

JULIANA ARAÚJO SANTOS MARTINS

**CONTROLE GENÉTICO DA RESISTÊNCIA PARCIAL, ADAPTABILIDADE
E ESTABILIDADE FRENTE À FERRUGEM ASIÁTICA DA SOJA**

Tese apresentada à Universidade Federal de Uberlândia, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Agronomia – Doutorado, área de concentração em Fitotecnia, para obtenção do título de “Doutor”.

Orientador:

Prof. Dr. Fernando Cezar Juliatti

UBERLÂNDIA
MINAS GERAIS – BRASIL
2011

JULIANA ARAÚJO SANTOS MARTINS

CONTROLE GENÉTICO DA RESISTÊNCIA PARCIAL, ADAPTABILIDADE E
ESTABILIDADE FRENTE À FERRUGEM ASIÁTICA DA SOJA

Tese apresentada à Universidade Federal de Uberlândia, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Agronomia – Doutorado, área de concentração em Fitotecnia, para obtenção do título de “Doutor”.

APROVADA em 22 de fevereiro de 2011.

Prof. Dr. João Bosco dos Santos

UFLA

Profa. Dr. Júlio César Viglione Penna

UFU

Prof. Dra. Analy Castilho Polizel

UFMT

Prof. Dr. Marcelo Tavares

UFU

Prof. Dr. Fernando Cezar Juliatti
ICIAG-UFU
(Orientador)

UBERLÂNDIA
MINAS GERAIS – BRASIL
2011

*A Deus,
que plantou o sonho em mim e deu-me forças para buscar e conquistar.*

OFEREÇO

DEDICO

À minha pequena Sofia, razão de todo meu amor e perseverança.

AGRADECIMENTOS

A *Deus*, pela força, equilíbrio e proteção.

À minha filha querida, *Sofia*, maior alegria de minha vida. Obrigada por você existir e transformar a minha vida nesse momento irradiante.

Ao meu esposo, companheiro e pai exemplar, *Cassiano*, obrigada pela força, pelo carinho, pela ajuda com os experimentos durante a gravidez e principalmente pela paciência.

Aos meus pais, *Ivan* e *Ezelúzia*, pelo amor, incentivo e apoio incondicionais durante toda a minha vida, pela educação e respeito que serviram de base para a minha formação pessoal.

Às minhas irmãs, *Alyne* e *Verônica*, minhas grandes e verdadeiras amigas, pelo companheirismo, incentivo, pela colaboração e pelos momentos preciosos de descontração.

À minha querida avó, *Irany*, pelo seu carinho, dedicação e incentivo sempre.

À minha cunhada, sogros e cunhado pelo apoio e respeito.

À Universidade Federal de Uberlândia, pela oportunidade de realização do doutorado.

À FAPEMIG, pelo suporte financeiro concedido para a realização do curso.

Ao professor e orientador, Dr. Fernando C. Juliatti, pelos ensinamentos, orientação, amizade, paciência, compreensão e confiança durante todo o curso de doutorado.

Aos professores Dr. Júlio C. V. Penna, Dr. Lúcio Araújo e Dr. Gustavo Simon, pelos esclarecimentos com as análises estatísticas.

À professora e amiga, Dra. Livia Davide, pela colaboração nos momentos em que precisei de sua ajuda.

Aos professores membros da banca, pela disponibilidade e sugestões apresentadas.

Aos colegas do LAMIP, em especial às amigas, Erika, Anakely e Fernanda, pela colaboração na condução deste trabalho e agradável convivência.

À equipe do programa de Melhoramento Genético de Soja da UFU, em especial ao Prof. Dr. Osvaldo T. Hamawaki e aos colegas Daniela, Mariana, José Humberto e Sr. Joaquim.

A todos que, de alguma forma, contribuíram para realização deste trabalho e que, embora não citados aqui, não deixam de merecer meu sincero agradecimento.

*“Ainda que eu falasse as línguas dos homens e dos anjos, e não tivesse amor, seria como o metal que soa ou como o címbalo que retine. E ainda que tivesse o dom de profecia, e conhecesse todos os mistérios e toda a ciência, e ainda que tivesse toda fé, de maneira tal que transportasse os montes, e não tivesse amor, nada seria.....
Agora, pois, permanecem a fé, a esperança, o amor, estes três; mas o maior destes é o amor.”*

(CORINTIOS, 13)

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS.....	i
LISTA DE FIGURAS.....	vi
LISTA DE ANEXOS.....	vii
RESUMO.....	viii
ABSTRACT.....	ix
CAPÍTULO 1.....	1
1 INTRODUÇÃO GERAL.....	2
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	3
2.1 - A cultura da soja.....	3
2.2 – Ferrugem Asiática.....	5
2.3 – Resistência Genética.....	8
2.3.1 - Estimativas Genéticas.....	12
2.4 – Interação Genótipo x Ambiente.....	14
2.5 – Adaptabilidade e Estabilidade.....	17
2.6 - Metodologias para avaliar a adaptabilidade e estabilidade fenotípica.....	19
REFERÊNCIAS.....	23
CAPÍTULO 2: Controle genético da resistência parcial à ferrugem asiática da soja.....	35
RESUMO.....	36
ABSTRACT.....	37
1 - INTRODUÇÃO.....	38
2 -MATERIAL E MÉTODOS.....	40
2.1 - Análises estatísticas e genéticas.....	41
3 - RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	45
3.1 - Distribuição de frequências.....	45
3.2 - Componentes de médias e de variâncias.....	47
3.2.1 – Cruzamento Caiapônia x IAC100.....	47
3.2.2 – Cruzamento Luziânia x Potenza.....	51
3.3 – Estimativa das herdabilidades e número de genes.....	53
4- CONCLUSÕES.....	56
REFERÊNCIAS	57

CAPÍTULO 3: Adaptabilidade e estabilidade de linhagens de soja de ciclo de maturação semiprecoce avaliados para resistência à ferrugem.....	60
RESUMO.....	61
ABSTRACT.....	62
1 INTRODUÇÃO.....	63
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	65
2.1 - Instalação e condução dos ensaios.....	65
2.2 Características Avaliadas.....	67
2.2.1 Severidade da ferrugem asiática.....	67
2.2.2 Taxa de progresso absoluta média da doença (r).....	67
2.2.3 Área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD).....	68
2.2.4 - Fator de Resistência Parcial para a taxa de progresso absoluta média da doença (FRP_r) e para a AACPD (FRP_{AACPD}).....	68
2.2.2 Produtividade.....	69
2.3 Análises Estatísticas.....	70
2.3.1 Análises de Variância.....	70
2.3.2 Correlação de Pearson.....	71
2.3.3 Análise de adaptabilidade e estabilidade.....	71
2.3.3.1 Método Proposto por Annichiaricco.....	72
2.3.3.2 Método proposto por Eberhart e Russell	73
2.3.3.3 Método AMMI.....	75
2.3.4 Teste de Dunnett.....	77
3 - RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	79
3.1 Ferrugem asiática.....	79
3.1.1 Correlação de Pearson.....	88
3.2 Produtividade.....	89
3.3 - Análise de adaptabilidade e estabilidade.....	93
3.4 - Análise segundo Eberhart e Russell (1966).....	94
3.5 - Análise segundo Annichiaricco.....	98
3.6 - Análise do método AMMI.....	101
3.6.1 - Variável FRP_r	101
3.6.2 - Variável FRP_{AACPD}	105

