

Metodologias para obtenção de resistência e/ou tolerância da soja à ferrugem-asiática.

Wilmar Ferreira Lima¹, Cássio Egídio Cavenaghi Prete¹ Aliny Simony Ribeiro², Marcelo Fernandes de Oliveira³, Geraldo Estevam de Souza Carneiro³, Carlos Alberto Arrabal Arias³, Antonio Eduardo Pípelo³ e José Francisco Ferraz de Toledo³

¹Professores – Universidade Estadual de Londrina, Departamento de Agronomia – Cx. Postal 6001, Londrina, PR. CEP: 86051-990. E-mail: wilmar.fl@uel.br, cassio@uel.br. ²Pós doutorada, bolsista do CNPq, Embrapa soja. Caixa Postal 231, CEP: 86001-970, Londrina, PR. E-mail: aliny@cnpso.embrapa.br. ³Pesquisadores doutores, Embrapa Soja, Caixa Postal 231, CEP: 86001-970, Londrina, PR. E-mail: marcelo@cnpso.embrapa.br, estevam@cnpso.embrapa.br, arias@cnpso.embrapa.br, pipelo@cnpso.embrapa.br, jftoledo@uol.com.br . Autor para correspondência: Wilmar Ferreira Lima (wilmar.fl@uel.br)
Data de chegada: 30/05/2011. Aceito para publicação em: 18/02/2012.

1758

RESUMO

Lima, W.F.; Prete, C.E.C.; Ribeiro, A.S.; Toledo, J.F.F. Metodologias para obtenção de resistência e/ou tolerância da soja à ferrugem-asiática. *Summa Phytopathologica*, v.38, n.1, p.67-72, 2012.

Os objetivos deste trabalho foram complementar os estudos dos mecanismos genéticos da resistência e tolerância da soja à ferrugem-asiática e sugerir metodologias de melhoramento que permitam o acúmulo de genes maiores e menores. Seis experimentos foram realizados durante três safras em Londrina, PR, de 2005/06 a 2007/08, envolvendo cinco parentais e as gerações derivadas F₂, F₃ e F₄. Foi utilizado o delineamento inteiramente casualizado, com parcelas em covas. As metodologias propostas foram planejadas para superar as dificuldades do melhorista em selecionar

genes menores na presença de genes maiores. Isto é resolvido conduzindo populações segregantes F₂, F₃ e F₄ numerosas para melhorar as chances de encontrar recombinações favoráveis e submetendo-as à pressão do patógeno para aumentar a frequência de genótipos resistentes/tolerantes na população F₄ ou F₅ quando plantas individuais serão selecionadas para formação de progênies. Consequentemente, a frequência de progênies F₅ ou F₆ superiores possuidoras de alelos nos genes menores e maiores também será aumentada.

Palavras-chave adicionais: *Phakopsora pachyrhizi*, *Glycine Max*, métodos de melhoramento, resistência à doença, melhoramento de soja.

ABSTRACT

Lima, W.F.; Prete, C.E.C.; Ribeiro, A.S.; Toledo, J.F.F. Methodologies for breeding towards resistance and/or tolerance of soybean the Asian rust. *Summa Phytopathologica*, v.38, n.1, p.67-72, 2012.

The objectives of this work were to complement the studies on the genetic control of soybean resistance to rust and to suggest a breeding methodology that allows the recombination and selection of soybean genotypes carrying major and minor genes for rust resistance. Six experiments were carried out in Londrina, PR during three growing seasons from 2005/06 to 2007/08 involving five parents and their derived F₂, F₃ and F₄ segregating populations. A completely randomized design was used with single plant hill-plots. The proposed

methodologies were designed to overcome the difficulties breeders face while selecting for minor gene resistance in the presence of major genes. This is dealt with by breeding large F₂, F₃ and F₄ segregant populations to improve the changes of the favorable gene combinations to appear and increasing genotype homozygosity under pathogen pressure to enhance the frequency of the favorable genotypes in the populations F₅ populations. This will also increase the chances of superior F₆ to appear from plant selection in the populations.

Keywords: *Phakopsora pachyrhizi*, *Glycine Max*, breeding methods, disease resistance, soybean breeding.

A soja (*Glycine max* (L.) Merrill) é a cultura com a maior área cultivada no Brasil. Na safra de 2010/2011 a área cultivada foi de 24,17 milhões de hectares, seguida pelo milho com 13,29 milhões de hectares e pela cana-de-açúcar com 8,03 milhões de hectares (6). O Brasil é o segundo produtor mundial de soja, sendo responsável por aproximadamente 27,7% da produção mundial (22).

A ferrugem-asiática (*Phakopsora pachyrhizi* Syd. e P. Syd.) foi detectada pela primeira vez no Brasil no final da safra 2000/01. Na safra 2001/02 foi relatada nas principais regiões produtoras, desde o Rio Grande do Sul até o Mato Grosso, onde nos casos mais severos, as perdas atingiram até 70% (25). Na safra seguinte espalhou-se em

praticamente todas as regiões produtoras, representando uma ameaça para a cultura em função dos prejuízos causados e do aumento do custo de produção para seu controle (8).

