie 13-9	2,533	2,000	60,00	30
Catuaí V. x progênie 14-5 *	2,500	2,700	60,00	10
M. Novo x progênie 17-5 *	2,440	1,980	64,00	50
M. Novo x progênie 13-6 *	2,786	1,357	64,29	14
M. Novo x progênie 18-7	2,840	2,600	68,00	25
M. Novo x progênie 15-9	2,833	2,533	80,00	30
M. Novo x progênie 25-2 *	2,582	3,255	90,91	55
Catuaí V. x progênie 14-1 *	2,067	2,867	93,33	15
M. Novo x progênie 21-1	2,980	2,500	94,00	50
Catuaí V. x progênie 28-10	2,867	2,667	100,00	15
M. Novo x progênie 24-5	2,950	3,050	100,00	20
Catuaí V. x progênie 23-6	3,000	3,200	100,00	5
M. Novo x progênie 20-1 *	3,120	3,320	100,00	25
M. Novo x progênie 26-6	3,441	3,678	100,00	59
M. Novo x progênie 23-5	3,200	4,080	100,00	25
Catuaí V. x progênie 27-5	4,000	4,600	100,00	5
Catuaí V. x progênie 25-10 *	4,400	4,500	100,00	10
'Icatu IAC 3282'	5,000	4,440	100,00	25
Catuaí V.	4,933	4,640	100,00	25
'Bourbon Vermelho'	5,000	4,720	100,00	25

* Progênies da cultivar IPR 107 avançadas para a geração F₄.

⁽¹⁾ M. Novo = 'Mundo Novo IAC 376-4'; Catuaí V. = 'Catuaí Vermelho IAC-81'.

⁽²⁾ Notas 1 e 2 = plantas com resistência completa; notas 3, 4 e 5 = plantas com esporulação.

A progênie F₄ 17-2 da cultivar IPR 107 foi a única que apresentou todas as plantas com resistência completa. As progênies F₄ 14-1 e 14-3 apresentaram freqüências relativamente baixas de PEF, respectivamente, 27,08 % e 29,63 %, porém superiores em comparação com o padrão 'IAPAR 59', que apresentou 10 % de PEF (Tabela 5).

Tabela 5 – Nota média de severidade da ferrugem (SF), porcentagem de plantas com esporulação da ferrugem (% PEF) e número de plantas avaliadas (n) para a resistência à população local de raças em progênies F₄ da ‘IPR 107’ (‘IAPAR 59’ x ‘Mundo Novo IAC 376-4’) (Londrina, PR, Brasil).

Progênies F ₄ da ‘IPR 107’	SF	% PEF ⁽¹⁾	n
17-2 *	1,087	0,00	23
‘IAPAR 59’ (padrão resistente)	1,200	10,00	10
14-1 *	1,833	27,08	48
14-3 *	1,944	29,63	54
17-5 *	2,680	60,00	25
14-5 *	2,525	62,50	40
25-2 *	2,849	67,92	53
13-6 *	2,844	72,09	43
20-1 *	4,355	93,55	31
25-10 *	4,593	98,31	59
18-10	4,607	100,00	28
18-2	4,786	100,00	14
‘Catuaí Vermelho IAC 81’ (padrão suscetível)	5,000	100,00	9

* Foram realizados cruzamentos testes para essas progênies. ⁽¹⁾ Notas 1 e 2 = plantas com resistência completa; notas 3, 4 e 5 = plantas com esporulação.

A freqüência de PEF no cruzamento ‘Catuaí Vermelho IAC 81’ x progênie F₃ 14-3 foi 10,00 % e, portanto, foi baixa em comparação com outros cruzamentos como o ‘Catuaí Vermelho IAC 81’ x progênie F₃ 14-1 que apresentou 93,33 %. Entretanto, as progênies F₄ 14-3 e 14-1 apresentaram porcentagem de PEF similares. Isto indica que a progênie F₃ 14-3 apresentou poucos genes de resistência não quebrados pela ferrugem, do mesmo modo que a progênie 14-1. A baixa freqüência de PEF no cruzamento teste com a progênie 14-3 pode ter ocorrido devido à pouca quantidade de plantas avaliadas derivadas do cruzamento teste (n=10) (Tabela 4).

Para o cruzamento teste com a progênie 29-8 todas as plantas apresentaram resistência completa, entretanto, poucas plantas (n = 5) foram avaliadas (Tabela 4). Portanto, é necessário verificar se esta apresenta muitos genes de resistência por meio de novas avaliações.

Para a progênie 17-2 foi observada baixa freqüência de PEF tanto no cruzamento teste quanto na geração F₄. A progênie 17-1 não foi avançada para a

geração F₄, entretanto, é possível observar que apresentou, no cruzamento teste, quantidade de PEF similar ao da 17-2, mesmo sendo avaliadas muitas plantas (n=50) (Tabela 4). Assim, as progênies 17-1 e 17-2 apresentam as mais altas probabilidades de serem portadoras de mais genes de resistência não quebrados pela ferrugem. Nas progênies F₄ com mais que 40 % de PEF, é alta a probabilidade de ter poucos genes de resistência. As que apresentaram cerca de 25 % de PEF, é provável que um único gene maior em condição heterozigótica poderia estar atuando na planta-mãe.