3.7 - Considerações finais.....	108
4 – CONCLUSÕES.....	111
REFERÊNCIAS.....	112
CAPÍTULO 4: Adaptabilidade e estabilidade de linhagens de soja de ciclo de maturação médio/tardio avaliados para resistência à ferrugem.....	117
RESUMO.....	118
ABSTRACT.....	119
1 INTRODUÇÃO.....	120
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	122
2.1 - Instalação e condução dos ensaios.....	122
2.2 Características Avaliadas.....	124
2.2.1 Severidade da ferrugem asiática.....	124
2.2.2 Taxa de progresso absoluta média da doença (r).....	124
2.2.3 Área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD).....	125
2.2.4 - Fator de Resistência Parcial para a taxa de progresso absoluta média da doença (FRP_r) e para a AACPD (FRP_{AACPD}).....	125
2.2.2 Produtividade.....	126
2.3 Análises Estatísticas.....	127
2.3.1 Análises de Variância.....	128
2.3.2 Correlação de Pearson.....	128
2.3.3 Análise de adaptabilidade e estabilidade.....	128
2.3.3.1 Método Proposto por Annichiaricco.....	129
2.3.3.2 Método proposto por Eberhart e Russell	130
2.3.3.3 Método AMMI.....	132
2.3.4 Teste de Dunnett.....	134
3 - RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	136
3.1 Ferrugem asiática.....	136
3.1.1 Correlação de Pearson.....	142
3.2 Produtividade.....	142
3.3 - Análise de adaptabilidade e estabilidade.....	146
3.4 - Análise segundo Eberhart e Russell (1966).....	147
3.5 - Análise segundo Annichiaricco.....	151
3.6 Método de AMMI.....	154

3.6.1 - Variável FRP_r	154
3.6.2 - Variável FRP_{AACPD}	157
3.7 - Considerações finais.....	160
4 – CONCLUSÕES.....	162
REFERÊNCIAS.....	163
CONSIDERAÇÕES GERAIS.....	167
ANEXOS.....	168

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 2:

	Página
TABELA 1. Análise de variância para severidade da ferrugem asiática da soja em experimento de avaliação dos parentais e das gerações segregantes de dois cruzamentos. Uberlândia, MG, 2011.....	45
TABELA 2 – Número de indivíduos por população do cruzamento Caiapônia x IAC 100, médias e variâncias, estimativas dos componentes de média e de variância para o caráter severidade da ferrugem asiática. Uberlândia, MG, 2011.....	48
TABELA 3 – Número de indivíduos por população do cruzamento Caiapônia x IAC 100, médias e variâncias, estimativas dos componentes de média e de variância para o caráter severidade da ferrugem asiática. Uberlândia, MG, 2011.....	50
TABELA 4 – Número de indivíduos por população do cruzamento Luziânia x Potenza, médias e variâncias, estimativas dos componentes de média e de variância para o caráter severidade da ferrugem asiática. Uberlândia, MG, 2011.....	51
TABELA 5 - Estimativas da herdabilidade no sentido amplo e restrito e número provável de genes. Uberlândia, MG, 2011.....	53

CAPÍTULO 3:

	Página
TABELA 1. Linhagens e cultivares avaliados de ciclo de maturação semiprecoce, com respectivas genealogias das linhagens, Uberlândia, MG, 2011.....	66
TABELA 2. Análise de variância conjunta para AACPD e r em linhagens de soja de ciclo de maturação semiprecoce. Uberlândia, MG, 2011.....	79
TABELA 3. Análise de variância por safra, para AACPD e “r” de linhagens de soja de ciclo de maturação semiprecoce. Uberlândia, MG, 2011.....	81

TABELA 4 . Médias da taxa de progresso absoluta média da doença (<i>r</i>), em linhagens de soja de ciclo de maturação semiprecoce. Uberlândia, MG, 2011.....	83
TABELA 5. Médias da taxa de progresso absoluta média da doença (<i>r</i>), de linhagens de soja de ciclo de maturação semiprecoce, em 4 ambientes, na safra 2008/09. Uberlândia, MG, 2011.....	84
TABELA 6. Médias da AACPD, em linhagens de soja de ciclo de maturação semiprecoce. Uberlândia, MG, 2011.....	87
TABELA 7. Médias da AACPD, em linhagens de soja de ciclo de maturação semiprecoce. Uberlândia, MG, 2011.....	88
TABELA 8. Análise de variância da safra 2007/08, para produtividade de grãos (kg.ha ⁻¹), em linhagens de soja de ciclo de maturação semiprecoce. Uberlândia, MG,2011.....	89
TABELA 9. Análise de variância da safra 2008/09, para produtividade de grãos (kg.ha ⁻¹), de linhagens de soja de ciclo de maturação semiprecoce. Uberlândia, MG, 2011.....	90
TABELA 10. Médias de produtividade de grãos (kg.ha ⁻¹), de linhagens de soja de ciclo de maturação semiprecoce, safra 2007/08 Uberlândia, MG, 2011.....	91
TABELA 11. Médias de produtividade de grãos (kg.ha ⁻¹), de linhagens de soja de ciclo de maturação semiprecoce, safra 2008/09. Uberlândia, MG, 2011.....	92
TABELA 12. Classificação dos oito ambientes, de acordo com a taxa de progresso absoluta média da doença (<i>r</i>), segundo os métodos propostos por Eberhart e Russell (1966) e Annicchiarico (1992). Uberlândia, MG, 2011.....	94
TABELA 13. Classificação dos oito ambientes, de acordo com a AACPD, segundo os métodos propostos por Eberhart e Russell (1966) e Annicchiarico (1992). Uberlândia, MG, 2011.....	94
TABELA 14. Estimativas das médias para a Taxa de progresso absoluta média da ferrugem (<i>r</i>) e dos parâmetros de adaptabilidade e estabilidade, segundo Eberhart e Russell (1966). Uberlândia, MG, 2011.....	96

TABELA 15 Estimativas das médias para AACPD e dos parâmetros de adaptabilidade e estabilidade, segundo Eberhart e Russell (1966). Uberlândia, MG, 2011.....	97
TABELA 16. Adaptabilidade e estabilidade fenotípica do Fator de Resistência Parcial para “r” (FRP_r) de linhagens de soja de ciclo de maturação semiprecoce, conduzidas em diferentes localidades nos anos agrícolas 2007/2008 e 2008/2009, pelo método de Annicchiarico. Uberlândia, MG, 2011.....	99
TABELA 17. Adaptabilidade e estabilidade fenotípica do Fator de Resistência Parcial para AACPD (FRP_{AACPD}) de linhagens de soja de ciclo de maturação semiprecoce, conduzidas em diferentes localidades nos anos agrícolas 2007/2008 e 2008/2009, pelo método de Annicchiarico. Uberlândia, MG, 2011.....	100
TABELA 18. Teste F de Gollob para a variável FRP_r	102
TABELA 19. Médias das linhagens, ambientes e posição das médias em relação ao nível de resistência para a “r”.....	104
TABELA 20. Teste F de Gollob para a variável FRP_{AACPD} para determinar o número de termos significativos para a interação G x E.....	105
TABELA 21. Médias das linhagens, ambientes e posição das médias em relação ao nível de resistência para a FRP_{AACPD}	106
TABELA 22. Expressão da resistência à ferrugem com base nas variáveis, r e AACPD, de acordo as médias de r e AACPD, médias de produção, metodologia de Eberhart e Russell, Annicchiarico e AMMI.....	108

CAPÍTULO 4:

	Página
TABELA 1. Linhagens e cultivares avaliados de ciclo de maturação médio/tardio, com respectivas genealogias das linhagens, Uberlândia, MG, 2011.....	123
TABELA 2. Análise de variância conjunta para AACPD e r de linhagens de soja de ciclo de maturação médio/tardio, nas safras 2007/08 e 2008/09, obtidas em ensaios conduzidas nos municípios de Uberlândia, MG; Uberaba, MG; Campo Alegre de Goiás, GO; e Senador Canedo. Uberlândia, MG, 2011.....	136