O uso de cultivares resistentes e/ou tolerantes é o método de controle mais eficiente e barato para os produtores, além de ser o mais adequado às práticas de conservação do ambiente. Devido ao fungo *Phakopsora pachyrhizi* possuir diversas raças com genes múltiplos de virulência (20) e também, possuir habilidade de reter fatores de virulência desnecessários em alta frequência na população (21), a resistência vertical, conferida por genes maiores, provavelmente não será durável, mesmo quando usados em associação (piramidamento)

(21). Como exemplo, citamos a resistência conferida pelos genes maiores *Rpp1*, *Rpp2*, *Rpp3* e *Rpp4* (12, 3, 11, 10) que já foi quebrada em diferentes regiões do mundo (24). No Brasil, a resistência conferida pelos genes *Rpp1* e *Rpp3* foi quebrada pelo novo isolado da ferrugem-asiática proveniente do Brasil Central (1, 26).

A resistência horizontal, normalmente controlada por muitos genes, cada qual conferindo um pequeno efeito, é um tipo de resistência efetivo contra um número maior de raças do fungo e sua ação consiste em reduzir a taxa de desenvolvimento da doença. A detecção de resistência horizontal requer a realização de avaliações periódicas da severidade da doença, durante algumas safras (4). Por esse motivo, sua quantificação é difícil e exige um grande esforço, o que limita seu uso e faz que sejam raros os trabalhos desse tipo.

A tolerância é observada em uma situação onde uma planta é atacada por um patógeno na mesma intensidade que outras plantas, mas como resultado da infecção sofre menos danos em termos de produtividade ou qualidade do produto (18). Também, normalmente, é controlada por muitos genes e é efetiva contra um número maior de raças do fungo. A tolerância normalmente tem sido obtida por meio da avaliação da produtividade relativa de grãos, comparando parcelas de um mesmo genótipo com e sem proteção por fungicida.

Bons resultados são obtidos com a combinação de resistência horizontal e vertical (23). A literatura de resistência a doenças discute com frequência o uso alternativo da resistência horizontal e vertical. Raramente reconhece, no entanto, que os dois tipos apresentam resultados sensivelmente melhores quando usados em combinação (5).

Este trabalho teve como objetivos complementar os estudos dos mecanismos genéticos do controle da resistência/tolerância da soja à ferrugem-asiática e sugerir metodologias de melhoramento envolvendo genes maiores e menores, através dos resultados de experimentos realizados durante três anos em Londrina, Paraná.

MATERIALE MÉTODOS

Seis experimentos foram realizados nos anos agrícolas 2005/06, 2006/07 e 2007/08, na fazenda experimental da Embrapa Soja, em Londrina, PR, localizada a 23° 22' de latitude sul. Dois experimentos foram instalados no campo em 2005/06, sendo que o primeiro foi tratado com fungicidas e semeado em 03/11/2005. O segundo não foi tratado com fungicidas e sofreu inoculações com o patógeno nas bordaduras, sendo semeado em 10/11/2005. Os genótipos parentais utilizados nos experimentos foram: BRSGO-7560 (cultivar de grupo de maturação 7.5, descendente da cultivar Abura e portadora de gene maior recessivo para resistência à ferrugem-asiática da soja, (14)); BRS 184 (cultivar de grupo de maturação 6.7, sendo portanto precoce, susceptível à ferrugem da soja); BRS 231 (cultivar de grupo de maturação 7.5, portadora de genes menores para resistência à ferrugem (17)); BRS 232 (cultivar de grupo de maturação 7.0, susceptível à ferrugem da soja) e EMBRAPA 48 (cultivar de grupo de maturação 6.8, susceptível à ferrugem da soja). Neste ano agrícola, além dos parentais, foi utilizada a geração F_2 dos 10 cruzamentos entre eles, sem recíprocos. Os parentais foram representados por 50 repetições cada um e a geração F_2 por 120 plantas (repetições) para cada cruzamento. Cada experimento foi composto por 1.450 parcelas, em delineamento inteiramente casualizado, utilizando a metodologia de cultivo em covas (01parcela = 01 cova = 01planta).

No ano agrícola 2006/07 os procedimentos experimentais foram semelhantes aos do ano 2005/06, inclusive as datas de semeadura.

Nesses experimentos, além dos parentais e geração F_2 foi incluída a geração F_3 . Os parentais foram representados por 50 repetições cada um; a geração F_2 por 160 plantas (repetições) para cada cruzamento e a geração F_3 por 40 famílias com cinco plantas cada, para cada cruzamento; totalizando 3.850 parcelas por experimento.

No ano agrícola 2007/08 dois experimentos foram instalados em campo. O primeiro foi semeado em 30/10/2007, além dos cinco parentais foi incluída a geração F_4 dos 10 cruzamentos entre eles, sem recíprocos. Os parentais foram representados por 50 repetições cada um e a geração F_4 de cada cruzamento por 50 famílias com três plantas cada, totalizando 1.750 parcelas. O segundo experimento foi semeado no dia 13/11/2007, utilizando os genótipos parentais e as gerações F_2 e F_3 . Os parentais foram representados por 50 repetições, a geração F_2 por 160 repetições para cada cruzamento e a geração F_3 por 40 famílias com cinco plantas cada, para cada cruzamento, totalizando 3.850 parcelas. Os experimentos deste ano agrícola não foram tratados com fungicidas.

