

MELHORAMENTO DO CAFEEIRO VISANDO À OBTENÇÃO DE CULTIVARES RESISTENTES À *Hemileia vastatrix* Berk et Br.*

Geraldo M. Chaves**

1. INTRODUÇÃO

O primeiro pesquisador a investigar sobre a resistência de variedades de café à ferrugem do cafeeiro foi MARSHAL H. WARD (25), em fins do século passado, no Ceilão. Inoculando grande número de plantas de variedades locais e importadas, constatou que todas se mostravam suscetíveis à *Hemileia vastatrix* Berk et Br. e, generalizando seus resultados, concluiu que todos os tipos de café eram suscetíveis. A conclusão de WARD, felizmente, não foi confirmada pelos pesquisadores que o precederam no estudo do problema.

No Congo Belga, em 1912, foi observado que espécies de *Coffea liberica* Bull ex Hiern eram muito menos atacadas pela ferrugem do que as variedades de *C. arabica* L. No ano seguinte verificou-se, em Uganda, que *C. canephora* Pierre, nativo daquele país e conhecido como Robusta, era também mais resistente que o Arábica. Em vista disso, variedades daquelas espécies foram importadas por vários países, principalmente pelo Ceilão e por Java, onde a resistência à enfermidade foi reafirmada.

Em muitos países da Ásia, África e Australásia as variedades de *C. arabica* suscetíveis à ferrugem foram sistematicamente substituídas pelo Robusta e seus híbridos. Na África, por exemplo, o Arábica ficou restrito às grandes altitudes; em altitudes médias predominou o Robusta e nas baixas, em pequena extensão, cultivava-se *C. excelsa* e *C. liberica*.

Os primeiros trabalhos de melhoramento genético visando à obtenção de variedades resistentes a ferrugem deram ênfase à seleção de variedades de espécies não Arábicas e à hibridação destas com *C. arabica*, tentando conseguir cultivares resistentes que mantivessem as qualidades peculiares da última. Em razão da dificuldade de se obterem híbridos férteis e estáveis pelo cruzamento de *C. arabica* com *C. canephora*, *C. excelsa* e *C. liberica*, essa linha de trabalho foi muito prejudicada.

O primeiro tipo de Arábica resistente à ferrugem foi descoberto na União Indiana, no Estado de Mysore, província de Coorg; sua cultura foi largamente difundida, tendo a variedade recebido o nome de Coorg. No decorrer dos anos, entretanto, também se mostrou suscetível à enfermidade. Em 1911, uma planta encontrada em cafezal pertencente ao Sr. Kent também se mostrou resistente e foi, por sua vez, multiplicada e largamente cultivada. O trabalho de seleção do 'Kent', realizado na União Indiana, constitui notável realização no melhoramento de *C. arabica*. A Balenhonnur Coffee Research Station, Mysore, em 1926, ini-

* Recebido para publicação em 25-08-1976.

** Professor Titular de Fitopatologia da Universidade Federal de Viçosa — MG.

ciou programa de melhoramento, visando à transferência para o *C. arabica* dos caracteres de resistência encontrados em *C. liberica*. Esta linha de trabalho conduziu à obtenção de seleções tais como a 'S. 26', a 'S. 288', a 'S. 333', 'S. 795' e as séries BA (14).

Na África destaca-se o trabalho que vem sendo realizado na Tanzânia, desde 1934, pela Lyamungu Coffee Research Station, que obteve excelentes seleções das séries KP, H, F e X, a partir de material de 'Kent' importado e de híbridos entre 'Kent' e 'Bourbon' (6, 7, 8). Também pelo cruzamento entre 'Geisha VC 496' e as seleções 'N. 39', 'H. 66' e 'KP 423' têm conseguido plantas consideradas de boas características agrônomicas, demonstrando resistência de campo à ferrugem. No Quênia, embora maior ênfase da pesquisa sobre a ferrugem tenha sido sobre controle químico por meio de fungicidas, cultivares com certo grau de resistência, como é o caso do 'SL. 6', têm sido criados pelo Scott Agricultural Laboratories, em Kabete (4).

Em 1951, FREDERICK L. WELLMAN, então no Instituto Interamericano de Ciências Agrícolas de Turrialba, Costa Rica, entendeu que a ferrugem constituía séria ameaça à cafeicultura do Hemisfério Americano. Previu que, a despeito das medidas de quarentena, a enfermidade algum dia atingiria a América Latina. Propôs um esquema de cooperação internacional de pesquisa visando ao melhoramento de cafeeiro para obtenção de variedades resistentes, de modo a permitir à cafeicultura latino-americana antecipar-se ao aparecimento da enfermidade, se tal ocorresse. Seu plano foi aceito pela Foreign Operations Organization Administration do Governo norte-americano e, em companhia de Cowgill, em 1952, realizou extensa viagem pelos países cafeicultores da África e Ásia. Em julho daquele ano, Wellman visitou Branquinho de Oliveira, em Lisboa, e verificou que o especialista português já vinha conduzindo trabalhos sobre a ferrugem do cafeeiro. Havia necessidade de estabelecer-se um centro para testar resistência de variedades de café de todo o mundo, em um país não cafeicultor, e Lisboa parecia ser o local ideal.

Em 1955, graças a um acordo entre os Governos de Portugal e dos E.U.A., foi criado, finalmente, o Centro de Investigações das Ferrugens do Cafeeiro, em Oeiras, Portugal. Com a criação do CIFC, as pesquisas sobre a ferrugem do cafeeiro, notadamente sobre a especialização fisiológica de *H. vastatrix*, tomaram grande impulso, tendo a equipe de Branquinho de Oliveira assumido posição de liderança mundial no estudo do problema.

Em 1953, o Instituto Agrônômico de Campinas recebeu, por intermédio do Serviço de Introdução de Plantas do U.S.D.A., mudas de cafeeiros, provenientes de várias regiões da África, para início de programa de melhoramento de *C. arabica*, visando à resistência à ferrugem. Com o material importado foram instalados ensaios de competição com linhagens das variedades tradicionalmente cultivadas no País. Posteriormente, foram enviadas ao CIFC sementes das melhores introduções, a fim de se determinarem os fatores de resistência (3, 5).