TABELA 3. Médias da taxa de progresso absoluta média da doença (<i>r</i>), de linhagens de soja de ciclo de maturação médio/tardio, em função da safra e local de cultivo. Uberlândia, MG, 2011.....	138
TABELA 4. Médias da taxa de progresso absoluta média da doença (<i>r</i>), de linhagens de soja de ciclo de maturação médio/tardio, em 4 ambientes. Uberlândia, MG, 2011.....	139
TABELA 5. Médias AACPD, em linhagens de soja de ciclo de maturação médio/tardio, em função da safra e local de cultivo. Uberlândia, MG, 2011.....	140
TABELA 6. Médias da AACPD, de linhagens de soja de ciclo de maturação médio/tardio. Uberlândia, MG, 2011.....	141
TABELA 7. Análise de variância da safra 2007/08, para produtividade de grãos (kg.ha^{-1}), de linhagens de soja de ciclo de maturação médio/tardio, obtidas em ensaios conduzidas nos municípios de Uberaba, MG; Campo Alegre de Goiás, GO; e Senador Canedo. Uberlândia, MG, 2011.....	143
TABELA 8. Análise de variância da safra 2008/09, para produtividade de grãos (kg.ha^{-1}), de linhagens de soja de ciclo de maturação médio/tardio, obtidas em ensaio conduzido no município de Uberaba, MG. Uberlândia, MG, 2011.....	144
TABELA 9. Médias de produtividade de grãos (kg.ha^{-1}), de linhagens de soja de ciclo de maturação médio/tardio, obtidas em ensaios conduzidas nos municípios de Uberaba, MG; Campo Alegre de Goiás, GO; e Senador Canedo, na safras 2007/08. Uberlândia, MG, 2011.....	145
TABELA 10. Classificação dos oito ambientes, de acordo com a taxa de progresso absoluta média da doença (<i>r</i>), utilizando o índice ambiental segundo os métodos propostos por Eberhart e Russell (1966) e Annicchiarico (1992). Safra 2007/08 e 2008/2009. Uberlândia, MG, 2011.....	147
TABELA 11. Classificação dos oito ambientes, de acordo com a AACPD, utilizando o índice ambiental segundo os métodos propostos por Eberhart e Russell (1966) e Annicchiarico (1992). Safra 2007/08 e 2008/2009. Uberlândia, MG, 2011.....	147
TABELA 12. Estimativas das médias para a Taxa de progresso absoluta média da ferrugem (<i>r</i>) e dos parâmetros de adaptabilidade e estabilidade, segundo Eberhart e Russell (1966). Uberlândia, MG, 2011.	148

TABELA 13. Estimativas das médias da AACPD e dos parâmetros de adaptabilidade e estabilidade, segundo Eberhart e Russell (1966). Uberlândia, MG, 2011.....	150
TABELA 14 - Adaptabilidade e estabilidade fenotípica do Fator de Resistência Parcial para “r” (FRP_r) de linhagens de soja de ciclo de maturação médio/tardio, conduzidas em diferentes localidades nos anos agrícolas 2007/2008 e 2008/2009, pelo método de Annicchiarico. Uberlândia, MG, 2011.....	152
TABELA 15 - Adaptabilidade e estabilidade fenotípica do Fator de Resistência Parcial para AACPD (FRP_{AACPD}) de linhagens de soja de ciclo de maturação médio/tardio, conduzidas em diferentes localidades nos anos agrícolas 2007/2008 e 2008/2009, pelo método de Annicchiarico. Uberlândia, MG, 2011.....	153
TABELA 16. . Teste F de Gollob para a variável $FRPr$ para determinar o número de termos significativos para a interação G x E. Uberlândia, MG, 2011.....	154
Tabela 17. Médias das linhagens, ambientes e posição das médias em relação ao $FRPr$. Uberlândia, MG, 2011.....	156
TABELA 18. Teste F de Gollob para a variável FRP_{AACPD} para determinar o número de termos significativos para a interação G x E. Uberlândia, MG, 2011.....	157
TABELA 19. Médias das linhagens, ambientes e posição das médias em relação ao nível de resistência para a “ FRP_{AACPD} ”. Uberlândia, MG, 2011.....	158
TABELA 20. Expressão da resistência à ferrugem de 18 linhagens de ciclo médio/tardio com base nas médias de r e AACPD , médias de produção, metodologia de Eberhart e Russell, Annicchiarico e AMMI. Uberlândia, MG, 2011.....	160

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 2:

	Página
FIGURA 1. Frequência relativas da severidade da ferrugem asiática em cada geração proveniente do cruzamento Caiapônia x IAC 100. Uberlândia, MG, 2011.....	46
FIGURA 2. Frequência relativas da severidade da ferrugem asiática em cada geração proveniente do cruzamento Luziânia x Potenza. Uberlândia, MG, 2011.....	47

CAPÍTULO 3:

	Página
FIGURA 1. Severidade da ferrugem da soja e precipitação pluviométrica média mensal no período de novembro de 2008 a fevereiro de 2009, para a região de Uberaba, MG.	85
FIGURA 2. Severidade da ferrugem da soja e precipitação pluviométrica média mensal no período de novembro de 2008 a fevereiro de 2009, para a região de Uberlândia, MG.....	86
FIGURA 3 – Biplot para os dados referente à FRP_r , com 19 linhagens e 8 ambientes.....	102
FIGURA 4 – Biplot para os dados referente à FRP_{AACPD} , com 19 linhagens e 8 ambientes.....	106

CAPÍTULO 4:

	Página
FIGURA 1. Biplot para os dados referente à FRP_r , com 18 linhagens e 8 ambientes.....	155
FIGURA 2. Biplot para os dados referente à FRP_{AACPD} , com 18 linhagens e 8 ambientes.....	158

LISTA DE ANEXOS:

	Página
TABELA 1A - Caracterização dos ambientes testados nas safras agrícolas 2007/08 e 2008/2009. Uberlândia, 2011.....	170
FIGURA 1A. Escala diagramática para avaliar a severidade da ferrugem da soja. (JULIATTI et al. 2009).....	171
FIGURA 2A - Temperatura e precipitação pluviométrica média mensal no período de novembro de 2007 a abril de 2008. Uberlândia, 2011.....	172
FIGURA 3A - Temperatura e precipitação pluviométrica média mensal no período de novembro de 2008 a abril de 2009. Uberlândia, 2011.....	173

RESUMO GERAL

MARTINS, JULIANA ARAÚJO SANTOS. **Controle genético da resistência parcial, adaptabilidade e estabilidade frente à ferrugem asiática da soja**. 2011. 172f. Tese (Doutorado em Agronomia/Fitotecnia) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia.¹

Os objetivos principais deste trabalho foram obter informações a respeito do controle genético da herança da resistência parcial à ferrugem asiática em linhagens de soja e avaliar a adaptabilidade e estabilidade fenotípica de linhagens de soja quanto à resistência parcial. Para o estudo do controle genético da resistência parcial foram feitas avaliações quanto à severidade da ferrugem asiática em plantas individuais (genitores e gerações segregantes) provenientes dos cruzamentos Caiapônia x IAC 100 e Luziânia x Potenza. A partir desses dados foram estimados os componentes genéticos de média e de variância, empregando-se o método dos quadrados mínimos ponderados. Foram obtidas também a estimativa do número de genes e da herdabilidade no sentido amplo e restrito. A adaptabilidade e estabilidade fenotípica foram avaliadas nas safras 2007/08 e 2008/09 em dois ensaios, separados por ciclo de maturação (semiprecoce e médio/tardio), utilizando a severidade da ferrugem asiática como parâmetro de seleção para resistência parcial. As linhagens foram avaliadas, nos municípios de Uberlândia, MG, Uberaba, MG, Campo Alegre de Goiás, GO e Senador Canedo, GO. A severidade da ferrugem asiática foi obtida pela estimativa visual dos folíolos e assim foi estimada a taxa de progresso absoluta média da doença (r), área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD) e também o fator de resistência parcial (FRP). Realizou-se análise de adaptabilidade e estabilidade das linhagens pelo índice de confiança proposto por Annicchiarico, Eberhart e Russel e o método multivariado AMMI. No estudo do controle genético da resistência à ferrugem concluiu-se que é um caráter governado por 2 a 23 genes, com predominância dos efeitos dominantes no controle. A estimativa da herdabilidade no sentido restrito acima de 70 % para Caiapônia x IAC 100 e amplo acima de 60 % para Luziânia x Potenza, mostrou que há possibilidade de sucesso na seleção de indivíduos resistentes já nas gerações iniciais. Quanto à adaptabilidade e estabilidade da resistência, constatou-se que as linhagens que se mostraram mais resistentes à ferrugem, em geral, também foram as de melhor adaptabilidade e estabilidade, com destaque para: UFU 001 ((Liderança x UFV 16) x (UFU18 x Br 95015308)), UFU 006 (Canário x Conquista), UFU 007(RC1 PI 416937 x IAC 8.2), UFU 009 (RC2 (IAC 100 x Emgopa 302)) e UFU 0013 ((FT 45.302 x Liderança) x (FT 4.2988 x Conquista)) sendo estas de ciclo semiprecoce, e entre as de ciclo médio/tardio: UFU 106 ((DM Vitória x FT 104) x (FT 107 x Liderança)), UFU 110 ((IAS 5 x Br 4) x UFV 16)) e UFU 114 (FT 50268M x UFV 18) se destacaram. Os métodos empregados permitiram identificar as linhagens de soja mais estáveis e responsivas quanto à resistência parcial.