Os procedimentos experimentais como preparo do solo, adubação, controle de plantas daninhas e insetos, de todos os experimentos foram semelhantes e incluíram irrigações suplementares. A distância entre covas nas linhas úteis foi de 20 cm e a distância entre as linhas úteis de 1,5 m. No intervalo entre as duas linhas úteis foram semeadas duas linhas de bordadura, utilizando uma mistura de sementes remanescentes dos genótipos em experimentação. A densidade de semeadura dessas linhas ficou próxima a 250.000 plantas.ha⁻¹.

Foi utilizado como inóculo da ferrugem-asiática o isolado do Estado do Mato Grosso que quebrou a resistência dos genes *Rpp1* e *Rpp3* (26). Os procedimentos de manutenção, coleta, preparo, concentração e aplicação do inóculo estão descritos em Ribeiro et al. (17) e Pierozzi et al. (14). Nos experimentos de 2005/06 e 2006/07 foram realizadas duas inoculações. A primeira ocorreu no estágio de desenvolvimento V_3 (9) e a segunda uma semana depois. Nos experimentos de 2007/08 foi feita apenas uma inoculação no estágio de desenvolvimento V_5 ou R_1 (9).

Nos experimentos tratados com fungicidas nos anos agrícolas de 2005/06 e 2006/07 foram feitas cinco aplicações, num intervalo de cerca de 15 dias entre as aplicações, sendo as duas primeiras com o fungicida Flutriafol (62,5 g i.a.ha⁻¹) e as outras três com o fungicida Tebuconazole (100 g i.a.ha⁻¹). Em cada ano, a primeira aplicação de fungicida foi realizada no primeiro experimento, no mesmo dia da primeira inoculação com o patógeno no segundo experimento.

As plantas foram colhidas no estágio R_7 (9), secadas a sombra, trilhadas e pesadas individualmente. As análises das médias e variâncias dos dados de produtividade de grãos dos três anos de experimentação foram calculadas utilizando o programa computacional SGQ (Sistema de Genética Quantitativa), desenvolvido no Centro Nacional de Pesquisa de Soja (Embrapa Soja). As análises estatísticas foram feitas usando o procedimento "PROC GLM" do módulo de estatística do SAS (19). A comparação entre as médias foi feita através do teste Scott-Knott a 5% de probabilidade, utilizando o programa GENES (7).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 mostra os resultados das análises conjuntas de médias e variâncias dos parentais e das gerações F_2 e F_3 para a característica produtividade de grãos (g/parcela), dos anos agrícolas 2005/06, 2006/07 e 2007/08 experimento II (experimentos não tratados com fungicidas). Experimentos conduzidos por Ribeiro et al. (17) e Pierozzi

et al. (14) mostraram que os genes de resistência à ferrugem-asiática possuem efeitos predominantemente aditivos e que estão dispersos nos parentais e que as interações dos efeitos dos genótipos com anos, embora significativas, são do tipo simples e não causam alterações importantes nas estimativas dos parâmetros genéticos. A análise das médias confirmou haver variabilidade entre genótipos para a característica resistência e/ou tolerância à ferrugem, observando-se a superioridade do parental BRSGO-7560, que apresenta um gene maior recessivo (resistência vertical) (14). Na sequência de melhor desempenho vem o parental BRS 231, que possui genes menores para resistência à ferrugem (resistência horizontal) (17). Os próximos melhores parentais foram a cultivar BRS 184 e a Embrapa 48 que não diferem significativamente entre si pelo teste de Scott e Knott a 5%. A cultivar BRS 184 é o parental mais precoce e a EMBRAPA 48 é o segundo parental com maior precocidade e, portanto, podem ter atingido uma produtividade de grãos relativamente elevada devido ao menor tempo de exposição à ferrugem. Ainda observando os dados da Tabela 1 (análise conjunta de anos) constata-se que, em média, os melhores genótipos (mais produtivos) das gerações F₂ e F₃ são os originários dos cruzamentos onde a BRSGO-7560 está presente. Após os cruzamentos com a BRSGO-7560, os cruzamentos com produtividade de grãos maior, foram BRS 184 X EMBRAPA 48 e BRS 184 X BRS 231, que não diferiram entre si pelo teste de Scott e Knott a 5%. No cruzamento BRS 184 X BRS 231, provavelmente conciliou-se a precocidade da BRS 184 com a resistência horizontal da BRS 231.

Esses dados indicam que na presença de genes maiores (BRSGO-7560), o melhorista deverá encontrar dificuldades para selecionar os genótipos que também agregam, em seu genoma, os genes menores para resistência e/ou tolerância à ferrugem-asiática, conforme já relatado na literatura (13). Essa dificuldade acentua-se se os genes maiores mostrarem efeitos de dominância e, nesse caso, a seleção dos genótipos deverá ser postergada para gerações mais avançadas, com maior grau de homozigose. Como a resistência horizontal condicionada por genes menores pode atuar sobre fatores como período latente mais longo, número e tamanho reduzidos de lesões, número de urédias e de esporos por lesão menores e viabilidade inferior dos esporos, há provavelmente grande número de genes envolvidos (2, 14, 17). Portanto, o programa de melhoramento deve conduzir populações F₂, F₃, F₄ e F₅ numerosas, em torno de 2.500 plantas por geração, para aumentar a probabilidade

do aparecimento de combinações favoráveis dos genes maiores (resistência vertical) e menores (resistência horizontal) nos genótipos descendentes. O melhoramento genético combinando os dois tipos de resistência foi recomendado por Vanderplank (23) e Camargo e Bergamin Filho (5).