Pelas notas médias de SF constata-se que o grau de resistência das progênies 17-1, 17-2 e 29-8 é similar ao da 'IAPAR 59' (Tabela 4). Provavelmente, essas progênies apresentam os mesmos genes de resistência da 'IAPAR 59', pois esta é um dos parentais da 'IPR 107'. As progênies 17-1 e 29-8 serão avançadas para geração F₄, enquanto que a 17-2 será avançada para a geração F₅. Essas três progênies deverão ser enviadas ao CIFC, em Portugal, para uma avaliação precisa dos genótipos de resistência.

4.5.4 Progênies da cultivar IPR 107 com resistência incompleta

Provavelmente, as progênies da 'IPR 107' com muitas PEF não são portadoras de algum gene S_H ou de outros provenientes da 'IAPAR 59' ou do "Híbrido de Timor CIFC 832-2". Entretanto, foi observada resistência incompleta em quase todos os cruzamentos testes com 90 a 100 % de PEF, pois suas notas médias de SF foram bem inferiores em comparação com a média das cultivares padrões suscetíveis Bourbon Vermelho, Catuaí Vermelho IAC 81 e Icatu IAC 3282 (Tabela 4). Dez progênies F₃ apresentaram resistência incompleta à população local de raças de ferrugem. As explicações sobre a resistência residual e durabilidade da resistência dessas progênies são mesmas descritas anteriormente para a cultivar IPR 99, pois ambas possuem genes do Híbrido de Timor CIFC 832-2.

4.5.5 Eficiência dos cruzamentos testes

As freqüências de PEF nos cruzamentos testes com as progênies F₄ C1P2 e C3P2 da 'IPR 99' foram mais altas do que nas respectivas progênies F₅ derivadas da autofecundação. Enquanto na progênie F₅ C3P2 a freqüência de PEF foi 11,11 %, nos cruzamentos testes com a progênie F₄ C3P2 a freqüência média foi 15,79 %. Do mesmo modo na progênie F₅ C1P2 a freqüência de PEF foi 57,14 % e nos cruzamentos testes com a progênie F₄ C1P2 a freqüência média foi 95,35 %.

Para as progênies da cultivar IPR 107, na maioria dos cruzamentos testes foi observada mais incidência de PEF do que nas progênies F₄ provenientes da autofecundação. Isto pôde ser mais bem observado para os cruzamentos testes com as progênies 14-1, 17-2 e 25-2 (Tabela 4). Para as progênies 13-6, 14-3 e 14-5 ocorreram mais PEF nas progênies derivadas da autofecundação (Tabela 5), provavelmente, porque foram avaliadas poucas plantas ($n < 15$) nos cruzamentos testes (Tabela 4). Portanto, para a identificação de cafeeiros com mais genes de resistência não quebrados podem ser realizados cruzamentos testes, entretanto, muitas plantas devem ser avaliadas para que o resultado seja mais confiável.

Para várias progênies das cultivares IPR 99 e IPR 107 não foi muito ampla a diferença entre a freqüência de PEF das derivadas dos cruzamentos testes em comparação com as derivadas da autofecundação. Como um exemplo no cruzamento teste com a progênie F₃ 17-5 de 'IPR 107' a incidência de PEF foi 64 % (Tabela 4), enquanto que a progênie F₄ 17-5 derivada da autofecundação apresentou 60 % (Tabela 5). É possível sugerir as seguintes hipóteses sobre esta pequena diferença na incidência de PEF: a) os cafeeiros testados são portadores de poucos genes de resistência; b) os cafeeiros são portadores de muitos desses genes, porém a maioria está em condição homozigótica e as raças de ferrugem são portadoras de poucos fatores de virulência; c) os cafeeiros são portadores de muitos desses genes, porém a maioria está em condição homozigótica e as raças apresentam muitos fatores de virulência; d) os cafeeiros são portadores de muitos desses genes em condição heterozigótica, porém as raças apresentam muitos fatores.

Portanto, o uso de cruzamentos testes é restrito para poucas situações como no caso de cafeeiros com muitos genes maiores em condição

heterozigótica e inoculados com raças portadoras de poucos fatores de virulência. Como um exemplo deste caso seria o uso dos cruzamentos testes em progênes F_2 derivadas do cruzamento entre “Híbrido de Timor CIFC 832/2” (S_H5 , S_H6 , S_H7 , S_H8 , S_H9 , $S_H?$) e ‘Mundo Novo’ (S_H5), inoculados com a raça II (v5). Cruzamentos testes são mais difíceis de serem feitos do que a autofecundação, que é natural em *Coffea arabica*. No caso citado anteriormente, a diferença será alta entre a quantidade de PEF derivadas dos cruzamentos testes em comparação com a quantidade de PEF das derivadas da autofecundação, compensando a realização desses cruzamentos.