Atualmente, centenas de cafeeiros de *C. arabica*, de *C. canephora* e de híbridos interespecíficos *C. arabica* x *Coffea* spp., com resistência à ferrugem, que estão sendo ensaiados em diversas regiões cafeeiras do Brasil, de Angola, da Colômbia, além de outros países, são provenientes de material selecionado no CIFC ou, pelo menos, tiveram a determinação de sua constituição genética em relação a *H. vastatrix* realizada por aquele Centro.

2. ESPECIALIZAÇÃO FISIOLÓGICA EM *H. vastatrix* E PRINCIPAIS FONTES DE RESISTÊNCIA PARA MELHORAMENTO GENÉTICO DE *C. arabica*

Os trabalhos pioneiros sobre a especialização fisiológica de *H. vastatrix* foram realizados por W. W. MAYNE, em Mysore, União Indiana, na década de 1930. Investigando as razões que determinaram a aparente falta de resistência de certas variedades, Mayne desenvolveu a técnica de inoculação do fungo em folhas destacadas mantidas em câmara úmida e em discos de folhas flutuando em filme de água. Verificou que, como nas ferrugens dos cereais, existiam diferentes raças do fungo; descobriu que uma raça era capaz de atacar a variedade 'Coorg', mas não a 'Kent', enquanto outra atacava ambas, diferenciando 4 raças do patógeno. Estudando a herança da resistência, admitiu a existência de dois fatores determinantes da resistência das seleções de Arábica locais (11, 12, 13).

Branquinho de Oliveira, A. J. Bettencourt, C. J. Rodrigues, W. Noronha e outros, com suas pesquisas efetuadas no CIFC, realizaram notável progresso no

estudo da especialização fisiológica do patógeno. NORONHA e BETTENCOURT (15) determinaram 4 fatores simples e dominantes (SH1, SH2, SH3 e SH4) que condicionam a resistência de *C. arabica* a *H. vastatrix*. Demonstraram que a teoria de Flor é válida para o complexo *C. arabica* x *H. vastatrix*, e deduziram os prováveis genótipos de cada uma das raças de ferrugem estudadas. Os fatores de virulência do patógeno foram designados V1, V2, V3 e V4, correspondendo, respectivamente, aos fatores SH1, SH2, SH3 e SH4, que determinam a resistência em *C. arabica*, em relação às 12 raças envolvidas no estudo. BETTENCOURT e CARVALHO (3), em 1968, determinaram mais dois fatores para resistência (SH5 e SH6), com os respectivos fatores para virulência (V5 e V6), em relação a 18 raças fisiológicas do patógeno. NORONHA e BETTENCOURT (16), mais recentemente, confirmaram a existência do fator SH5. Os fatores SH1, SH2, SH4 e SH5 parecem estar ligados unicamente a *C. arabica*. O fator SH3, encontrado apenas nos Arábicas originários da Índia, e o SH6, do Híbrido de Timor, foram introduzidos em *C. arabica* provavelmente por hibridação com *C. liberica* e *C. canephora*, respectivamente (3).

Os pesquisadores do CIFC estabeleceram a norma de classificar os cafeeiros em grupos, de acordo com o tipo de reação que apresentam em relação às raças fisiológicas de *H. vastatrix*. Alguns grupos são constituídos por plantas sintéticas, com o objetivo de se criarem genótipos com dois ou mais fatores, visando a obter-se resistência a maior número de raças ou para finalidades específicas (2, 21, 22).

Em *C. arabica* e híbridos derivados de cruzamentos interespecíficos os grupos são designados por Alfa, Beta, Gama, E, I, C, D, J, L, Z, W, H, Y, X, V, O, U, T, S, M, R e A.

Ao grupo E pertencem, provavelmente, todos os cafeeiros cultivados comercialmente na América Latina e a maior parte das plantas dessa espécie das outras regiões cafeeiras. Os cafeeiros pertencentes a determinado grupo apresentam resistência a certo número de raças fisiológicas de *H. vastatrix* e susceptibilidade a outras.

Plantas do grupo D são cultivadas na Índia, no Quênia, na Tanzânia e em algumas outras regiões. As do grupo C são freqüentemente encontradas na Etiópia. As do grupo Beta foram verificadas na região de Matari, na Etiópia, e são suscetíveis a todas as raças conhecidas, enquanto as do grupo R são resistentes a muitas raças. Até o momento, plantas do grupo A, resistentes a todas as raças que se conhece, são encontradas em certas plantas descendentes do «Híbrido de Timor» e de outros híbridos interespecíficos.

No cafeeiro Robusta (*C. canephora*) diplóide, cultivado extensivamente nos continentes Africano e Asiático, os seis grupos são designados pelos prefixos A, Q, P, K, B e F.

O grupo A, que também se encontra entre os descendentes de híbridos interespecíficos, inclui cafeeiros com resistência a todas as raças da ferrugem já caracterizadas, onde se vê o grande interesse desse grupo de plantas não somente para o cultivo em certas áreas, como em programas de melhoramento, visando a transferir essa notável qualidade às variedades de *C. arabica* comercialmente cultivadas nas regiões cafeeiras do mundo.

Os cafeeiros do grupo F, ao contrário das plantas do grupo A, são suscetíveis a todas as raças de *H. vastatrix*.

Os principais grupos de *C. arabica* em relação à reação das plantas às raças fisiológicas de *H. vastatrix* podem ser assim caracterizados:

GRUPO ALFA (SH1) e C (SH1-SH5)

O fator SH1 é encontrado em seleções obtidas de coleções da Etiópia, provável país de origem de *C. arabica*, e do Sudão as quais receberam as seguintes denominações: 'Geisha', 'Dilla & Alge', 'S.4 Agaro', 'S.6 Cioiccie', 'S.12 Kaffa', 'S.17 Irgale', 'BE.5 Wush-wush', 'Barbuk Sudan', 'U.1 Dalecho', 'BE.2 Ghembi', 'BE.4 Ennarea', 'BE-6 Moderato', 'BE-8 Era' etc.