Uma outra estratégia de melhoramento é a avaliação de genótipos que não possuem genes maiores de resistência, sob condições de pressão de doença, selecionando os genótipos mais produtivos e cruzando eles entre si. Conduzir populações segregantes numerosas pelo método de população (bulk), sob condições de pressão da doença. Os genótipos selecionados terão maior possibilidade de possuir genes menores de resistência (resistência horizontal) e ou tolerância à ferrugem-asiática. Prosseguir no melhoramento até conseguir linhagens produtivas como as cultivares recomendadas (seleção recorrente). Posteriormente, essas linhagens poderão receber genes maiores de resistência, por retrocruzamento, obtendo assim, linhagens com a combinação de resistência horizontal e vertical, recomendadas por Vanderplank (23) e Camargo e Bergamin Filho (5).

Os dados de severidade da ferrugem-asiática desses experimentos estão publicados (15, 16).

As Tabelas 2 e 3 mostram os dados de média e variância de produtividade de grãos dos parentais e gerações F₂, F₃ e F₄ dos seus respectivos cruzamentos nos anos individuais (2005/06 a 2007/08). Por esses dados também foi possível observar a superioridade da cultivar BRSGO-7560 e dos cruzamentos onde ela participa, sendo mais evidente nos anos agrícolas 2005/06 e 2006/07, onde a pressão da doença foi maior. Nos experimentos do ano agrícola 2007/08, onde a pressão da doença foi menor, essa vantagem não foi tão evidente, sugerindo que nos experimentos onde a pressão da doença foi maior houve melhor separação entre os genótipos com resistência e/ou tolerância à ferrugem-asiática.

A Tabela 4 mostra as médias e os respectivos erros padrões dos parentais e das gerações F₂ e F₃ para a característica produtividade de grãos (g/parcela) dos experimentos tratados e não tratados com fungicidas, nos anos agrícolas 2005/06 e 2006/07. Os dados de média mostram variabilidade entre os genótipos analisados também na ausência da ação do patógeno, e conforme esperado, nos experimentos tratados com fungicidas os genótipos têm produtividade de grãos mais elevada. As produtividades de grãos da cultivar BRSGO-7560 foram semelhantes as das cultivares BRS 184, BRS 231 e superiores às das

Tabela 1. Médias e variâncias conjuntas de anos para a característica produtividade de grãos (g/parcela⁻¹), para os parentais (quatro experimentos em três anos agrícolas, 2005/06, 2006/07, 2007/08 exp. I e 2007/08 exp. II), geração F₂ (2005/06, 2006/07 e 2007/08 exp. II) e geração F₃ (2006/07 e 2007/08 exp. II), experimentos não tratados com fungicidas, em Londrina, PR.

Genótipo	Parentais		Cruzamento	Geração F ₂		Cruzamento	Geração F ₃	
	g/parcela ¹	Variância		g/parcela ¹	Variância		g/parcela ¹	Variância
BRSGO-7560	15,087 A	36,55	BRSGO-7560 X Embrapa 48	11,838 A	37,39	BRSGO-7560 X BRS 231	11,443 A	45,71
BRS 231	10,711 B	38,29	BRSGO-7560 X BRS 231	11,642 A	37,95	BRSGO-7560 X BRS 232	11,361 A	43,43
BRS 184	9,247 C	34,51	BRSGO-7560 X BRS 232	11,514 A	42,81	BRSGO-7560 X Embrapa 48	11,212 A	35,70
Embrapa 48	8,605 C	28,49	BRSGO-7560 X BRS 184	10,585 B	39,82	BRSGO-7560 X BRS 184	10,989 A	36,55
BRS 232	6,969 D	26,81	BRS 184 X Embrapa 48	10,012 C	29,93	BRS 184 X Embrapa 48	10,086 B	34,03
			BRS 184 X BRS 231	9,625 C	48,27	BRS 184 X BRS 231	9,957 B	43,79
			BRS 231 X Embrapa 48	8,908 D	41,85	BRS 184 X BRS 232	9,147 C	35,57
			BRS 184 X BRS 232	8,701 D	31,66	BRS 231 X Embrapa 48	9,060 C	35,08
			BRS 231 X BRS 232	8,698 D	29,45	BRS 232 X Embrapa 48	8,937 C	27,58
			BRS 232 X Embrapa 48	7,927 E	23,28	BRS 231 X BRS 232	8,597 C	37,91

¹Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas na vertical, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott e Knott a 5% de probabilidade.

Tabela 2. Análises de média e variância para a característica produtividade de grãos (g.parcela⁻¹), dos parentais e gerações F e F nos anos agrícolas 2005/2006 e 2006/07, experimentos não tratados com fungicidas, em Londrina, PR.