Para identificar, com precisão, quais genes S_H os cafeeiros são portadores, é necessário inocular raças específicas de ferrugem com os genes de virulência v1 a v9, sozinhos ou em combinações. Essas são de difícil acesso, pois são encontradas somente no CIFC, em Portugal. Assim, normalmente, a seleção de cafeeiros no Brasil vem sendo realizada para as raças locais de ferrugem e na maioria das cultivares não se conhece quais genes S_H são portadoras.

Com base na frequência de PEF dos cafeeiros derivados da autofecundação e dos cruzamentos testes é possível identificar cafeeiros com mais genes S_H não quebrados pela ferrugem (SERA et al., 2005, 2007b). Apesar da baixa precisão, este método é muito útil e simples para uma seleção preliminar de cafeeiros. Neste trabalho quase todas as progênes da ‘IPR 107’ e uma progênie da ‘IPR 99’ foram descartadas por apresentarem alta frequência de PEF. Assim, somente as progênes com baixa frequência de PEF serão analisadas com mais precisão, o que diminui os custos e o tempo para o melhoramento genético do cafeeiro.

4.6 Conclusões

Existem progênes das cultivares IPR 99 e IPR 107 com mais genes de resistência não quebrados pela ferrugem ou mais desses genes estão em condição homozigótica.

Progênes das cultivares IPR 99 e IPR 107 com a resistência quebrada apresentaram resistência incompleta à população local de raças.

Os cruzamentos testes para cafeeiros com muitos genes maiores de

resistência em condição heterozigótica e inoculados com raças portadoras de poucos fatores de virulência é muito útil no desenvolvimento de cultivares com mais genes de resistência à ferrugem.

5 CONCLUSÕES GERAIS

As cultivares do “Sarchimor” IAPAR 59, IPR 97, IPR 98 e IPR 104 apresentaram resistência completa à população local de raças de ferrugem presentes no IAPAR.

Todas as plantas da ‘IPR 105’ (“Catuaí S_H2 , S_H3 ”) apresentaram resistência completa, indicando que esta é portadora do gene S_H3 em condição homozigótica.

É provável que as cultivares IPR 99, IPR 101, IPR 102 e IPR 107 possuam apenas um gene de resistência completa que ainda não foi quebrado pela ferrugem, sendo que a ‘IPR 101’ pode ser portadora do gene S_H3 .

Foi observada resistência parcial ou incompleta nas cultivares IPR 103 e IPR 108. As cultivares IPR 99, IPR 102 e IPR 107 podem apresentar resistência incompleta significativa se a resistência completa for anulada pelo aparecimento de novas raças.

As cultivares IPR 100 (“Catuaí S_H2 , S_H3 ”) e IPR 106 (“Icatu”) apresentaram suscetibilidade similar ao do padrão suscetível ‘Catuaí Vermelho IAC 81’.

Por meio de cruzamentos testes e por progênies derivadas da autofecundação foi possível identificar progênies das cultivares IPR 99 e IPR 107 com mais genes de resistência não quebrados pela população local de raças de ferrugem.

Os cruzamentos testes para cafeeiros com muitos genes maiores de resistência em condição heterozigótica e inoculados com raças portadoras de poucos fatores de virulência é muito útil no desenvolvimento de cultivares com mais genes de resistência à ferrugem.

REFERÊNCIAS

ABIC (Associação Brasileira da Indústria de Café). **Estatísticas – Exportações/ Produção e exportação mundial de café – principais países produtores**. 2008. Disponível em: http://www.abic.com.br/estat_exporta_ppaises.html.

ABIC (Associação Brasileira da Indústria de Café). **Indicadores da indústria de café no Brasil – desempenho da produção e consumo interno**. 2007. Disponível em: <http://www.abic.com.br/estatisticas.html#intro>

ALVARADO, G. A. Evolution of *Hemileia vastatrix* virulence in Colômbia. In: ZAMBOLIM, L.; ZAMBOLIM, E. M.; VÁRZEA, V. M. P. (Eds.). **Durable Resistance to Coffee Leaf Rust**. Viçosa: UFV, 2005. p. 99-116.

BERGAMIN-FILHO, A. Possibilidades do emprego da resistência vertical no melhoramento do cafeeiro contra *Hemileia vastatrix*. **Summa Phytopathologica**, v. 2, p. 103, 1976.

BETTENCOURT, A. J. **Melhoramento genético do cafeeiro: transferência de factores de resistência à *Hemileia vastatrix* Berk. & Br. para as principais cultivares de *Coffea arabica* L.** Lisboa: ULTRAMAR/CIFC, 1981. 93 p.

BETTENCOURT, A. J.; CARVALHO, A. Melhoramento visando a resistência do cafeeiro à ferrugem. **Bragantia**, v. 27, p. 35-68, 1968.