O grupo Alfa (SH1) - Tipo: CIFC 128/2 - ('Dilla & Alge') - é constituído por algumas plantas de 'Geisha' e 'Dilla & Alge', caracterizando-se por apresentar resistência a 16 raças, a saber: I, II, IV, VI, VII, VIII, XI, XIII, XIV, XV, XVIII, XXI, XXII, XXIV, XXV, e XXVI, sendo suscetível a 8: III, X, XII, XVI, XVII, XIX, XX e XXII.

O grupo C (SH1-SH5) - Tipo: CIFC 87/1 ('Geisha') - é caracterizado por plantas que apresentam resistência a 18 raças, sendo suscetíveis a 7, a saber: III, X,

XII, XVI, XVII e XXIII.

O fator SH1 encontra-se associado a outros fatores de resistência nos grupos I (SH1-SH4) e W (SH1-SH4-SH5).

GRUPO D (SH2) - Tipo: '32/1' ('D.K. 1/6')

Pertencem a este grupo variedades ou seleções de 'Kent' e a seleção 'S.16 Wollamo'. As melhores seleções do grupo são originárias da Tanzânia e do Quênia. Da Tanzânia destacam-se as da série 'KP 423' e 'KP 532', a série H, com a 'H.66', a série F com a 'F.840' e, mais recentemente, a série X com 'X.321'. Do Quênia, as melhores seleções são o 'K.7' e o 'SL.6'.

O fator SH2 que caracteriza o grupo D confere resistência a 15 raças: II, III, IV, VI, VII, X, XI, XIII, XV, XVIII, XIX, XX, XXI, XXII, XXVI, e suscetibilidade a 9: I, VIII, XII, XIV, XVI, XVII, XXIII, XXIV e XXV.

GRUPOS G (SH3) e H (SH2-SH3-SH5)

O fator SH3 só foi encontrado em plantas dos grupos G e H das seleções de Arábica da Balenhonur Coffee Research Station, tais como a 'S.288-23', a 'S.333', a 'S.353 4/5', 211 S.795', a 'S.964 2/1', e na série BA, geralmente associado aos fatores SH2 e SH5. O Grupo G - Tipo: C1FC 33/1 ('S.288-23') - caracteriza-se por apresentar resistência a 19 raças, sendo suscetível a 5, a saber: VII, VIII, XII, XIV e XVI.

O grupo H - Tipo: C1FC 34/13 ('S. 353 4/5') - apresenta resistência a 20 raças, sendo suscetível às 4 seguintes: VIII, XII, XIV, e XVI.

Pelo fato de serem estas seleções originárias de cruzamento interespecífico de *C. arabica* x *C. liberica*, acredita-se que o fator SH3 seja proveniente da última. De acordo com os trabalhos do C1FC, parece que a seleção 'S.795' possui o fator SH3 em condição homozigótica. Os melhoristas de café acreditam ser difícil o aproveitamento das plantas portadoras do fator SH3 para trabalhos de melhoramento genético.

GRUPOS GAMA, I(SH1-SH4), J (SH4-SH5) e W (SH1-SH4-SH5)

O grupo Gama - Tipo: 'C1FC 635/2' ('S.12 Kaffa')-caracteriza-se por apresentar resistência a 16 raças, sendo suscetível a 8, ou seja: X, XIV, XV, XVI, XIX, XXIII, XXIV e XXVI.

O grupo I - Tipo: 'C1FC 134/4' ('S.12 Kaffa') é resistente a 19 raças, sendo suscetível a 5: VIII, XVI, XIX, XX e XXIII.

O grupo J - Tipo: 'C1FC 110/5' ('S.4 Agaro') - apresenta espectro de resistência semelhante a Gama, diferindo apenas por apresentar resistência adicional à raça XIX.

Grupo W - Tipo: 'C1FC 635/3' ('S.12 Kaffa') - apresenta resistência a 21 raças, sendo suscetível apenas a X, XVI e XXIII.

Apenas poucos cafeeiros de origem etíope possuem plantas com o fator SH4.

GRUPO E (SH5) - Tipo: 'C1FC 63/1' ('Bourbon')

Carateriza-se por apresentar resistência às raças IV, VI, XI, XVIII, XIX, XX e XXI. As variedades de Arábica mais cultivadas no mundo, como o Bourbon, o Caturra, o Blue Mountain e o Mundo Novo, pertencem a este grupo. Como já mencionado, o fator SH5 é encontrado associado a outros fatores nos grupos C (SH1-SH5), J, (SH4-SH5) e W (SH1-SH4-SH5).

GRUPO A (SH6+?) - Tipo: 'C1FC 832/1' - ('Híbrido de Timor')

O grupo A caracteriza-se por ser resistente a todas as raças até agora identificadas. Esse tipo de resistência é conferido pelo SH6 associado a um ou mais fatores.

Pertencem a este grupo as seguintes plantas:

— 'Híbrido de Timor': trata-se de um híbrido, provavelmente entre Arábica e Robusta, encontrado em uma plantação de Arábica no Timor Português, em 1918.

É constituído por uma população heterogênea, incluindo, além de plantas do Grupo A (cerca de 90%), também plantas dos grupos R e E.

— 'C. 387' - híbrido natural tetraplóide entre Arábica e *C. dewevrei*, encontrado no Brasil.

Apresenta descendência com resistência A e M. O grupo M apresenta suscetibilidade apenas à raça XIII.

'Híbrido Kawisari' - originário da Malaya, provavelmente um híbrido natural tetraplóide entre Arábica e Libérica, com plantas apresentando resistência R e M.

Cruzamentos interespecíficos de *C. arabica* e *C. canephora* vêm sendo desenvolvidos pelo IAC desde 1953. Várias plantas originárias desses cruzamentos mostraram-se resistentes a todas as raças conhecidas de *H. vastatrix*, pertencendo, portanto, ao grupo A. Ao conjunto de plantas selecionadas deu-se a denominação de 'Icatú'. Dentre os derivados desses híbridos têm-se destacado o 'IAC H. 3554' e o 'IAC H. 3849'.

GRUPO R (SH6-SH5) - Tipo: '1343/269' ('Híbrido de Timor')

Constituído por plantas que apresentam o fator SH6, diferindo do grupo A por serem suscetíveis às raças XXII, XXV e XXVI.