Genótipos/ Cruzamentos	Número de Repetições	g/parcela ¹	Variância
(i) 2005/06			
BRS GO-7560	50	11,300 A	16,00
BRS GO-7560 X BRS 232	119	9,272 B	36,10
BRS GO-7560 X BRS 231	117	9,202 B	25,27
BRS GO-7560 X EMBRAPA 48	118	8,220 C	20,52
BRS GO-7560 X BRS 184	120	7,611 D	16,84
BRS 184 X BRS 231	119	7,314 D	25,86
BRS 184 X EMBRAPA 48	119	7,294 D	16,28
BRS 231	49	6,753 E	13,15
BRS 231 X EMBRAPA 48	120	6,441 E	15,19
BRS 231 X BRS 232	119	5,708 F	20,53
BRS 184 X BRS 232	118	5,635 F	13,36
BRS 184	48	5,344 G	11,59
BRS 232 X EMBRAPA 48	119	5,092 G	11,83
EMBRAPA 48	50	4,610 H	4,85
BRS 232	50	3,894 I	7,21
(ii) 2006/07			
BRS GO-7560	50	10,582 A	14,03
F ₂ BRS GO-7560 X BRS 231	154	7,622 B	13,00
F ₃ BRS GO-7560 X BRS 231	195	6,997 B	19,38
F ₂ BRS GO-7560 X BRS 184	156	6,352 C	15,16
F ₂ BRS GO-7560 X EMBRAPA 48	158	6,229 C	11,20
F ₂ BRS GO-7560 X BRS 232	157	5,951 C	15,07
F ₂ BRS 184 X BRS 231	158	5,910 C	12,07
F ₃ BRS 184 X BRS 231	196	5,666 C	9,11
F ₃ BRS GO-7560 X BRS 232	194	5,606 C	13,77
F ₃ BRS GO-7560 X BRS 184	194	5,492 C	10,64
F ₃ BRS GO-7560 X EMBRAPA 48	197	5,302 C	11,95
F ₂ BRS 231 X BRS 232	158	5,084 D	9,87
BRS 231	49	4,900 D	4,57
F ₂ BRS 184 X EMBRAPA 48	156	4,549 D	6,54
F ₃ BRS 184 X EMBRAPA 48	197	4,475 D	6,20
F ₃ BRS 231 X BRS 232	199	4,404 D	8,30
F ₂ BRS 231 X EMBRAPA 48	156	4,190 E	7,30
F ₃ BRS 231 X EMBRAPA 48	196	4,145 E	5,70
BRS 184	49	3,912 E	3,54
F ₃ BRS 184 X BRS 232	193	3,896 E	7,97
F ₂ BRS 184 X BRS 232	157	3,885 E	6,98
F ₃ BRS 232 X EMBRAPA 48	198	3,332 F	5,05
F ₂ BRS 232 X EMBRAPA 48	157	3,316 F	4,20
BRS 232	50	2,864 F	5,17
EMBRAPA 48	48	2,613 F	1,45

¹ Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas na vertical, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott e Knott a 5% de probabilidade no mesmo ano agrícola.

Tabela 3. Análises de média e variância para a característica produtividade de grãos (g.parcela⁻¹), para os parentais e geração F no ano agrícola 2007/2008 (experimento I) e para os parentais e gerações F e F no ano agrícola 2007/08 (experimento II), experimentos não tratados com fungicidas, em Londrina, PR.

Genótipos/ Cruzamentos	Número de Repetições	g/parcela ¹	Variância
(i) 2007/08 Experimento I			
BRS GO-7560	48	21,325 A	84,34
BRS 231	50	14,760 B	62,39
BRS 184	49	13,604 B	69,01
BRS GO-7560 X BRS 231	145	13,253 B	72,58
BRS GO-7560 X EMBRAPA 48	143	12,671 B	70,21
EMBRAPA 48	48	12,465 B	54,68
BRS GO-7560 X BRS 184	148	12,429 B	79,63
BRS 184 X EMBRAPA 48	147	12,022 B	82,56
BRS 184 X BRS 232	146	11,666 C	66,13
BRS GO-7560 X BRS 232	147	11,533 C	74,70
BRS 232 X EMBRAPA 48	146	10,662 C	56,84
BRS 184 X BRS 231	141	10,522 C	64,05
BRS 232	49	10,312 C	42,11
BRS 231 X EMBRAPA 48	143	10,276 C	75,45
BRS 231 X BRS 232	139	9,025 C	51,13
(ii) 2007/08 Experimento II			
F ₂ BRS GO-7560 X EMBRAPA 48	158	20,148 A	76,16
F ₂ BRS GO-7560 X BRS 232	159	18,684 A	75,21
F ₂ BRS 184 X EMBRAPA 48	155	17,596 B	63,93
BRS GO-7560	50	17,390 B	33,78
F ₂ BRS GO-7560 X BRS 231	159	17,331 B	71,41
F ₂ BRS GO-7560 X BRS 184	154	17,190 B	82,67
F ₃ BRS GO-7560 X EMBRAPA 48	157	17,123 B	59,45
F ₃ BRS GO-7560 X BRS 232	197	17,027 B	72,63
F ₃ BRS GO-7560 X BRS 184	196	16,430 B	62,19
BRS 231	49	16,349 B	72,53
F ₃ BRS 184 X EMBRAPA 48	190	15,904 B	63,04
F ₃ BRS GO-7560 X BRS 231	197	15,844 B	71,91
F ₂ BRS 184 X BRS 232	157	15,822 B	70,05
F ₂ BRS 231 X EMBRAPA 48	157	15,483 C	96,52
F ₂ BRS 184 X BRS 231	154	15,223 C	102,7
F ₂ BRS 232 X EMBRAPA 48	154	14,820 C	51,56
F ₂ BRS 231 X BRS 232	155	14,675 C	82,04
EMBRAPA 48	50	14,648 C	52,95
F ₃ BRS 232 X EMBRAPA 48	196	14,598 C	50,34
F ₃ BRS 184 X BRS 231	189	14,406 C	79,94
F ₃ BRS 184 X BRS 232	195	14,345 C	62,88
BRS 184	48	14,148 C	53,83
F ₃ BRS 231 X EMBRAPA 48	198	13,925 C	64,16
F ₃ BRS 231 X BRS 232	191	12,967 D	68,76
BRS 232	49	10,953 D	53,60