Palavras-chave: *Glycine max*, *Phakopsora pachyrhizi*, resistência parcial, dominância, taxa de progresso absoluta média da doença, fator de resistência parcial.

¹Orientador: Fernando Cezar Juliatti – UFU.

GENERAL ABSTRACT

MARTINS, JULIANA ARAÚJO SANTOS. **Genetic control of partial resistance, adaptability and stability to soybean rust.** 2011. 172f. Thesis (Doctoral Program Agronomy/Crop Science) - Federal University of Uberlândia, Uberlândia.¹

The main objectives of this study were to obtain information about the genetic control of the inheritance of partial resistance to Asian rust in soybean lines and to assess the adaptability and phenotypic stability of soybean lines for partial resistance. In order to study the genetic control of partial resistance rust severity was evaluated on individual plants (parents and segregating generations) derived from the crosses Caiapônia x IAC 100 and Luziânia x Potenza. The average genetic components of variance were evaluated employing the weighted least squares method. It was also estimated the number of genes and the broad and narrow sense heritability. The adaptability and phenotypic stability of strains were evaluated in both 2007/08 and 2008/09 seasons in two trials, according to their maturation cycle (early and middle/late), using the rust severity as a trait to select for partial resistance. The advanced lines were evaluated in the locations of Uberlândia and Uberaba in MG State, Campo Alegre de Goiás and Senador Canedo in Goiás State. The severity of the rust was obtained by visual assessment of the leaflets and so it was estimated the average of absolute rate of the disease progress (r), area under the disease progress curve (AUDPC) and partial resistance factor (PRF). Adaptability and stability of the strains were estimated by the methods proposed by Annicchiarico, Eberhart and Russell, as well as by the AMMI method. In the study of the genetic control of rust resistance it was concluded that the character is controlled by 2 to 23 genes, with predominantly dominant effects. The estimate of narrow sense heritability was above 70% for Caiapônia x 100 IAC and wide sense over 60% for Luziânia x Potenza, showing good possibility of success for early generation selection of resistant individuals. Considering the adaptability and stability of resistance, it was found that the strains that were the most resistant to rust, in general, also showed the best adaptability and stability, especially: UFU 001 ((Liderança x UFV 16) x (UFU18 x Br 95015308)), UFU 006 (Canário x Conquista), UFU 007(RC1 PI 416937 x IAC 8.2), UFU 009 (RC2 (IAC 100 x Emgopa 302)) and UFU 0013 ((FT 45.302 x Liderança) x (FT 4.2988 x MG-BR 46 Conquista)), all of early cycle, and those of medium and late cycle: UFU 106 ((DM Vitória x FT 104) x (FT 107 x Liderança)), UFU 110 ((IAS 5 x Br 4) x UFV 16)) and UFU 114 (FT 50268M x UFV 18). The methods used allowed to identify soybean lines more stable and responsive as far as partial resistance was concerned.

Keywords: *Glycine max*, *Phakopsora pachyrhizi*, partial resistance, dominance, mean absolute rate of disease progress, partial resistance factor.

¹Major Adviser: Prof. Fernando Cézar Juliatti – UFU.

CAPÍTULO 1

1- INTRODUÇÃO GERAL

A soja (*Glycine max* (L.) Merrill) representa um dos produtos mais importantes do agronegócio brasileiro. Na safra de 2009/2010, foram cultivados aproximadamente 23,24 milhões de hectares com uma produção de 67,86 milhões de toneladas de grãos (CONAB, 2010). O Brasil se destaca como o segundo maior produtor mundial, sendo esta a principal cultura de exportação do país. Segundo a ABIOVE (Associação Brasileira das Indústrias de Óleos Vegetais, 2010), o Brasil deverá exportar um recorde de 29,5 milhões de toneladas de soja na safra 2010/2011 (fevereiro/janeiro).

Entre os principais fatores que limitam a exploração máxima do potencial de produtividade da soja (mais de 4000 kg ha⁻¹) estão as doenças. Nos últimos anos, a ferrugem asiática, cujo agente causal é o fungo *Phakopsora pachyrhizi* Sidow, vem se tornando um dos mais relevantes problemas para o agronegócio brasileiro. Isso porque pode causar acentuadas reduções na produtividade, com reflexos negativos na rentabilidade do produtor e na própria economia do país (JULIATTI; POLIZEL; JULIATTI, 2004).

Desde a sua ocorrência na safra 2001/2002 até a safra de 2007/2008, estima-se que a ferrugem asiática da soja tenha onerado o Brasil em mais de US\$10 bilhões, somando-se as perdas de produtividade e o custo para o controle da doença, segundo informações do Consórcio Antiferrugem (EMBRAPA SOJA, 2010).

Devido às grandes perdas na produtividade causada por essa doença e ao aumento do custo de produção para o seu controle, grandes esforços têm sido empreendidos pela pesquisa para a obtenção de cultivares resistentes à *P. pachyrhizi*. No entanto, devido ao patógeno apresentar alta variabilidade, a obtenção dos mesmos tem sido difícil (OLIVEIRA; GODOY; MARTINS, 2005).

O controle da ferrugem é efetuado preponderantemente através do uso de fungicidas. Embora a utilização deste seja relatado como o método mais eficaz de controle da ferrugem (LEVY, 2005; MILES et al., 2007; BALARDIN et al., 2010), o custo de aquisição e aplicação dos fungicidas aliado às perdas de rendimento, devido ao manejo inadequado desta ferramenta, constituem fator de impacto na rentabilidade da soja. O sucesso do controle exige a combinação de várias medidas, a fim de evitar

perdas de rendimento (JULIATTI et al., 2005; SANTOS et al., 2007; SOARES et al., 2004). Depende da pressão da doença e da escolha precisa da época de aplicação dos fungicidas (MUELLER et al., 2009) e exige monitoramento, treinamento e capacitação constantes na adoção das práticas de manejo da cultura (JULIATTI, et al. 2010).

Devido ao grande aumento dos prejuízos diretos e indiretos, causados pela ferrugem, tornou-se urgente o melhoramento genético para a obtenção de novas cultivares resistentes e com alta produtividade de grãos. Atualmente, a avaliação dos genótipos quanto à ferrugem asiática é condição indispensável em programas de melhoramento genético de soja. O uso de germoplasmas resistentes é um importante passo para manutenção de genótipos com altas produtividades, redução do número de aplicações de fungicidas e aumento da rentabilidade do produtor.

Portanto, os objetivos principais deste trabalho foram obter informações a respeito do controle genético da herança da resistência parcial à ferrugem asiática da soja e avaliar a adaptabilidade e estabilidade fenotípica de linhagens de soja quanto à resistência parcial.