BETTENCOURT, A. J.; LOPES, J.; PALMA, S. Factores genéticos que condicionam a resistência às raças de *Hemileia vastatrix* Berk. et Br. dos clones-tipo dos grupos 1, 2 e 3 de derivados de Híbrido de Timor. **Brotéria Genética**, Lisboa, v. 13, n. 80, p. 185-194, 1992.

BETTENCOURT, A. J.; NORONHA-WAGNER, M. Genetic factors conditioning resistance of *Coffea arabica* L. to *Hemileia vastatrix* Berk. et Br.. **Agronomia Lusitana**, v. 31, p. 285-292, 1971.

BETTENCOURT, A. J.; NORONHA-WAGNER, M.; LOPES, J. Factor genético que condiciona a resistência do clone 1343/269 Híbrido de Timor à *Hemileia vastatrix* Berk. et Br. **Brotéria Genética**, Lisboa, v. 1, n. 76, 53-58, 1980.

BETTENCOURT, A. J.; RODRIGUES-JUNIOR, C. J. Principles and practice of coffee breeding for resistance to rust and other diseases. In: CLARKE, R. J.; MACRAE, R. (Eds.). **Coffee**. London: Elsevier Applied Science, 1988, v.4. p.199-234.

BETTENCOURT, A. J.; RODRIGUES-JUNIOR, C. J.; LOPES, J. Study of the physiologic specialization of the coffee rust *Hemileia vastatrix* and selection of coffee clones for the establishment of a standard range of differential hosts for this rust. **Progress report 1960-65**. Coffee Rust Research Center, Oeiras, Portugal, 1965. p. 28-46.

BRANDO, C. H. J. Vantagens e vulnerabilidades da cafeicultura brasileira. **AGRIANUAL 2003 - Anuário da Agricultura Brasileira**. FNP Consultoria & Agroinformativos, 2003. p. 251-253.

CAPUCHO, A. S.; ZAMBOLIM, L.; ZAMBOLIM, E. M.; CAIXETA, E. T.; FRANCHINI, E. de A.; PEREIRA, A. A. Avaliação da resistência de cultivares de café à raça II de *Hemileia vastatrix* Berk. et Br. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 5, Águas de Lindóia. **Anais**. Cd Rom, 2007.

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. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIIRAS, 12, Caxambu, MG, 1981. **Anais ... IBC/GERCA**: 1981. p. 126-127.

CARDOSO, R. M. L.; RODRIGUES-JUNIOR, C. J.; SERA, T. Análise da resistência à ferrugem do cafeeiro causada por *Hemileia vastatrix* em linhagens IAPAR 75163 e na cultivar IAPAR 59. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE CAFÉ ADENSADO, 1994, Londrina. **Anais**. Londrina: IAPAR, 1996. p. 306.

CARVALHO, V. L. de; CHALFOUN, S. M.; CASTRO, H. A. de; CARVALHO, V. D. de. Influência de diferentes níveis de produção sobre a ferrugem do cafeeiro e sobre teores foliares de compostos fenólicos. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 25, n. 1, p. 49-54, 2001.

CONCEIÇÃO, A. S. da; FAZUOLI, L. C.; BRAGHINI, M. T. Avaliação e seleção de progênies F3 de cafeeiros de porte baixo com o gene *SH3* de resistência a *Hemileia vastatrix* Berk. et Br. **Bragantia**, v. 64, n. 4, p. 547-559, 2005.

COSTA, M. J. N.; ZAMBOLIM, L.; CAIXETA, E. T.; PEREIRA, A. A. Resistência de progênies de café Catimor à ferrugem. **Fitopatologia Brasileira**, v. 32, p. 121-130, 2007.

COUTINHO, T. A.; RIJKENBERG, F. H. J.; VAN ASCH, M. A. J. Teliospores of *Hemileia vastatrix*. **Mycological Research**, v. 99, p. 932-934, 1995.

CRUZ, C. D. **Programa Genes: versão Windows; aplicativo computacional em genética e estatística**. Viçosa: UFV, 2001. 648 p.

D' OLIVEIRA, B.; RODRIGUES-JUNIOR, C. J. O problema das ferrugens do cafeeiro. **Revista do Café Português**, v. 8, p. 5-50, 1961.

ESKES, A. B. **Incomplete resistance to coffee leaf rust (*Hemileia vastatrix*)**. 140 f. Tese (Doutorado) - Agricultural University of Wageningen, The Netherlands, 1983.

ESKES, A. B. Phenotypic expression of resistance to coffee leaf rust and its possible relationship with durability. In: ZAMBOLIM, L.; ZAMBOLIM, E. M.; VÁRZEA, V. M. P. (Eds.). **Durable Resistance to Coffee Leaf Rust**. Viçosa: UFV, 2005. p. 305-332.

ESKES, A. B. Resistance. In: KUSHALAPPA, A. C.; ESKES, A. B. (Eds.). **Coffee rust: epidemiology, resistance and management**. Boca Raton: CRC Press, 1989. p. 171-292.

ESKES, A. B.; CARVALHO, A. Variation for incomplete resistance to *Hemileia vastatrix* in *Coffea arabica*. **Euphytica**, v. 32, p. 625-637, 1983.