¹ Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas na vertical, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott e Knott a 5% de probabilidade no mesmo experimento.

Tabela 4. Redução na produtividade de grãos comparando peso (g.parcela⁻¹) de parcela sem fungicida (A) e peso de parcela com fungicida (B), dos parentais e geração F₂ nos anos agrícolas 2005/2006 e 2006/2007, e geração F₃ no ano agrícola 2006/2007, em Londrina, PR.

Genótipo/Cruzamento	Ano Agrícola 2005/2006			Ano Agrícola 2006/2007		
	Peso S/ Fung. (A)	Peso C/ Fung. (B)	A/B	Peso S/ Fung. (A)	Peso C/ Fung. (B)	A/B
BRSO-7560	11,30 ± 0,57	34,64 ± 1,50	0,33	10,58 ± 0,53	29,06 ± 1,26	0,36
BRS 184	5,34 ± 0,49	33,70 ± 1,89	0,16	3,91 ± 0,27	25,57 ± 1,28	0,15
BRS 231	6,75 ± 0,52	37,96 ± 1,95	0,18	4,90 ± 0,31	31,18 ± 1,38	0,16
BRS 232	3,89 ± 0,38	24,09 ± 1,60	0,16	2,86 ± 0,32	15,09 ± 0,76	0,19
EMBRAPA 48	4,61 ± 0,31	25,29 ± 1,31	0,18	2,61 ± 0,17	17,63 ± 0,97	0,15
F ₂ BRSO-7560 X BRS 184F ₃ BRSO-7560 X BRS 184	7,61 ± 0,38	32,74 ± 1,23	0,23	6,35 ± 0,315,47 ± 0,23	33,69 ± 1,0224,74 ± 0,83	0,190,22
F ₂ BRSO-7560 X BRS 231F ₃ BRSO-7560 X BRS 231	9,20 ± 0,47	34,50 ± 1,19	0,27	7,62 ± 0,296,80 ± 0,31	33,35 ± 1,0130,09 ± 0,96	0,230,23
F ₂ BRSO-7560 X BRS 232F ₃ BRSO-7560 X BRS 232	9,27 ± 0,55	38,09 ± 1,46	0,24	5,95 ± 0,315,61 ± 0,27	28,81 ± 0,9827,51 ± 0,91	0,210,20
F ₂ BRSO-7560 X EMBRAPA 48F ₃ BRSO-7560 X EMBRAPA 48	8,22 ± 0,42	36,60 ± 1,44	0,23	6,23 ± 0,275,30 ± 0,25	26,48 ± 0,8024,54 ± 0,77	0,240,22
F ₂ BRS 184 X BRS 231 F ₃ BRS 184 X BRS 231	7,31 ± 0,47	39,80 ± 1,62	0,18	5,91 ± 0,285,64 ± 0,22	37,15 ± 1,2331,91 ± 1,05	0,160,18
F ₂ BRS 184 X BRS 232 F ₃ BRS 184 X BRS 232	5,63 ± 0,34	30,64 ± 1,19	0,18	3,88 ± 0,213,90 ± 0,20	27,09 ± 0,8623,51 ± 0,73	0,140,17
F ₂ BRS 184 X EMBRAPA 48F ₃ BRS 184 X EMBRAPA 48	7,29 ± 0,37	33,63 ± 1,31	0,22	4,55 ± 0,214,45 ± 0,18	27,94 ± 0,7825,55 ± 0,66	0,160,17
F ₂ BRS 231 X BRS 232 F ₃ BRS 231 X BRS 232	5,71 ± 0,42	32,39 ± 1,49	0,18	5,02 ± 0,254,40 ± 0,20	29,96 ± 1,0725,80 ± 0,87	0,170,17
F ₂ BRS 231 X EMBRAPA 48F ₃ BRS 231 X EMBRAPA 48	6,44 ± 0,36	37,77 ± 1,57	0,17	4,19 ± 0,224,13 ± 0,17	28,66 ± 1,0626,16 ± 0,93	0,150,16
F ₂ BRS 232 X EMBRAPA 48F ₃ BRS 232 X EMBRAPA 48	5,09 ± 0,32	28,62 ± 1,17	0,18	3,32 ± 0,163,33 ± 0,16	22,48 ± 0,7318,47 ± 0,60	0,150,18

cultivares BRS 232 e Embrapa 48. Observou-se que, além de ser o parental mais produtivo, a cultivar BRS 231 teve participação como parental nos cruzamentos mais produtivos.