2 – REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 - A cultura da soja

A soja tem seu centro de origem localizado na região leste da Ásia, Centro-Sul da China, onde é cultivada há milênios (XU et al., 1989). A partir da China, a soja se expandiu para outras partes da Ásia, sendo disseminada, posteriormente, para a América do Norte, Europa e América do Sul (BONETTI, 1981).

A introdução desta oleaginosa no Brasil ocorreu no início do século XX e seu cultivo, em escala comercial, ocorreu a partir da década de 1940 no Rio Grande do Sul, com uma expansão da área plantada na década de 1960, quando a soja passou a ser cultivada em rotação com o trigo. Posteriormente, com os incentivos para ocupação dos cerrados, a soja tornou-se um dos principais produtos agrícolas do País (ALVES, et al. 2003).

Os avanços alcançados com o alto desenvolvimento tecnológico na produção brasileira foram obtidos pelo melhoramento genético e ciências associadas, como a fitopatologia, entomologia e biotecnologia. No decorrer das últimas décadas, o alto avanço tecnológico proporcionou melhorias tanto no complexo ambiental, como no potencial genético dos cultivares. Esses avanços se refletiram na evolução da produtividade média da soja no país, que saltou de seu primeiro milhão de toneladas, no período de 1965/69 (KASTER; BONATO, 1981), para um total de 67,86 milhões de toneladas, na safra 2009/10 (CONAB, 2010).

A pesquisa genética contribuiu para melhorar diversos aspectos agronômicos da soja. Características importantes foram manipuladas geneticamente, como período juvenil longo, hábito de crescimento, ciclo de maturação, resistência à doenças e pragas, tolerância ao complexo de acidez do solo e fixação simbiótica de nitrogênio nas raízes. Especificamente, a introdução do gene que condiciona período juvenil longo foi o fator crucial para a expansão da soja nas baixas latitudes (TOLEDO et al., 2006).

Com relação ao ciclo, as cultivares são classificadas em grupos de maturação, e são denominadas, em geral, como precoce, semiprecoce, médio, semitardio e tardio. Em média, o ciclo pode variar entre 75 a 210 dias. Entretanto, em relação ao número de dias para maturação, esses grupos divergem entre as variadas regiões de adaptação. Desta maneira, uma mesma cultivar pode alcançar diferentes ciclos, conforme as condições de manejo e, principalmente, das condições edafoclimáticas de regiões distintas (SEDIYAMA; TEIXEIRA; REIS, 2005; EMBRAPA, 2006).

Atualmente, uma nova forma de classificação das cultivares, em relação ao ciclo, vem sendo estabelecida por algumas empresas, que é por grupos de maturação. Este sistema de classificação de soja por grupos de maturação varia de zero a 10, ou seja, quanto maior é o seu número, mais próximo ao Equador será sua região de adaptação. Por exemplo, no Brasil os grupos indicados variam de 5.5 a 10. Assim, uma cultivar 8.9 tem um ciclo mais longo que uma 8.7, e assim sucessivamente. Pode-se dizer de forma geral, para cada décimo de aumento tem-se de 1,5 a 2 dias a mais de ciclo (PENARIOL, 2000). Segundo Alliprandini (2009), a utilização no Brasil de um sistema de grupo de maturidade semelhante à utilizada na América do Norte para classificar genótipos de soja é um método eficiente para descrever a maturidade relativa e em larga escala do ambiente.

A soja possui ainda um grande potencial a ser explorado, quando considerada a variabilidade genética disponível para aumentar a produtividade e a capacidade brasileira de expansão de área para cultivo, com os programas de melhoramento genético participando ativamente deste processo, visando o real estabelecimento do Brasil perante o mercado mundial. Porém, a longevidade deste êxito depende da estabilidade do complexo soja que está condicionado a riscos, onde as doenças são o maior limitante para os sucessivos incrementos na produtividade (ARIAS, 2004; UNFRIED, 2007).

2.2 – Ferrugem Asiática

A ferrugem asiática da soja (*Phakopsora pachyrhizi* Syd. & P. Syd.) foi relatada pela primeira vez em 1899, na China (TAI, 1979), e no Japão em 1902 (BROMFIELD; HARTWIG, 1980). A doença foi detectada por todo o hemisfério oriental nas primeiras décadas do século XX, causando perdas de 10 a 80% pela Ásia, África e Austrália (BROMFIELD, 1984; HARTMAN et al., 1997; SINCLAIR; HARTMAN, 1999). Na década de 90, a ferrugem chegou ao continente africano, atingindo primeiro os países próximos à fronteira com a Ásia e avançando para os países meridionais do continente, até atingir a África do Sul em 2001 (KAWUKI; TUKAMUHABWA; ADIPALA, 2004; LEVY, 2005). A primeira detecção de *P. pachyrhizi* na América foi em Lavras-MG, Brasil (DESLANDES, 1979). Estudos moleculares com primers específicos de *Phakopsora* spp. demonstraram que as duas espécies, *P. pachyrhizi* (Sydow & P. Sydow) e *P. meibomiae* (Arthur) Arthur, já existiam, desde 1979, em campos de leguminosas nativas e cultivadas, sendo que para a identificação das espécies foram utilizadas amostras herbarizadas entre 1979 e 1983 do Estado de Minas Gerais (AKAMATSU et. al, 2004). A doença ressurgiu no Paraguai, em fevereiro de 2001, em lavouras próximas à fronteira com o Brasil. Em 2002, espalhou-se para áreas do Brasil, resultando em grandes perdas para os dois países afetados. O patógeno também foi encontrado em áreas de fronteira do nordeste da Argentina (YORINORI et al., 2005; ROSSI, 2003; IVANCOVICH, 2005). Em 2004, a ferrugem atingiu os Estados Unidos, e o México em 2005 (RODRIGUÉZ; RIOS; HERNÁNDEZ, 2006; SCHNEIDER; HOLLIER; WHITAM, 2005).

Segundo Juliatti et al. (2005), a evolução do patógeno no Brasil, possivelmente, ocorreu a partir dos hospedeiros alternativos, uso de benzimidazóis para o controle das doenças de final de ciclo e semeadura da soja no inverno para a produção de sementes em áreas irrigadas. Atualmente, a ferrugem asiática é encontrada na maioria dos países produtores de soja do mundo (SILVA et al., 2008).

Em função da fácil disseminação da doença, no Brasil, em 2002, a ferrugem já se encontrava em 60% da área de cultivo do país, porcentagem que chegou a 90% no ano seguinte (BERGAMIN FILHO, 2006), ocasionando perdas superiores a 80% em áreas mais infectadas (YORINORI et al., 2005). Atualmente, a ferrugem asiática é encontrada em todas as regiões produtoras brasileiras de soja, exceto Roraima (YORINORI; YUYAMA, 2008).

Segundo Yorinori; Yuyama; Siqueri, (2009), as estimativas de perdas de grãos realizados, desde a sua constatação no Brasil, no período de 2001/02 a 2007/08, atingiram o montante de 31,56 milhões de toneladas. A magnitude do dano provocado pela ferrugem asiática é influenciada por condições climáticas, aspectos genéticos das cultivares, manejo cultural e fitotécnico da cultura e pelo conjunto de fatores relacionados ao controle químico (BALARDIN et al., 2005).

Nas condições brasileiras, os principais agravantes para o controle da ferrugem asiática são a extensão territorial das lavouras e a monocultura continuada, favorecendo a maior produção de inóculo e sua disseminação, além do aparecimento de diferentes raças do patógeno. O clima favorável, falhas nas aplicações de fungicidas, alta densidade de plantas, período de semeadura, além da sobrevivência do patógeno em plantas voluntárias de soja ou outras espécies hospedeiras que sobrevivem no período da entressafra, são fatores que diminuem a eficiência do controle da doença (YORINORI; NUNES JUNIOR, 2006; UNFRIED, 2007).