3. RESISTÊNCIA VERTICAL X RESISTÊNCIA HORIZONTAL

O programa de melhoramento genético do cafeeiro, visando à obtenção de variedades resistentes à ferrugem, tanto no Brasil como nos demais países cafeeiros da América Latina, tende a expandir-se, e, por certo, envolverá considerável número de técnicos e de recursos financeiros.

Todos os trabalhos realizados sobre resistência do cafeeiro a *H. vastatrix*, desde os de MAYNE (11, 12, 13) até os de NORONHA e BETTENCOURT (15, 16) e os de BETTENCOURT e CARVALHO (3), trataram da resistência vertical ou específica, que é relacionada com os conceitos de gene-por-gene estabelecidos por FLOR (9) e por PERSON (17).

A resistência vertical ou específica envolve, geralmente, mecanismos cuja herança é governada por genes simples e dominantes, relativamente fáceis de manipular em programas de melhoramento. A resistência horizontal, também denominada de campo, lateral, inespecífica, poligênica ou multigênica, caracteriza-se por apresentar um moderado nível de proteção contra todas as raças do patógeno. Segundo HOOKER (10), casos de resistência vertical governada por genes recessivos ou de dominância incompleta também podem ocorrer; se a resistência é do tipo multigênica, os genes que a conferem podem agir independentemente ou em conjunto, podendo ser dominantes, recessivos ou de dominância incompleta. Uma variedade com resistência poligênica pode apresentar genes dos três tipos em todas as combinações.

Embora a resistência vertical possa proporcionar completo controle da enfermidade, é passível de ser anulada por alteração da população do patógeno que determine o aparecimento de novas raças contra as quais os fatores de resistência sejam inoperantes.

Segundo ROBINSON (19), quando uma determinada resistência é rompida as variedades portadoras do fator que a confere devem ser substituídas. Se tal substituição é fácil, diz-se que o hospedeiro possui alta variabilidade vertical. A variabilidade vertical é caracterizada por duas componentes: (a) longevidade do suscetível e (b) pressão de estabilização. No que concerne à longevidade, é óbvio que a substituição de culturas anuais é mais fácil do que a das plantas perenes. ROBINSON (19) considera arriscado o emprego de resistência vertical contra a ferrugem do cafeeiro; pondera, entretanto que o risco é algo atenuado pela aparente baixa mutabilidade vertical do patógeno e pela possível redução da patogenicidade horizontal, utilizando-se resistência vertical complexa. Entende resistência vertical complexa como aquela conferida por vários genes ou fatores de resistência. Parece, pelo menos entre os parasitas obrigatórios, que uma patogenicidade vertical elevada é correlacionada com uma baixa patogenicidade horizontal. O efeito da redução da patogenicidade horizontal seria idêntico ao do aumento da resistência horizontal, ou seja, menos enfermidade. Em outras palavras, uma vez rompida determinada resistência vertical, espera-se que uma variedade portadora de resistência vertical complexa sofra menos com a enfermidade do que outra com resistência simples, considerando-se que ambas possuem níveis de resistência horizontal idênticos.

A identificação de fontes de resistência horizontal pode ser feita de duas ma-

neiras: selecionando manifestações deste tipo de resistência e testando-as por meio de inoculações artificiais ou, admitindo-se que existam no ambiente estudado várias raças do patógeno, selecionando-as para «resistência de campo», sem testes ou análises especiais. UMAERUS (23), VAN DER PLANK (24) e HOOKER (10) situam muito bem o problema focalizando, principalmente, exemplos registrados nos trabalhos de melhoramento para obtenção de resistência contra *Phytophthora infestans*, em variedades de batata e ferrugens dos cereais.

Sendo a maioria dos conhecimentos acumulados, graças ao trabalho de fitopatologistas e melhoristas, advindos principalmente de pesquisas realizadas com as ferrugens dos cereais e a mela da batatinha, é óbvio que, para o caso específico do café, muitos dos conceitos estabelecidos possam ser considerados simplesmente especulativos. Teoricamente, entretanto, é inegável a validade dos princípios básicos que governam os dois tipos de resistência, embora casos de exceção ocorram dentro de cada cultura.

Segundo ROBINSON (20), na Etiópia, onde o *C. arabica* pode competir em estado selvagem, a ferrugem é ubíqua, mas não se constitui numa enfermidade muito séria pelo fato de ser o nível de resistência horizontal adequado para seu controle. O efeito da mistura de diferentes resistências verticais seria, epidemiologicamente, semelhante ao da resistência horizontal. Como na resistência horizontal, este efeito seria permanente durante o tempo em que for mantida a heterogeneidade da população do hospedeiro. Em natureza, a anulação da resistência vertical ocorre apenas em indivíduos, nunca na população como um todo; para que todos os indivíduos da população do hospedeiro se tornem, eventualmente, suscetíveis, várias anulações de resistência vertical estarão envolvidas e isto pode requerer muito tempo. O *C. arabica* da Etiópia apresenta tanta variação genética que dificilmente são encontradas duas plantas idênticas em 0,5 ha de café.

Discutindo o programa de melhoramento estabelecido na Etiópia para o controle da «coffee berry disease» (CBD), ROBINSON (20) assinala que os cafeeiros daquela região devem existir há mais de 1.300 anos em ausência daquela enfermidade. Isto teria conduzido a uma considerável erosão da resistência horizontal, em razão da pressão de seleção negativa exercida sobre a população do hospedeiro. Quando a CBD foi introduzida na Etiópia, verificou-se que, embora a população de café fosse muito suscetível em conjunto, uma minoria de árvores, estimada em 0,1%, era altamente resistente.

Um programa de seleção para resistência à CBD foi estabelecido com o objetivo de selecionar 500 árvores resistentes dentre as lavouras de café existentes. Essas árvores deverão ser testadas por vários anos, sob condições de campo, em relação a resistência ao CBD, produtividade e qualidade, ao mesmo tempo em que serão multiplicadas vegetativamente. Na época em que os clones estiverem bastante desenvolvidos para ensaios de campo, com base nos testes das respectivas matrizes, o seu número deverá estar reduzido para 50. Cada árvore matriz deverá ser testada para homozigose por meio de testes de progênies e devem ser estabelecidas linhagens homozigóticas para produção de sementes. Estima-se que grandes quantidades de sementes melhoradas de 25-40 variedades estarão disponíveis após uns 10 anos do início do programa. Tratando-se de resistência horizontal, os seus efeitos deverão ser permanentes.