Ainda na Tabela 4, a comparação das produtividades de grãos dos experimentos inoculados com o patógeno e sem controle da ferrugem com fungicidas, com a dos experimentos tratados com fungicidas, nos anos agrícolas 2005/2006 e 2006/2007, observa-se que o parental BRSO-7560 é o que possui a maior “resistência e/ou tolerância” à ferrugem, pois sofreu a menor redução de produtividade de grãos. Os cruzamentos em que a BRSO-7560 participou também foram os que sofreram menores reduções de produtividade nas gerações F₂ e F₃. Portanto, quando se usa a metodologia de parcela tratada e não tratada, sob pressão de ferrugem, para selecionar cultivares com genes menores para resistência e/ou tolerância à ferrugem-asiática, se genes maiores estiverem presente, estes poderão dificultar a seleção pelo melhorista dos genótipos possuidores de genes menores. Esta constatação está de acordo com o que foi observado por Parlevliet (13), o qual afirma que a seleção para resistência parcial ou horizontal, na presença de genes maiores para resistência (resistência vertical), pode ser ineficaz, uma vez que o efeito dos genes maiores dificulta a detecção dos efeitos dos genes menores.

No entanto, os dados mostram consistência de aumento de resistência e/ou tolerância à ferrugem. Na Tabela 4, observa-se que as gerações F₂ e F₃ do cruzamento entre BRSO-7560 e BRS 231 foram os que sofreram menores reduções de produtividade de grãos nas condições dos experimentos não tratados e tratados com fungicidas. Como esta metodologia de comparação de experimentos tratados e não tratados é trabalhosa, pode-se propor a seleção pela produtividade de grãos sob pressão do patógeno, conforme recomendada por Tschanz e Wang (21). Selecionar apenas pela produtividade de grãos, torna o método de fácil aplicação prática em relação às avaliações de severidade, esporulação, entre outras, extremamente trabalhosas.

Uma possível solução para se agregar os efeitos dos genes maiores e menores nos genótipos dos programas de melhoramento para resistência à ferrugem seria avançar populações segregantes numerosas

sob pressão do patógeno para contar com apoio da seleção “natural” e postergar a seleção até a geração F₄ ou F₅, onde os genótipos estarão mais fixados. Esse procedimento provavelmente anularia o problema de confundimento dos efeitos de genes maiores e menores nas seleções realizadas pelos melhoristas em plantas individuais das gerações iniciais do programa. Essa estratégia está sendo utilizada no programa de melhoramento genético de soja para resistência e/ou tolerância à ferrugem da Embrapa Soja. Progênes F₃ descendentes de populações segregantes (F₂, F₃ e F₄) têm demonstrado resistência e/ou tolerância à ferrugem em campo experimental, sob pressão do fungo *P. pachyrhizi* inoculado, superiores às das progênes portadoras de genes maiores e desenvolvidas sem pressão do patógeno.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à FINEP e ao CNPq pelo financiamento parcial da pesquisa e pela bolsa de produtividade e pesquisa do terceiro autor.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arias, C.A.A.; Ribeiro, A.S.; Yorinori, J.T.; Brogin, R.L.; Oliveira, M.F.; Toledo, J.F.F. Inheritance of resistance of soybean to rust (*Phakopsora pachyrhizi* Sidow). In: Moscardi *et al.* (Eds.). World Soybean Research Conference, 7; International Soybean Processing and Utilization Conference, 4; Congresso Brasileiro de Soja, 3, 2004, Foz do Iguassu. **Abstracts of contributed papers and posters.** Londrina: Embrapa soybean, 2004. p. 100. (Embrapa Soja. Documentos, 228).
- Arias, C.A.A.; Toledo, J.F.F.; Almeida, L.A.; Pópulo, A.E.; Carneiro, G.E.S.; Abdelnoor, R.V.; Rachid, B.F.; Ribeiro, A.S. Asian rust in Brazil: varietal resistance. In: Kudo *et al.* (Ed.). **Facing the challenge of soybean rust in South America.** Tsukuba: JIRCAS; Londrina: Embrapa Soybean, 2008. p. 29-30. (JIRCAS Working Report, 58).