As condições climáticas exercem fundamental importância nas epidemias de ferrugem. O molhamento foliar igual ou acima de 6 horas, promovido por orvalho ou pela chuva, sob condições ótimas de temperatura (18°C a 26,5°C) favorece o rápido desenvolvimento da doença (MELCHING et al., 1989; JULIATTI; POLIZEL; JULIATTI, 2004). A precipitação é considerada o fator mais importante no progresso da doença nas condições de campo (TSCHANZ, 1984; DEL PONTE et al., 2006; GODOY et al., 2009).

As plantas de soja são suscetíveis ao fungo em todos os estádios de crescimento/desenvolvimento. Contudo, as perdas de produtividade são maiores quando os ataques ocorrem nos períodos de florescimento e enchimento de vagens (KAWUKI et al., 2003).

Os sintomas iniciais da ferrugem são caracterizados por minúsculos pontos (1-2 mm de diâmetro), mais escuros do que o tecido sadio da folha, de coloração esverdeada a cinza-esverdeada. Em cada uma dessas pústulas ocorre a formação de estruturas globosas denominadas urédias, que passam a produzir grande número de urediniósporos. À medida que prossegue a esporulação, o tecido da folha ao redor das primeiras urédias, adquire coloração castanho-clara (lesão do tipo TAN) a castanho-avermelhada (lesão do tipo RB: “reddish-brown”). Com o aumento da severidade da doença, também ocorre desfolha prematura e maturação precoce das plantas. As lesões RB indicam resistência, pois apresentam esporulação restrita e, por sua vez, lesões do tipo TAN indicam suscetibilidade ou tolerância, com abundante esporulação (BROMFIELD, 1984; EMBRAPA, 2002; JULIATTI; POLIZEL; JULIATTI, 2004).

Entre os métodos de controle, o químico, por meio de fungicidas, tem sido o mais eficaz até o momento (GARCIA et al., 2008; SILVA; JULIATTI; SILVA, 2007; SANTOS et al., 2007). Devido à agressividade dessa doença, o monitoramento contínuo é essencial para que a medida de controle possa ser adotada no momento correto, a fim de se evitar reduções de produtividade. O método de controle, através do uso de fungicidas, só é eficiente quando baseado em um criterioso levantamento e conhecimento da ocorrência da doença em lavouras vizinhas ou na própria propriedade. Segundo Calvo et al., (2008), no Brasil, o uso de fungicidas na produção de soja tem aumentado de aproximadamente US\$ 100 milhões a quase US\$ 800 milhões, desde o aparecimento da ferrugem. Somando a isso, os fungicidas aumentam a preocupação em relação à poluição dos solos e águas, e também à toxicidade para plantas, humanos e animais (OLOKA et al., 2008).

O manejo integrado das doenças, que associa resistência genética ao controle químico menos agressivo e outras práticas culturais, tem sido parte de um discurso muito bem aceito por todos os segmentos das cadeias produtivas de alimentos. As vantagens de se oferecer uma cultivar resistente incluem, entre outras: ausência de custo extra no preço da semente (tecnologia de controle “embutida” na semente), tecnologia ambientalmente saudável e redução de custos de produtos e de aplicações. Desta forma,

é importante ressaltar que o uso de genótipos com resistência parcial à ferrugem asiática da soja poderá ser útil na redução do número de aplicações de fungicidas (JULIATTI et al., 2010).

2.3 – Resistência Genética

Entre as cultivares de soja recomendadas, ainda não há uma com nível de resistência que dispense o uso de fungicidas para o controle da ferrugem asiática. Atualmente, a principal forma de controle se baseia na utilização de fungicidas de diferentes classes e modos de ação (MILES et al., 2007). Isto se deve, em parte, não só à recente ocorrência da doença no País, mas também devido ao fato de o fungo possuir diversas raças com vários alelos de virulência (SINCLAIR; HARTMAN, 1999). Devido à variabilidade do patógeno, principalmente no cerrado brasileiro (YORINORI, et al., 2005), a identificação de cultivares resistentes deve ser realizada.

A durabilidade da resistência é amplamente influenciada por fatores genéticos, evolutivos e ambientais. Hartman et al. (2004) apontam para a variabilidade do fungo como o principal fator na quebra dos genes de resistência vertical, e que deve ser amplamente conhecida para que os programas de melhoramento tenham sustentabilidade.

Para a resistência vertical da ferrugem asiática, estão referenciados até o momento, cinco genes independentes: Rpp1 – PI 200492 (McLEAN; BYTH, 1980), Rpp2 – PI 230970 (BROMFIELD; HARTWIG, 1980), Rpp3 – PI 462312 (BROMFIELD; HARTWIG, 1980; HARTWIG; BROMFIELD, 1983) e Rpp4 - PI 459025 (HARTWIG, 1986), além de um gene recessivo mais recentemente identificado, o rpp5 – PI 200456 (GARCIA et al., 2008).

Embora o uso de genes de resistência possa oferecer uma oportunidade para o controle da doença em soja, sua natureza raça-específica pode criar problemas (BONDE et al., 2006). Uma clara indicação da variabilidade genética do fungo foi a evolução da severidade da ferrugem nos cerrados, em 2003-2004, e o fato das cultivares resistentes, em 2002, serem suscetíveis aos isolados de *P. pachyrhizi* dos Cerrados (JULIATTI et al., 2003; YORINORI, 2004). No Brasil, somente os genes Rpp2 e Rpp4 continuam efetivos contra os isolados brasileiros, enquanto que a resistência conferida pelos genes

Rpp1 e Rpp3 foi quebrada em 2003, dois anos após a detecção da ferrugem asiática no Brasil (ARIAS et al., 2006; PIEROZZI et al., 2008; RIBEIRO et al., 2007, 2008; SILVA et al., 2008; TMG, 2008).

A descoberta de novos genes de resistência vertical à ferrugem asiática é vital e a união de genes de resistência múltipla em uma única cultivar (piramidação) pode contribuir para o desenvolvimento sustentável de cultivares resistentes à ferrugem (LIU et al., 2000).

Estudos genéticos desenvolvidos comprovam a existência de efeitos genéticos aditivos para a ferrugem asiática (ARIAS et al., 2006). Logo, genes quantitativos que expressam resistência à ferrugem asiática em genótipos de soja podem representar uma alternativa para o desenvolvimento de novas cultivares no controle da ferrugem. (JULIATTI; POLIZEL; JULIATTI, 2004; ARIAS et al., 2006; RIBEIRO et al., 2007; SANTOS et al., 2007; MARTINS, et al., 2007).

Muitas estratégias têm sido consideradas visando conferir proteção durável, onde o objetivo não é suprimir a população de patógenos inteiramente, mas evitar que atinja níveis prejudiciais à cultura hospedeira. Entre estas estratégias está a resistência horizontal (RH). A resistência parcial é quantitativa e baseada em genes de pequeno efeito no fenótipo. É variável quantitativamente, como todos os níveis de diferença entre um mínimo e um máximo. Isto significa que o nível de resistência horizontal pode ser alterado. Um nível inadequado de resistência horizontal pode ser incrementado através do melhoramento genético (ROBINSON, 1980). A expressão desta resistência é complexa e de difícil avaliação; em alguns casos é controlada por genes maiores, dominantes ou recessivos, sendo em outros, controlada por grande número de genes de pequeno efeito que atuam sobre diferentes componentes da resistência (ZADOKS, 1971; NELSON, 1978; JULIATTI, et al., 2010).

De acordo com Falconer (1989), a distinção entre monogenes e poligenes se baseia na magnitude de seus efeitos relativos a outras fontes de variação. Um gene que exerça um efeito tal sobre o fenótipo que seja o suficiente para causar uma descontinuidade na distribuição fenotípica, mesmo na presença de outros genes de menor efeito e de variação ambiental, pode ser estudado de forma mendeliana. Portanto, quando o efeito de um gene pode ser isolado, trata-se de resistência monogênica.