ROBINSON (20) levanta a questão sobre a possibilidade de estabelecer-se um programa semelhante, para se obterem cafeeiros com resistência horizontal a *H. vastatrix*. Três possibilidades são sugeridas por aquele autor: seleção de plantas na Etiópia, seleção de plantas no Novo Mundo e recriação de *C. arabica* a partir de seus progenitores silvestres. A primeira vista, a seleção na Etiópia seria o enfoque mais promissor. Na prática, porém, apresentaria grandes dificuldades, pois, a seleção de indivíduos resistentes requer alta intensidade da doença para que sejam seguramente identificados. Por outro lado, afirma aquele autor, mesmo que se considerassem todas as plantas da Etiópia como resistentes, isto daria muito pouco do seu comportamento em outras regiões, pois a resistência horizontal é muitas vezes estritamente associada ao clima, fazendo com que indivíduos resistentes em determinado ambiente possa ser menos resistente em outro.

A situação é ainda mais complicada por possíveis mascaramentos da resistência horizontal pela vertical e pela presença do CBD, que torna qualquer importação de café da Etiópia um grave risco sanitário para o Novo Mundo.

Admite-se que toda planta com resistência vertical possua também resistência horizontal. Muitas plantas possuem resistência horizontal com ausência da

vertical. Acredita-se que, em natureza, resistência horizontal seja essencial e a vertical apenas uma proteção suplementar que ocorre em certas populações heterogêneas. Segundo ROBINSON (20), os cafeeiros do Novo Mundo, existindo apenas há 300 anos na ausência da ferrugem, talvez possam ter sofrido erosão em sua resistência horizontal em proporção inferior à observada na Etiópia em relação ao CBD. Entretanto, como a base genética dos cafeeiros do Novo Mundo é bastante limitada, a frequência de indivíduos resistentes deve ser muito inferior à registrada na Etiópia para o CBD; ainda que a frequência fosse de 1:1 milhão, tais indivíduos seriam tão valiosos que a sua procura seria justificada. Como o programa do CBD na Etiópia teria a vantagem de ser, se funcionar, muito mais rápido do que um programa formal de melhoramento. Também as coleções de café alienígenas já existentes no Novo Mundo, nas áreas onde ocorre ferrugem, poderiam ser utilizadas no programa, tomando-se os cuidados necessários para que não se confundisse resistência vertical com horizontal.

A terceira alternativa levantada por ROBINSON (20), ou seja, a recriação de *C. arabica*, seria realizada pelo cruzamento de seus prováveis progenitores (*C. canephora* x *C. eugenioides*), ao nível diplóide, com duplicação somática no híbrido F₁. Se o objetivo de tal cruzamento é a obtenção de resistência horizontal à ferrugem, a única precaução a ser tomada seria assegurar-se de que ambos os pais diplóides apresentassem suscetibilidade vertical às raças de ferrugem presentes na área.

Analisando-se as três alternativas sugeridas por ROBINSON (20) para obtenção de variedades de café com resistência horizontal, nas condições do Brasil, a mais exequível parece ser a segunda, ou seja, seleção dentro do germoplasma de café existente na região. Entretanto, levando-se em conta a estreita base genética desse germoplasma e a pressão de seleção negativa exercida pelos 248 anos de cultivo da rubiácea em ausência da enfermidade, parece ser muito pequena a chance de encontrar-se resistência horizontal em plantas de nossos tradicionais cultivares de café.

O mérito maior do trabalho de ROBINSON (20) talvez seja a advertência para o risco que a utilização da resistência vertical apresenta em culturas perenes como o café. Embora os trabalhos dos melhoristas de café tenham dado maior ênfase, por motivos já abordados, ao estudo da resistência vertical, algumas observações sobre a possível presença de resistência horizontal têm sido feitas, concomitantemente, em condições de campo. Pelo que se sabe, nos cafeeiros etíopes deve ocorrer resistência horizontal com certa frequência, seja isoladamente, seja associada à resistência vertical. Centenas de introduções de cafeeiros etíopes já existem no Novo Mundo e considerável número deles e de seus híbridos com os nossos melhores cultivares são encontrados no Brasil. Vale mencionar aqui o que foi observado por BETTENCOURT (1), nas condições de Angola. Relatando o bom comportamento de progênies de Arábica portadoras do fator SH1 em homozigose, destacou descendentes do cafeeiro C1FC '128/2 (Dilla & Algehe)' e gerações F₃ e F₄ do híbrido 'Geisha' x 'Caturre'. Afirmou que a raça III, bastante difundida na região, não obstante haver eliminado grande número de progênies com o fator SH1, parecia não influenciar gravemente as progênies mencionadas. Segundo ele, esta observação sugere a necessidade de efetuar-se, em condições de campo, cuidadoso estudo para averiguar-se a existência nesses cafeeiros de expressão de resistência, além da condicionada pelo fator SH1.

Referindo-se a progênies portadoras do fator SH3, destacou o F₃ dos híbridos 'C1FC 275' ('Caturre' x 'S.795'), além de descendentes do 'S.795'. Não obstante já haver sido identificada a raça VII, com o fator V3, na região, os cafeeiros com este tipo de resistência apenas ligeiramente têm sido atingidos pela ferrugem. O mesmo fenômeno foi observado em relação ao ataque da raça XV a certas progênies portadoras de fator SH4. No que concerne a SH2, ressaltou o bom comportamento de algumas progênies dos cafeeiros 'C1FC 103/3' ('K7') e 'C1FC 119/4' ('KP 423'), constatando, entretanto, que desde 1973 estas progênies vêm sendo severamente atacadas pela raça I e *H. vastatrix*.