ESKES, A. B.; COSTA, W. M. Characterization of incomplete resistance to *Hemileia vastatrix* in the Icatu coffee population. **Euphytica**, v.32, p. 649-657, 1983.

ESKES, A. B.; HOOGSTRATEN, J. G. J.; TOMA-BRAGHINI, M.; CARVALHO, A. Race-specificity and inheritance of incomplete resistance coffee leaf rust in some Icatu coffee offspring and derivatives of Híbrido de Timor. **Euphytica**, v. 47, p. 11-19, 1990.

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

FAZUOLI, L. C. Genética e melhoramento do cafeeiro. In: RENA, A. B.; MALAVOLTA, E.; ROCHA, M.; YAMADA, T. (Ed.). **Cultura do cafeeiro: fatores que afetam a produtividade**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1986. p. 87 – 113.

FAZUOLI, L. C. **Metodologia, critérios e resultados da seleção em progênies do café Icatu com resistência a *Hemileia vastatrix***. 322 f. Tese (Doutorado) – Universidade Estadual de Campinas/UNICAMP, Campinas, 1991.

FAZUOLI, L. C.; MEDINA-FILHO, H. P.; GONÇALVES, W.; GUERREIRO-FILHO, O.; SILVAROLLA, M. B. Melhoramento do cafeeiro: variedades tipo arábica obtidas no Instituto Agrônomo de Campinas. In: ZAMBOLIM, L. (Ed.). **O Estado da arte de tecnologias na produção de café**. Viçosa: UFV, 2002. p. 163-216.

FAZUOLI, L. C.; OLIVEIRA, A. C. B. de; TOMA-BRAGHINI, M.; SILVAROLLA, M. B. Identification and use of sources of durable resistance to coffee leaf rust at the IAC. In: ZAMBOLIM, L.; ZAMBOLIM, E. M.; VÁRZEA, V. M. P. (Eds.). **Durable Resistance to Coffee Leaf Rust**. Viçosa: UFV, 2005. p. 137-185.

FLOR, H. H. Host-parasite interactions in flax rust, its genetics and other implications. **Phytopathology**, v. 45, p. 680-685. 1955.

GODOY, C. V.; BERGAMIM FILHO, A.; SALGADO, C. L. Doenças do cafeeiro (*Coffea arabica* L.). In: KIMATI, H.; AMORIM, L.; BERGAMIM FILHO, A.; CAMARGO, L. E. A.; REZENDE, J. M. (Eds.). **Manual de Fitopatologia**. 3. ed. v. 2. São Paulo: Agronômica Ceres, 1997. p. 184-200.

GOUVEIA, M. M. C.; RIBEIRO, A.; VÁRZEA, V. M. P.; RODRIGUES-JUNIOR, C. J. Genetic diversity in *Hemileia vastatrix* Berk. & Br based on RAPD markers. **Mycologia**, v. 97, n. 2, p. 396-404, 2005.

ITO, D. S.; SERA, T.; SERA, G. H.; AZEVEDO, J. A. de; MATA, J. S. da; PETEK, M. R.; DOI, D. S.; RIBEIRO FILHO, C. Seleção para resistência à ferrugem e outras características agrônômicas entre progênies de *Coffea arabica* L. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 4, 2005, Londrina, PR. **Anais**. CD-ROM, 2005.

JOHNSON, R. Classical plant breeding for durable resistance to diseases. **Journal of Plant Pathology**, v. 82, p. 3-7, 2000.

KUKHANG, T. D.; MAWARDI, S.; ESKES, A. B. Studies on the inheritance of the S_{H3} resistance factor to coffee leaf rust. In: INTERNATIONAL SCIENTIFIC COLLOQUIUM ON COFFEE, 15, Montpellier, 1993. **Proceedings**. Paris: ASIC, 1993, v. 2. p. 776-778.

KUSHALAPPA, A. C.; ESKES, A. B. Advances in coffee rust research. **Annual Review of Phytopathology**, v. 27, p. 503-531, 1989.

LASHERMES, P.; COMBES, M. C.; MAHÉ, L.; NOIR, S.; PRAKASH, N. S.; VÁRZEA, V. M. P. Progress in genetic and physical mapping of a leaf rust resistance locus in coffee. In: ZAMBOLIM, L.; ZAMBOLIM, E. M.; VÁRZEA, V. M. P. (Eds.). **Durable Resistance to Coffee Leaf Rust**. Viçosa: UFV, 2005. p 333-362.

MARIOTTO, P. R.; GERALDO, JR. C.; SILVEIRA, A. P.; ARRUDA, H. V.; FIGUEIREDO, P.; BRAGA, J. B. R. Efeito da produção sobre a incidência da ferrugem do cafeeiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 2, Poços de Caldas. **Resumos ...** Rio de Janeiro: IBC/MIC. p. 144-145.

MARQUES, D. V.; BETTENCOURT, A. J. Resistência a *Hemileia vastatrix* numa população de Icatu. **Garcia de Orta**, (Sér. Est. Agron.), Lisboa, v. 6, p. 19-24, 1979.