3. Bromfield, K.R.; Hartwig, E.E. Resistance to soybean rust and mode of inheritance. **Crop Science**, Madison, v.20, n.2, p. 254-255, 1980.
4. Bromfield, K.R. **Soybean rust**. Monography No 11. St. Paul: American Phytopathological Society Press, MN. 1984. 65 p.
5. Camargo, L.E.; Bergamin Filho, A. Controle Genético. In: Bergamin Filho et al. (Eds.). **Manual de fitopatologia**, 3. Ed., São Paulo: Agronômica Ceres, 1995. v.1, cap. 37, p. 729-760.
6. Companhia Nacional de Abastecimento. **Séries históricas de área, produtividade e produção de grãos**. Brasília, Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1253&t=>>. Acesso em: 19 abril 2011.
7. Cruz, C.D. **Programa GENES**: versão Windows, aplicativo computacional em genética e estatística. Viçosa, MG, UFV, 2001. 648 p.
8. EMBRAPA – Centro Nacional de Pesquisa de Soja. In: **Tecnologias de produção de soja – Paraná 2007**. Londrina, 2006.
9. Fehr, W.R.; Caviness, C.E.; Burmood, D.T.; Pennington, J.S. Stage of development descriptions for soybeans, *Glycine max* (L.) Merrill. **Crop Science**, Madison, v.11, n.6, p. 929-931, 1971.
10. Hartwig, E.E. Identification of a fourth major gene conferring resistance to soybean rust. **Crop Science**, Madison, v.26, n.6, p. 1135-1136, 1986.
11. Hartwig, E.E.; Bromfield, K.R. Relationships among three genes conferring specific resistance to rust in soybeans. **Crop Science**, Madison, v.23, n.2, p. 237-239, 1983.
12. Mclean, R.J.; Byth, D.E. Inheritance of resistance to rust (*Phakopsora pachyrhizi*) in soybeans. **Australian Journal Agricultural Research**, Collingwood, v. 31, p. 951-956, 1980.
13. Parlevliet, J.E. Can horizontal resistance be recognized in the presence of vertical resistance in plants exposed to a mixture of pathogen races? **The American Phytopathological Society**, Saint Paul, v.73, n.3, p. 379, 1983.
14. Pierozzi, P.H.B.; Ribeiro, A.S.; Moreira, J.U.V.; Laperuta, L. D.C.; Rachid, B.F.; Lima, W.F.; Arias, C.A.A.; Oliveira, M.F.; Toledo, J.F.F. New soybean (*Glycine Max* Fabales, Fabaceae) sources of qualitative genetic resistance to Asian soybean rust caused by *Phakopsora pachyrhizi* (Uredinales, Phakopsoraceae). **Genetics and Molecular Biology**, Ribeirão Preto, v.31, n.2, p. 505-511, 2008.
15. Ribeiro, A.S.; Toledo, J.F.F.; Ramalho, M.A.P. Selection strategies of segregante soybean populations for resistance to Asian rust. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.44, n.11, p.1452-1459, nov. 2009.
16. Ribeiro, A.S.; Toledo, J.F.F.; Ramalho, M.A.P. Interference of genotypes x environments interaction in the genetic control of resistance to Asian rust soybean. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.44, n.9, p.1160-1167, set. 2009.
17. Ribeiro, A.S.; Moreira, J.U.V.; Pierozzi, P.H.B.; Rachid, B.F.; Toledo, J.F.F.; Arias, C.A.A.; Soares, R. M.; Godoy, C.V. Genetic control of Asian rust in soybean. **Euphytica**, Dordrecht, v. 157, n. 1-2, p. 15-25, 2007.
18. Robinson, R.A. Disease resistance terminology. **Review of Applied Mycology**, Surrey, v.48, p. 593-606, 1969.
19. SAS INSTITUTE (Cary, Estados Unidos). **SAS/STAT user's guide: statistics**. 5th ed. Cary, 1990. 1686 p.
20. Sinclair, J.B.; Hartman, G.L.; Management of soybean rust. In: Soybean Rust Workshop, 1995, Urbana. **Proceedings...** Urbana: College of Agricultural, Consumer and Environmental Sciences, National Soybean Research Laboratory, 1995. p. 6-10.
21. Tschanz, A.T.; Wang, T.C. Interrelationship between soybean development, resistance, and *Phakopsora pachyrhizi*. **Soybean Rust Newsletter**, Shanhua, v. 8, p. 14-20, Jun. 1987.
22. United States Department of Agriculture. Disponível em : <<http://www.fas.usda.gov/psdonline/psdQuery.aspx>>. Acesso em: 18 abr. 2011.
23. Vanderplank, J.E. **Disease resistance in plants**. New York, Academic Press, 1968. 206 p.
24. Vello, N.A.; Brogin, R.L.; Arias, C.A.A. Estratégias de melhoramento para o controle da ferrugem da soja. In: Congresso Brasileiro de Soja e Mercosoja, 2., 2002. Londrina. **Anais...** Londrina: Embrapa Soja, 2002. p. 188-196.
25. Yorinori, J.T.; Paiva, W. M.; Frederick, R.D.; Costamilan, L.M.; Bertagnolli, P.F. Epidemia da ferrugem da soja (*Phakopsora pachyrhizi*) no Brasil e no Paraguai, em safras 2001 e 2002. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, DF, v.27, suplemento, p. 178-179, 2002.
26. Yorinori, J.T.; Nunes Junior, J.; Lazzarotto, J.J. **Ferrugem “asiática” da soja no Brasil: evolução, importância econômica e controle**. Londrina: Embrapa Soja, 2004. 36 p. (Embrapa Soja. Documentos, 204).