É interessante observar-se que, segundo o relato de BETTENCOURT (1), progênies com os fatores SH1 e SH4, provenientes da Etiópia, e de SH3, originário da Índia (*C. liberica*), apresentaram plantas que, embora atacadas pela raça correspondente de *H. vastatrix*, não foram, aparentemente, muito atingidas pela doença. Admitindo-se que a resistência vertical vem sempre acompanhada da horizontal, parece possível que o fenômeno possa ser explicado pela ocorrência deste tipo de resistência nas plantas que, embora atacadas pelo patógeno, não se mostraram muito influenciadas pela doença.

Segundo ROBINSON (19), a aparente baixa mutabilidade vertical de *H. vastatrix* e a possível redução da sua patogenicidade horizontal pela utilização de resistência vertical complexa, como aquela conferida por vários genes ou fatores de resistência, poderiam atenuar o risco de utilização da resistência vertical em cultivares de café. O efeito da redução da patogenicidade horizontal por uma resistência vertical complexa seria idêntico ao do aumento da resistência horizontal, ou seja, menos enfermidade. Esta hipótese, entretanto, carece de confirmação prática; sabe-se que raças complexas de alguns patógenos, ou seja, aquelas com vários fatores de virulência, são menos estáveis do que raças com poucos fatores, em determinadas situações. O fenômeno, entretanto, não foi ainda devidamente esclarecido.

Considerando-se que a resistência vertical vem sempre acompanhada da horizontal, é possível que, em natureza, esta se encontre com maior frequência entre as espécies diplóides de café, que são alogamas. O bom desempenho de cultivares de Robusta em presença da ferrugem, mesmo quando se trata das menos resistentes, seria indicio de elevado grau de resistência horizontal na espécie? Teriam alguns híbridos, como o 'Híbrido de Timor' e o 'Icatu' herdado, ao lado da resistência vertical complexa, também altos níveis de resistência horizontal? Fenômenos como este poderiam também explicar a hipótese de que a resistência vertical complexa significaria redução de patogenicidade horizontal. Assim sendo, parece que resultados semelhantes porventura conseguidos com a discutível recriação de *C. arabica* sugerida por ROBINSON (20) poderiam ser obtidos também por cruzamento entre *C. arabica* e os híbridos entre *C. arabica* x *C. canephora* já existentes ou a serem criados. Segundo BETTENCOURT (1), progênies derivadas de cruzamentos entre o 'Híbrido de Timor' e variedades tradicionais de *C. arabica* portadoras do gene SH6 e de outros fatores de resistência ainda não perfeitamente caracterizados, como o 'CIFC HW 26' ('Caturra' x 'H. Timor'), têm apresentado boa adaptação sob as condições de Angola, do Brasil, da Colômbia e do Timor Português, fazendo prever que há boas possibilidades de virem a dar origem a seleções comerciais de interesse. Várias progênies desses híbridos têm demonstrado produtividade elevada, boa qualidade de bebida, rusticidade e vigor, além de resistência a *H. vastatrix*.

4. MELHORAMENTO DO CAFEIEIRO VISANDO À OBTENÇÃO DE CULTIVARES RESISTENTES A *H. vastatrix* Berk. & Br. NO BRASIL

4.1. Programa Desenvolvido pelo Instituto Agrônomo de Campinas

Os trabalhos de melhoramento visando à resistência à ferrugem do cafeeiro foram iniciados em 1953, quando o IAC recebeu, por intermédio do Serviço de Introdução de Plantas do Ministério da Agricultura dos Estados Unidos da América do Norte, grande número de introduções de mudas de cafeeiros com fatores de resistência a *H. vastatrix*, provenientes de sementes coletadas em conjuntos de cafeeiros resistentes de diversas regiões da África; desde o início do programa houve estreita colaboração entre o IAC e o CIFC (1, 3, 5). Com o material importado foram instalados vários ensaios de competição com as variedades tradicionais cultivadas no Brasil. Quando as introduções entraram em produção, sementes foram enviadas ao CIFC para determinação dos fatores de resistência. A análise genética do material revelou a presença de plantas com os fatores SH1, SH2, SH3, SH4 e, provavelmente, SH5. Conhecidos os fatores de resistência do material introduzido, foi iniciado o trabalho de hibridação das melhores seleções com cafeeiros de 'Mundo Novo'.

Das progênies e Árabe selecionadas no IAC, portadoras dos fatores SH1 e SH4, simples ou associados, destacaram-se as seguintes: 'IAC 1125', '1472' e '1473' ('S.6 Cloiccie'); 'IAC 1137' e '1350' ('Geisha'). Dentre as progênies portadoras de SH2 em condição homozigótica sobressaíram: 'IAC 1120' ('X-321'), 'IAC 1128' ('KP 532'), 'IAC 1132' ('KP 423'), 'IAC 1136' ('H.66') e 'IAC 1151' ('K7'). Das progênies portadoras de SH3, associadas ou não a SH2, em condição homozigótica, destacaram-se: 'IAC 1107' ('BA 21'), 'IAC 1110' ('BA 10') e 'IAC 1116' ('BA 16') (1, 3).

Disponha o IAC, em 1973, de campos de observação e multiplicação com cerca de 200.000 plantas. A partir de 1973, tais campos entraram em produção, produzindo dezenas de toneladas de sementes de cafeeiros portadores dos fatores SH1, SH2, SH3, SH4 e SH5, isolados ou em combinação. Esses campos estão plantados nas Estações Experimentais do IAC, em ensaios regionais, em cerca

de 20 cooperativas de cafeicultores e em propriedades particulares, distribuídas pelas regiões cafeeiras do País. (1).

O IAC vem distribuindo aos agricultores misturas de sementes colhidas das melhores árvores das diferentes progênes portadoras de fatores de resistência à ferrugem. Procedendo desta forma, e recomendando o plantio de 2-3 mudas por cova, formar-se-ão cafezais com uma população heterogênea, no que se refere a genótipos de resistência. A esta mistura de sementes o IAC denominou IARANA (que, em Guarani, significa - o que será, Senhor?); espera-se que uma população formada desta maneira venha a manifestar uma resistência global mais estável do que uma de genótipo uniforme, em relação às raças de *H. vastatrix* existentes e às que possam aparecer no futuro.