MATIELLO, J. B.; ALMEIDA, S. R. **A ferrugem do cafeeiro no Brasil e seu controle**. 2006. 98 p.

MATIELLO, J. B.; ALMEIDA, S. R.; CARVALHO, C. H. S. Resistant cultivars to coffee leaf rust. In: ZAMBOLIM, L.; ZAMBOLIM, E. M.; VÁRZEA, V. M. P. (Eds.). **Durable Resistance to Coffee Leaf Rust**. Viçosa: UFV, 2005. p 443-450.

MIRANDA, J. M.; PERECIN, D.; PEREIRA, A. A. Produtividade e resistência à ferrugem do cafeeiro (*Hemileia vastatrix* Berk. et Br.) de progênies F₅ de Catuaí Amarelo com o Híbrido de Timor. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 29, n. 6, p. 1195-1200, 2005.

MONACO, L. C.; CARVALHO, A. Resistência a *Hemileia vastatrix* no melhoramento do cafeeiro. **Ciência e Cultura**, v. 27, p. 1070-1081, 1975.

MORAES, S. A.; SUGIMORE, M. H.; TOMAZIELLO-FILHO, M.; CARVALHO, P. C. T. de. Resistência de cafeeiros à *Pseudomonas garcae*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 2, Poços de Caldas, 1974. **Anais ...** p. 183. <http://www.sbicafe.ufv.br/SBICafe/publicacao/frpublicacao.asp>.

NAVARRO DE ANDRADE, E. A cultura de café nas Índias Neerlandesas. **Relatório apresentado à Secretaria da Agricultura, Comércio e Obras Públicas do Estado de São Paulo**, 1914. 109 p.

NELSON, R. R. Genetics of horizontal resistance to plant diseases. **Annual Review of Phytopathology**, v. 16, p. 359-378, 1978.

NORONHA-WAGNER, M.; BETTENCOURT, A. J. Genetic study of resistance of *Coffea* sp. to leaf rust. I. Identification and behaviour of four factors conditioning disease reaction in *Coffea arabica* to twelve physiologic races of *Hemileia vastatrix*. **Canadian Journal of Botany**, 45: 2021-2031, 1967.

ONO, Y. The diversity of nuclear cycle in microcyclic rust fungi (Uredinales) and its ecological and evolutionary implications. **Mycoscience**, v. 43, p. 421-439, 2002.

PEREIRA, A. A.; SAKIYAMA, N. S.; ZAMBOLIM, L.; MOURA, W. M.; ZAMBOLIM, E.; CAIXETA, E. T. Identification and use of sources of durable resistance to coffee leaf rust in the UFV/EPAMIG breeding program. In: ZAMBOLIM, L.; ZAMBOLIM, E. M.; VÁRZEA, V. M. P. (Eds.). **Durable Resistance to Coffee Leaf Rust**. Viçosa: UFV, 2005. p 215-232.

PRAKASH, N. S.; COMBES, M. C.; NAVEEN, K. S.; LASHERMES, P. AFLP analysis of introgression in coffee cultivars (*Coffea arabica* L.) derived from a natural interspecific hybrid. **Euphytica**, v. 124, p. 265-271, 2002.

PRAKASH, N. S.; GANESH, D.; BHAT, S. S. Population dynamics of coffee leaf rust (*Hemileia vastatrix* Berk. et Br.) and recent advances in rust research in India. In: ZAMBOLIM, L.; ZAMBOLIM, E. M.; VÁRZEA, V. M. P. (Eds.). **Durable Resistance to Coffee Leaf Rust**. Viçosa: UFV, 2005. p 411-442.

PRAKASH, N. S.; MARQUES, D. V.; VÁRZEA, V. M. P.; SILVA, M. C.; COMBES, M. C.; LASHERMES, P. Introgression molecular analysis of a leaf rust resistance gene from *Coffea liberica* into *Coffea arabica* L. **Theoretical and Applied Genetics**, v. 109, n. 6, p. 1311-1317, 2004.

RAJENDREN, R. B. New type of nuclear life cycle in *Hemileia vastatrix*. **Nature**, v. 213, n. 5071, p. 105-106, 1967.

RAMACHANDRAN, M.; SRINIVASAN, C. S. Four generations of selection for resistance to race I of leaf rust in arabica cv. S.288 x 'Kents'. **Indian Coffee**, v. 43, p. 159-161, 1979.

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

RODRIGUES-JUNIOR, C. J.; VÁRZEA, V. M. P.; SILVA, M. C.; GUERRA-GUIMARÃES, L.; ROCHETA, M.; MARQUES, D.V. Recent advances on coffee leaf rust. In: INTERNATIONAL SCIENTIFIC SYMPOSIUM ON COFFEE, 2000.

Proceedings. Bangalore, India: Central Coffee Research Institute, 2000. p.179-193.

SCALI, M. H. **Relatório das atividades desenvolvidas no Centro de Investigação das Ferrugens do Cafeeiro.** Seção da Genética, Instituto Agrônomo/ IAC, Campinas, 24p.