Quando a resistência for devida à presença de um conjunto de genes de efeito secundário, teremos então a resistência do tipo poligênica.

A resistência poligênica pode ser classificada ainda em poligênica propriamente dita (muitos genes) ou oligogênica (poucos genes). Quando se fala em resistência oligogênica, estão envolvidos dois a cinco genes; no caso de poligênica, o número seria da ordem de dezenas. No entanto, para simplificar, o termo resistência poligênica, na maioria dos casos, é utilizado de forma genérica.

A resistência horizontal, chamada ainda de parcial, duradoura ou raça-inespecífica (VANDERPLANK, 1975; AGRIOS, 2005), torna-se visível após a resistência vertical ter sido “quebrada” (PARLEVLIET, 1997) e, em geral, é poligênica e efetiva contra uma grande parte ou todas as raças do patógeno (AGRIOS, 2005). Segundo Ferreira (2006) e Agrios (2005), sempre que ocorrer a resistência vertical, também estará presente a resistência horizontal, em maior ou menor grau, pois a mesma é necessária para a sobrevivência das espécies vegetais.

Ao contrário da resistência vertical, que na maioria das vezes manifesta-se conferindo a cultivar imunidade ou hipersensibilidade (HR) contra determinadas raças do patógeno, a resistência horizontal tem como característica a redução da taxa da epidemia através da diminuição do número e tamanho das lesões, da diminuição da produção de uredinísporos e do aumento do período latente. Isso faz com que a população do patógeno seja reduzida, diminuindo a quantidade de inóculo e, conseqüentemente, a doença (HARTMAN et al., 1992; PARLEVLIET, 1997; AZEVEDO; JULIATTI; BARRETO, 2007; SANTOS et al., 2007).

Nas cultivares que apresentam esta resistência, a eficiência de infecção é menor do que em uma cultivar suscetível, as lesões crescem mais lentamente, os esporos são produzidos mais tardiamente e em menor quantidade. Somando-se estes efeitos, há uma redução na taxa de desenvolvimento da doença (SILVA; JULIATTI; SILVA, 2007). Além disso, a resistência horizontal é muito mais estável que a vertical, pois, para que surjam formas variantes do patógeno são requeridas mudanças genéticas em vários locos de patogenicidade. (CAMARGO; BERGAMIN FILHO, 1995).

Para avaliar a resistência de uma cultivar à determinada doença, podem ser avaliados os efeitos do patógeno sobre o hospedeiro, ou seja, as lesões causadas pelo

patógeno. Entretanto, esta não depende só do nível de resistência do cultivar; por isso, precisam ser avaliados vários componentes relacionados também à capacidade de colonização e adaptação do patógeno como o período de latência, tamanho e número de lesões, produção de esporos, a severidade de infecção e o progresso da doença (PARLEVLIET, 1997; AZEVEDO et al., 2004).

A severidade da doença é avaliada em termos de área do tecido hospedeiro ocupada pelas lesões causadas pelo patógeno e reflete o nível de resistência do hospedeiro. Atualmente, essas avaliações são feitas com o auxílio de escalas, que são diagramas onde estão representadas diferentes densidades de lesões e que auxiliam na estimativa visual da percentagem de severidade. Essa é uma avaliação subjetiva que pode variar com diferentes avaliadores. No caso da ferrugem da soja, uma escala utilizada para avaliação de severidade foi obtida por Juliatti et al. (2009) (Figura 1A), através do programa Quant (VALE et al., 2003).

Outro componente utilizado para se avaliar o nível de RH é a área abaixo da curva do progresso da doença (AACPD), a qual pode revelar pequenas diferenças de severidade e níveis de resistência. A AACPD pode ser usada como descritor de uma epidemia, quando o objetivo é resumir uma curva de progresso de doença em dados que possam ser analisados e comparados (CAMPBELL; MADDEN, 1990). São feitas avaliações sequenciais de severidade em intervalos regulares de tempo, os dados de severidade são plotados num gráfico em função do tempo e calcula-se a AACPD (SHANER; FINNEY, 1977). Em genótipos suscetíveis, a doença geralmente começa antes e desenvolve-se rapidamente, resultando numa maior AACPD quando comparados com um genótipo com resistência parcial, onde a doença começa mais tarde e/ou desenvolve-se mais lentamente (SINCLAIR; HARTMAN, 1999; JULIATTI et al., 2010).

Nesse contexto, é importante ressaltar que o melhoramento genético não pode continuar dependendo apenas da resistência conferida por genes maiores, pois a dinâmica das populações patogênicas sob tais condições de pressão seletiva é muito intensa, possibilitando o rápido surgimento de novas raças virulentas. As pesquisas indicam que há variabilidade potencial no germoplasma atual para resistência parcial e/ou durável à ferrugem da soja (SILVA; JULIATTI; SILVA, 2007; RIBEIRO et al., 2007; BONDE et al., 2006; HARTMAN; WANG; SHANMUGASUNDARAM, 1997).

Enfim, a presença de genes menores no germoplasma brasileiro de soja poderá contribuir para que melhoristas de plantas e fitopatologistas possam criar ciclos de seleção recorrente, e agrupar estes genes menores em diferentes genótipos, com ou sem o uso de marcadores moleculares, para aumentar a resistência parcial à ferrugem da soja (JULIATTI et al., 2010). Neste sentido, o trabalho integrado com profissionais de diferentes áreas como a genética, fitopatologia, a biologia molecular, estatística e até mesmo a informática, será indispensável para atingir resultados satisfatórios na seleção e acúmulo de genes para resistência parcial.

2.3.1 - Estimativas Genéticas

Estudos relacionados ao conhecimento da natureza e da magnitude dos efeitos gênicos que controlam a resistência às doenças são importantes para direcionar os trabalhos de introdução de genes em germoplasmas suscetíveis e maximizar a exploração da variabilidade genética. Contudo, no Brasil, em função da reemergência recente do patógeno, há poucos trabalhos sobre a herança da resistência à ferrugem (RIBEIRO et al., 2007; PIEROZZI, 2007; RIBEIRO, 2009).

Ribeiro et al., (2007), Silva; Juliatti; Silva (2007) relataram que, além dos genes maiores, existe um sistema poligênico (resistência horizontal) no controle genético da resistência da soja à ferrugem-asiática. Sendo assim, as estimativas dos componentes genéticos auxiliam os melhoristas em futuras decisões a respeito das estratégias para se obter resistência mais duradoura.

A variabilidade fenotípica pode ser conhecida por meio das estimativas de herdabilidade, dos coeficientes de correlação fenotípica, genética e ambiental, das variâncias genéticas e fenotípicas, entre outros parâmetros genéticos, que quantificam e distinguem os efeitos de natureza genética e ambiental, permitindo, assim, a predição dos ganhos decorrentes da seleção e a definição das estratégias de melhoramento que devem ser adotadas visando maior sucesso (CRUZ, 2005).

Com base nos valores das médias e das variâncias, é possível obter estimativas de parâmetros genéticos úteis para avaliação da potencialidade de populações para fins de melhoramento, bem como estabelecer estratégias eficazes de seleção. Vários procedimentos podem ser realizados para a obtenção das estimativas da variabilidade

genética e fenotípica, para se inferir sobre o controle genético dos caracteres. Essas informações podem ser obtidas utilizando-se componentes de médias ou de variâncias (RAMALHO; FERREIRA; OLIVEIRA, 2005).

A estimativa dos componentes genéticos pode contribuir decisivamente para o sucesso no melhoramento de plantas. O esclarecimento destes componentes permite que se tomem decisões com bases científicas sobre como melhorar a eficiência da obtenção de linhagens promissoras para à resistência a ferrugem asiática (RIBEIRO, 2009).