O IAC continua selecionando novo material com os fatores SH1, SH2, SH3 e SH4, incluindo novos híbridos com 'Mundo Novo' e 'Catuai'.

Mas recentemente, o IAC vem dando ênfase a outras fontes de resistência, como as das populações derivadas do 'Icatu', como já foi anteriormente mencionado, e do 'Híbrido de Timor'. Recebendo, em 1971, centenas de novas introduções procedentes do CIFC, ampliou bastante o germoplasma de *Coffea* spp. em ensaio, notadamente no que se refere ao 'Híbrido de Timor' e aos híbridos deste cultivar com as melhores variedades comerciais brasileiras (1).

4.2. Programa Iniciado pela Universidade Federal de Viçosa

O programa de melhoramento visando à obtenção de cafeeiros resistentes à *H. vastatrix* foi iniciado em 1970/71, com a introdução de material básico e de algumas das melhores variedades resistentes cultivadas em outros países, que constituem banco de germoplasma com espectro representativo dos principais grupos de reação, com fatores de resistência isolados e/ou em várias combinações.

Graças à inestimável cooperação do Centro de Investigações das Ferrugens do Cafeeiro (CIFC), de Oeiras, Portugal, do Instituto de Ciências Agrícolas, de Turrialba, Costa Rica, e da Estação Experimental de Chinchiná, Colômbia, foi importado material básico que até o presente momento atinge a mais de 500 introduções. Tal material foi semeado, observadas as prescrições de quarentena, tendo resultado um total aproximado de 60.000 mudas.

Procedeu-se à inoculação dessas mudas em viveiro, usando suspensão de uredósporos em água. Das introduções testadas foram eliminadas cerca de 70 suscetíveis às raças II e XV, notadamente dentre as originárias de Turrialba e Chinchiná. Cerca de 280 introduções do material mais promissor foram plantadas em área de 6 ha.

As primeiras hibridações e autofecundações foram iniciadas no ano agrícola 1972/73. O material julgado mais promissor foi plantado em várias regiões de Minas Gerais, para se conhecer o seu comportamento. As estações experimentais de Ponte Nova e São Sebastião do Paraíso, da EPAMIG, servem de novas bases para o programa iniciado na U.F.V.

O trabalho de seleção e melhoramento tem sido concentrado nas fontes de resistência originárias do grupo A. Têm-se destacado várias progênes de porte baixo, oriundas do cruzamento entre o 'Híbrido de Timor' e o cultivar 'Catuaí', denominadas 'Catimor', notadamente algumas gerações F₃ procedentes de Angola. Várias introduções de 'Catimor' em geração F₂ e F₃ vêm-se comportando bem em regiões cafeeiras do Estado de Minas Gerais, quando comparadas a cultivares de 'Mundo Novo' e 'Catuaí'. Algumas delas têm-se destacado também por apresentarem excelente resistência à seca. Já se dispõe também de retrocruzamentos de 'Catimor' com cultivares de 'Catuaí' e 'Mundo Novo'. Tem-se procurado detectar resistência horizontal em progênes de Catimor que segregam para o grupo E.

5. RESUMO

Após ligeiros comentários sobre a evolução histórica dos estudos sobre a resistência de *Coffea* spp. a *Hemileia vastatrix*, notadamente sobre os trabalhos realizados no Centro das Ferrugens do Cafeeiro (CIFC) de Oeiras, Portugal, são relacionadas as fontes conhecidas de resistência ao patógeno.

Analizando-se as três alternativas sugeridas por ROBINSON (20) para obtenção de cultivares de café com resistência horizontal à ferrugem do cafeeiro, consi-

derou-se como mais viável a que preconiza seleção dentro do germoplasma de café existente na região, embora seja reduzida a chance de encontrar-se este tipo de germoplasma em população de café confinada e cultivada em ausência do patógeno há quase 250 anos, como é o caso da cafeicultura brasileira.

Programas de melhoramento de café visando à incorporação de resistência vertical aos cultivares tradicionais de *C. arabica* têm, dentro das limitações naturais do processo, procurado detectar, concomitantemente, a ocorrência de resistência horizontal nos germoplasmas trabalhados.

Considerando-se o bom desempenho de cultivares de *C. canephora* em relação ao ataque da ferrugem, mesmo em casos de ausência de resistência vertical, indaga-se sobre a possibilidade de maior ocorrência de resistência horizontal entre as espécies de café diplóides, que são alógamas. Da mesma forma, pode-se admitir maior chance de ocorrência de recombinação de fatores de resistência vertical complexa, o que, na prática, poderia resultar em redução da patogenidade horizontal.

Híbridos entre *C. arabica* e *C. canephora*, como 'Híbrido de Timor' e o 'Icatú', que apresentam em suas progêneses alta porcentagem de plantas pertencentes o grupo A, têm sido utilizadas pelo CIFC, pelo Instituto Agrônomo de Campinas e pela Universidade Federal de Viçosa em programas de hibridação, visando à transferência deste tipo de resistência complexa a cultivares de *C. arabica*. Progêneses de 'Catimor' ('Caturra' x 'H. Timor') têm apresentado plantas com boas características agrônomicas e com vários níveis de resistência vertical. Tem-se procurado detectar resistência horizontal em progêneses de 'Catimor' que não possuem fatores de resistência vertical a *H. vastatrix*.

6. SUMMARY

After a brief review of studies of resistance to the rust *Hemileia vastatrix* among species of *Coffea* and a survey of sources of resistance to coffee leaf rust, alternative strategies for obtaining coffee cultivars with horizontal resistance to the disease were discussed. Selection within the New World gene pool was considered most feasible, even though the chance of finding germ plasm with horizontal resistance in a confined population grown in the absence of the pathogen for almost a quarter of a century--the Brazilian situation--seems very small.

Coffee breeding programs aiming to incorporate vertical resistance into *Coffea arabica* cultivars have sought concomitantly to detect horizontal resistance in the germ plasms used.

In view of the good performance of *Coffea canephora* cultivars in respect to coffee rust, even in the absence of vertical resistance, one may ask whether there is more chance of finding horizontal resistance among the allogamous diploid species. Also, it seems logical to expect a higher frequency of recombination of complex vertical resistance factors which could result in reduction of horizontal susceptibility.