SEAB/ DERAL. **Paraná – comparativo de área e produção – Safra 05/06 e Safra 06/07.** 2007. Disponível em Departamento de Economia Rural da Secretaria de Agricultura do Paraná. <http://www.pr.gov.br/seab/deral/>.

SERA, G. H.; SERA, T.; ITO, D. S.; AZEVEDO, J. A. de; MATA, J. S. da; DOI, D. S.; RIBEIRO-FILHO, C. Resistance to leaf rust in coffee carrying S_H3 gene and others S_H genes. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 50, n. 5, p. 753-757, 2007a.

SERA, G. H.; SERA, T.; ITO, D. S.; AZEVEDO, J. A. de; MATA, J. S. da; DOI, D. S.; RIBEIRO-FILHO, C. Selection for durable resistance to leaf rust using test-crosses on IAPAR-59 and Tupi IAC 1669-33 cultivars of *Coffea arabica*. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 50, n. 4, p. 565-570, 2007b.

SERA, G. H.; SERA, T.; ITO, D. S.; KANAYAMA, F. S.; MATA, J. S. da; ALEGRE, C. R.; BARRETO, P. C.; RIBEIRO-FILHO, C.; AZEVEDO, J. A. de. Seleção para a resistência durável à ferrugem em progênies da cultivar de café IPR 107. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 33, 2007, Lavras. **Trabalhos Apresentados.** Rio de Janeiro: MAPA/ PROCAFÉ, 2007c. p. 263-264.

SERA, T.; GUERREIRO, A. Correlação entre o dano de geada e outras características agronômicas em linhagens de café (*Coffea arabica* L.). In: SIMPOSIO SOBRE CAFICULTURA LATINOAMERICANA, 17, 1995, San Salvador. **Memoria de resúmenes.** San Salvador: PROMECAFE, 1995. p. 27.

SERA, T.; SERA, G. H.; ITO, D. S.; DOI, D. S. Coffee breeding for durable resistance to leaf rust disease at Instituto Agrônomo do Paraná. In: ZAMBOLIM, L.; ZAMBOLIM, E. M.; VÁRZEA, V. M. P. (Eds.). **Durable Resistance to Coffee Leaf Rust.** Viçosa: UFV, 2005. p. 187-214.

SILVA, M. do C.; VÁRZEA, V.; GERRA-GUIMARÃES, L.; AZINHEIRA, H. G.; FERNANDEZ, D.; PETITOT, A. S.; BERTRAND, B.; LASHERMES, P.; NICOLE, M. Coffee resistance to the main diseases: leaf rust and coffee berry disease. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v. 18, n. 1, 2006. p. 119-147.

SOARES, A. **Irrigação, fertirrigação, fisiologia e produção em cafeeiros adultos na região da Zona da Mata de Minas Gerais**. 2001. 90 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Departamento de Engenharia Agrícola – UFV, Viçosa.

SRINIVASAN, K. H.; NARASIMHASWAMY, R. L. A review of coffee breeding work done at the Government coffee experiment station, Balehonnur. **Indian Coffee**, v. 34, p. 311-321, 1975.

VARZEA, V. M. P.; MARQUES, D. V. Population variability of *Hemileia vastatrix* vs. coffee durable resistance. In: ZAMBOLIM, L.; ZAMBOLIM, E. M.; VÁRZEA, V. M. P. (Eds.). **Durable Resistance to Coffee Leaf Rust**. Viçosa: UFV, 2005. p. 53-74.

VARZEA, V. M. P.; RODRIGUES-JUNIOR, C. J.; MARQUES, D. V.; SILVA, M. C. Loss of resistance in interspecific tetraploid coffee varieties to some pathotypes of *Hemileia vastatrix*. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON DURABLE RESISTANCE: KEY TO SUSTAINABLE AGRICULTURE, 2000, Ede-Wageningen, Holanda. **Abstract**. p. 34.

VARZEA, V. M. P.; RODRIGUES-JUNIOR, C. J.; SILVA, M. C. M. L.; GOUVEIA, M.; MARQUES, D. V.; GUERRA-GUIMARÃES, L.; RIBEIRO, A. Resistência do cafeeiro a *Hemileia vastatrix*. In: ZAMBOLIM, L. (Ed.). **O Estado da arte de tecnologias na produção de café**. Viçosa: UFV, 2002. p. 297-320.

WELLMAN, F. L. Peligro de introduccion de la *Hemileia* del café a las Américas. **Turrialba**, v. 2, p. 147-150, 1952.

ZAMBOLIM, L.; ACUÑA, R. S.; VALE, F. X. R.; MACABEU, A. J.; CHAVES, G. M. Influência da carga pendente sobre o desenvolvimento da ferrugem do cafeeiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 12, Caxambu. **Resumos ...** Rio de Janeiro: IBC/MIC. p. 123-124.