Hybrids of *C. arabica* x *canephora*, such as 'Híbrido de Timor' and 'Icatú', whose progenies include a high percentage of resistant plants belonging to group A, are being used in breeding programs in Angola and Brazil with the goal of transferring this type of complex resistance to *C. arabica* cultivars. Progenies of 'Catimor' ('Caturra' x 'Híbrido de Timor') have included plants of good agronomic quality and various levels of vertical resistance. Horizontal resistance has been sought in 'Catimor' progenies which do not show vertical resistance to *H. vastatrix*.

7. LITERATURA CITADA

1. BETTENCOUT, A.J. *Relatório sobre a ferrugem alaranjada e a cafeicultura de Angola e do Brasil*. Junta de Investigações do Ultramar. CIFC. Oeiras. Portugal. 1973. 22 p. (mimeografado).
2. BETTENCOUT, A.J. RODRIGUES JÚNIOR, C.J. & LOPES, J. Routine testing of rust (*Hemileia vastatrix* Berk. & Br.) samples from different areas of the world for surveying geographical distribution of the rust physiologic races. In: COFFEE RESEARCH CENTER. *Progress Report 1960/65*. Lisboa. 1965. p. 28-46.

3. BETTENCOUT, A.J. & CARVALHO, A. Melhoramento visando a resistência do cafeeiro à ferrugem. *Bragantia*, 27(4):35-68. 1968.
4. BLORE, T.W.D. Arabica coffee selections and genetic improvement in Kenya. *Kenya Coffee*, 30(359):45. 1965.
5. CARVALHO, A., MONACO L.C. & SCARANARI, H.J. Melhoramento do cafeeiro. XXIV — Variação na produtividade de cafeeiros importados, com referência especial ao material da Etiópia e Sudão. *Bragantia*, 21: 215-239. 1962.
6. FERNIE, L.M. Some new Arabic coffee hybrids. In: TANGANYIKA COFFEE RESEARCH STATION. *Research Report*, 1961, Lyamungu, Tanganyika Coffee Board, 1962. p. 20-26.
7. FERNIE, L.M. The selection of Arabica coffee at Lyamungu. III. The "H" series. In: TANGANYIKA COFFEE RESEARCH STATION. *Research Report*, 1962. Lyamungu, Tanganyika Coffee Board, 1963. p. 22-26.
8. FERNIE, L.M. Coffee breeding in Tanganyika. *Tanganyika Coffee News*, 6(1):19. 1965.
9. FLOR, H.H. Genetic control of host parasite interactions in rust diseases. In: PLANT PATHOLOGY PROBLEMS AND PROGRESS 1908-1958. (s.l.) (s.d.). 1959. p. 137-144.
10. HOOKER, A.L. The genetics and expression of resistance in plants to rusts of the genus *Puccinia*. *Annual Review of Phytopathology*, 5:163-182. 1967.
11. MAYNE, W.W. *Annual Report of the Coffee Scientific Officer*. 1931-1932. Mysore, Coffee Experiment Station. 1932. 32 p. (Bulletin n.º 7).
12. MAYNE, W.W. *Annual Report of the Coffee Scientific Officer*. 1931-1932. Mysore, Coffee Experiment Station. 1936. 21 p. (Bulletin n.º 14).
13. MAYNE, W.W. *Annual Report of the Coffee Scientific Officer*. 1931-1932. Mysore. Coffee Experiment Station. 1939. 16 p. (Bulletin n.º 19).
14. NARASIMHAWAMY, R.L., NAMBIAR, K.K.N. & SREENIVASAN, M.S. On work of testing races of leaf disease fungus at Central Coffee Research Institute, Balehonnur. *Indian Coffee*, 27(9):261-266 1963.
15. NORONHA, W.M. & BETTENCOURT, A.J. Genetic study of the resistance of *Coffea* spp. 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.
16. NORONHA, W.M. & BETTENCOURT, A.J. Genetics factors conditioning resistance of *Coffea arabica* L. to *Hemileia vastatrix* Berk & Br. *Agronomia Lusitana*, 31:285-292. 1971.
17. PERSON, C. Gene-for-gene relationships in host-parasite systems. *Canadian Journal of Botany*, 37:1101-1130. 1959.
18. RAYNER, R.W. Rust disease of coffee. III. Resistance. *World Crops*. 12 (7):261-264. 1960.
19. ROBINSON, R.A. Vertical Resistance. *Rev. Plant Pathology*, 50(5):233-239. 1971.
20. ROBINSON, R.A. *The search and need for horizontal resistance to coffee rust and prospects for similar resistance to CBD in Ethiopia*. Turrialba, C. Rica, 1973, 12 p. (Reunião de Peritos no Controle da Ferrugem do Cafeeiro).
21. RODRIGUES JÚNIOR, C.L. & BETTENCOURT, A.J. Routine screening for resistance to *Hemileia vastatrix* Berk. & Br. and selection of coffee clones for

- the establishment of a standard range of differential hosts for this rust. In: COFFEE RUST RESEARCH CENTER. *Progress Report 1960/65*. Lisboa, 1965. p. 21-27.
22. RODRIGUES JÚNIOR, C.J., BETTENCOURT, A.J. & LOPES, J. Study of the physiologic especialization of the coffee rust *Hemileia vastatrix* Berk. & Br. and selection of coffee clones for the establishment of a standard range of differential hosts for this rust. In: COFFEE RUST RESEARCH CENTER. *Progress Report 1960/65*. Lisboa. 1965. p. 21-27.
 23. UMAERUS, V. Studies on field resistance to *Phytophthora infestans*. 5. Mechanisms of resistance and applications to potato breeding. *Z. Pflanzenguchtg.* 63(1):1-23. 1970.
 24. VAN DER PLANK, J.E. *Disease resistance in plants*. N. York, Academic Press, 1968. 206 p.
 25. WARD, H.M. The life history of *Hemileia vastatrix* on coffee. *Journal of Botany* (n.s.) 20(11):22-24; 55-57; 255. 1882.