ZAMBOLIM, L.; VALE, F. X. R. do.; COSTA, H.; PEREIRA, A. A.; CHAVES, G. M. Epidemiologia e controle integrado da ferrugem-do-cafeeiro. In: ZAMBOLIM, L. (Ed.). **O Estado da arte de tecnologias na produção de café**. Viçosa: UFV, 2002. p. 369-450.

ZAMBOLIM, L.; VALE, F. X. R. do.; PEREIRA, A. A.; CHAVES, G. M. Café (*Coffea arabica* L.). Controle de doenças causadas por fungos, bactérias e vírus. In: VALE, F. X. R. do; ZAMBOLIM, L. (Eds.). **Controle de doenças de plantas**. Viçosa: UFV/Brasília - DF: Ministério da agricultura e do abastecimento, 1997. v. 1. p. 83-180.

ZAMBOLIM, L.; ZAMBOLIM, E. M.; VALE, F. X. R. do; PEREIRA, A. A.; SAKYAMA, N. S.; CAIXETA, E. T. Physiological races of *Hemileia vastatrix* Berk. et Br. in Brazil – Physiological variability, current situation and future prospects. In: ZAMBOLIM, L.; ZAMBOLIM, E. M.; VÁRZEA, V. M. P. (Eds.). **Durable Resistance to Coffee Leaf Rust**. Viçosa: UFV, 2005. p. 75-98.

ANEXOS

ANEXO A –

**Raças Fisiológicas de Ferrugem Identificadas no Mundo com seus
Respectivos Genes de Virulência**

Raças	Genótipos de Virulência	Raças	Genótipos de Virulência
I	v2, 5	XXIII	v1, 2, 4, 5
II	v5	XXIV	v2, 4, 5
III	v1, 5	XXV	v2, 5, (6), ?
IV	v?*	XXVI	v4, 5, (6)
VI	v?*	XXVII	v1, 4, (6)
VII	v3, 5	XXVIII	v2, 4, (5, 6)
VIII	v2, 3, 5	XXIX	v5, (6, 7, 8, 9)
X	v1, 4, 5	XXX	v5, (8)
XI	v?*	XXXI	v2, 5, (6, 9)
XII	v1, 2, 3, 5	XXXII	v6, ?
XIII	v5, ?*	XXXIII	v5, (7) ou v5, (7, 9)
XIV	v2, 3, 4, 5	XXXIV	v2, 5, (7) ou v2, 5, (7, 9)
XV	v4, 5	XXXV	v2, 4, 5, (7, 9)
XVI	v1, 2, 3, 4, 5	XXXVI	v2, 4, 5, (8)
XVII	v1, 2, 5	XXXVII	v2, 5, (6, 7, 9)
XVIII	v?*	XXXVIII	v1, 2, 4, 5, (8)
XIX	v1, 4, ?*	XXXIX	v2, 4, 5, (6, 7, 8, 9)
XX	v?*	XL	v1, 2, 5, (6)
XXI	v?*	XLI	v2, 5, (8)
XXII	v5, (6)	XLII	v2, 5, (7, 8) ou v 2, 5, (7, 8, 9)

* Genótipos de virulência desconhecidos; () genes de virulência para derivados do “Híbrido de Timor”.

Fonte: Várzea e Marques (2005).

ANEXO B –

**Cafeeiros Diferenciadores Utilizados na Identificação das Raças de Ferrugem
com seus Respectivos Genes de Resistência, Designações e Grupos
Fisiológicos**

Genes	Designação e CIFC nº	Grupo Fisiológico
S _H ?	Matari (849/1)	β
S _H 1	Dilla & Alghe (128/2)	α
S _H 4	S 12 Kaffa (635/2)	γ
S _H 5	Bourbon (63/1)	E
S _H 6	Híbrido de Timor (1343/269)	R
S _H 2, 5	DK 1/6 (32/1)	D
S _H 3, 5	S. 288-23 (33/1)	G
S _H 5, 7 ou S _H 5, 7, 9 ^(a)	7960/15	Sem designação
S _H ?	Híbrido Kawisari (644/18)	M
S _H 5, 6, 9	H 419/20 ^(b)	3
S _H 5, 8	H 420/2 ^(c)	2
S _H 5, 6, 7, 9	H 420/10 ^(c)	1
Sem genes S _H	<i>Coffea racemosa</i> (369/3)	F
S _H ?	<i>Coffea excelsa</i> Longkoi (168/12)	N
S _H ?	<i>Coffea congensis</i> Uganda (263/1)	B
S _H ?	<i>Coffea canephora</i> Uganda (829/1)	K
S _H ?	<i>Coffea canephora</i> Uganda (681/7)	P
S _H ?	<i>Coffea canephora</i> Uganda (1621/13)	Q

^(a) Este genótipo precisa de confirmação.

^(b) H 419 = 1535/33 Mundo Novo x HW 26/13

^(c) H 420 = 1535/33 Mundo Novo x HW 26/14

HW 26 = 19/1 Caturra Vermelho x 832/1 Híbrido de Timor.

Fonte: BETTENCOURT (1981).