O método de Mather e Jinks (1982) é um dos que têm sido mais utilizados para a obtenção das estimativas dos componentes da variância em vários caracteres da soja (RIBEIRO et al., 2007, 2008; PIEROZZI, 2007; OLIVEIRA, 1994).

Apenas o valor fenotípico de um indivíduo pode ser mensurado, porém, é o valor genético que influenciará a próxima geração. Sendo assim, é importante o conhecimento de quanto da variação fenotípica é atribuída à variação genotípica e este é medido pela herdabilidade (FALCONER; MACKAY, 1996).

A herdabilidade, no sentido restrito, é mais útil, no caso da soja, em uma planta essencialmente autógama com percentual de polinização cruzada menor que 0,5%, uma vez que ela quantifica a importância relativa da proporção aditiva da variância genética que pode ser transmitida para a próxima geração. A herdabilidade, no sentido amplo, assume maior importância em plantas de propagação vegetativa, nas quais o genótipo é herdado integralmente pelos descendentes (BORÉM, 1998).

Com relação à severidade à ferrugem asiática da soja, a herdabilidade é de baixa a média (RIBEIRO et al., 2007; PIEROZZI, 2007; RIBEIRO, 2009). Este fato pode estar relacionado ao comportamento quantitativo desse caráter, em função do grande número de genes que o controla, permitindo maior influência ambiental e, conseqüentemente, diminuição da relação entre a variância genética e fenotípica.

Assim, considerando a importância da ferrugem asiática, estudos que busquem esclarecer os fatores que afetam essa característica são importantes para os programas de melhoramento que visam o desenvolvimento de cultivares com resistência genética.

2.4 – Interação Genótipo x Ambiente

A variação fenotípica resulta da ação conjunta do genótipo, do ambiente e da interação entre o genótipo e o ambiente (ALLARD, 1971). Esse último componente reflete as diferentes sensibilidades dos genótipos às variações ambientais (FALCONER; MACKAY, 1996), resultando em mudanças no desempenho relativo dos genótipos (FEHR, 1987).

Quando genótipos são testados em vários locais e anos, normalmente o seu comportamento não é constante nos diferentes ambientes. Essa inconsistência no comportamento das cultivares frente às variações ambientais gera interação de genótipos e ambientes, que, quando significativa, pode indicar a existência de genótipos particulares para determinados ambientes e, possivelmente, genótipos menos influenciáveis pelas variações ambientais (EBERHART; RUSSELL, 1966). A interação genótipo x ambiente determina a redução na correlação entre o genótipo e o fenótipo, comprometendo assim as inferências a serem realizadas a respeito dos mesmos (COMSTOCK; MOLL, 1963).

O ambiente é um termo geral que inclui uma série de condições sob as quais as plantas crescem, podendo envolver locais, regiões, épocas, anos, práticas culturais ou de manejo, ou a combinação de todos esses fatores (ROMAGOSA; FOX, 1993). A combinação de local e ano representando um ambiente é muito comum em estudos de estabilidade fenotípica (ZOBEL; WRIGHT; GAUCH, 1988; MIRANDA, 1999).

Allard e Bradshaw (1964) classificaram as oscilações ambientais em previsíveis e imprevisíveis. Como características previsíveis, destacam-se fotoperíodo, tipo e fertilidade do solo, épocas de plantio e práticas agrícolas. Os efeitos desses fatores podem ser amenizados no ensaio de rendimento, permitindo que os genótipos sejam submetidos a uma seleção com base em suas características genéticas. Como características imprevisíveis, estão incluídas distribuição pluviométrica, doenças e pragas, umidade, temperaturas e outras mais difíceis de ser controladas. Segundo Fehr (1987), as variáveis imprevisíveis são as que mais contribuem para as interações genótipos x anos e genótipos x locais x anos.

As interações de genótipos x ambientes (G x E) podem surgir por duas razões: (a) por diferentes respostas de igual conjunto gênico em diferentes ambientes; e (b) pela

expressão de diferentes conjuntos gênicos em diferentes ambientes (COCKERHAM, 1963). Quando um mesmo conjunto de genes se expressa em diferentes ambientes, as diferenças nas respostas podem ser explicadas pela heterogeneidade das variâncias genéticas e experimentais ou por ambas; e, quando diferentes conjuntos de genes se expressam em ambientes distintos, as diferenças nas respostas explicam-se por uma inconsistência das correlações genéticas entre os valores de um mesmo caráter em dois ambientes (FALCONER, 1989).

Quando os testes de avaliação dos genótipos são conduzidos em um só ambiente, a variância genética pode ficar superestimada, ou seja, pode conter componentes da interação $G \times E$. Sua magnitude na expressão fenotípica do caráter pode reduzir a correlação entre fenótipo e genótipo, inflacionando a variância genética e, por sua vez, parâmetros dependentes desta, como herdabilidade e ganho genético esperado com a seleção (ROCHA; VELLO, 1999).

Vencovsky e Barriga (1992) relatam que não basta apenas detectar a presença de interações, deve-se também considerar a sua natureza. Assim, a interação $G \times E$ pode ser simples (não causa mudanças na classificação dos genótipos entre ambientes) e complexa (quando altera a classificação dos genótipos entre ambientes). A interação simples indica a presença de genótipos adaptados a uma ampla faixa de ambientes; assim, a recomendação de cultivares pode ser feita de forma generalizada. A interação complexa indica a presença de materiais adaptados a ambientes particulares; isto traz uma complicação para o melhorista uma vez que a recomendação é restrita a ambientes específicos (RAMALHO et al., 1993). A interação relacionada à parte simples é proporcionada pela diferença de variabilidade entre genótipos nos ambientes, enquanto que a interação complexa, pela falta de correlação nos desempenhos médios dos genótipos entre ambientes (CRUZ; CASTOLDI, 1991).

Metodologias têm sido propostas no sentido de atenuar os efeitos da interação $G \times E$. Pode-se proceder ao zoneamento ecológico ou estratificação de ambientes (estratificação da região em sub-regiões onde a interação seja não significativa), identificação de genótipos com adaptação a ambientes específicos e a identificação de genótipos com ampla adaptação ou estáveis (RAMALHO et al., 1993).

A interação $G \times E$ deve ser encarada não como um problema ou um fator indesejável, cujos efeitos devem ser minimizados em um programa de melhoramento.

Ao contrário, como um fenômeno biológico natural, cumpre conhecê-la bem, para melhor aproveitá-la no processo de seleção. Assim, genótipos que interagem positivamente com ambientes podem fazer a diferença entre um bom e uma ótima cultivar (DUARTE; VENCOVSKY, 1999). Esse enfoque passa a ter maior importância no caso de espécies onde o investimento é muito alto em insumos e manejo para melhoria do ambiente, como é o caso da soja.

No que diz respeito à soja, sabe-se que em um programa de melhoramento de soja, em virtude de sua especificidade latitudinal, na qual as flutuações sazonais no desempenho dos diferentes genótipos são altas, tal identificação é necessária (SALEHUHUZZAMAN; JOARDER, 1982). Nesse contexto, Kiihl e Almeida (2000) afirmam que uma boa cultivar de soja deve ser altamente produtiva e apresentar comportamento estável em uma série de ambientes de sua área de adaptação. Estes autores enfatizam ainda que, em regiões que tenham problemas com doenças, busca-se uma melhor produtividade pela substituição das cultivares suscetíveis pelas resistentes.

O desenvolvimento normal da planta de soja depende de vários fatores e dentre eles destacam-se: intensidade da radiação solar (relacionada com a atividade fotossintética, ao alongamento da haste principal e das ramificações, à expansão foliar, à nodulação, etc.), duração da radiação solar (fotoperíodo), pluviosidade, temperatura, umidade (disponibilidade de água) e tratos culturais (manejo). Esses fatores abióticos podem influir diferentemente entre os locais e anos de cultivo, contribuindo para as interações G x E (CÂMARA, 1998).

Os fatores bióticos também têm contribuído em maior ou menor escala para as interações G x E. Dentre eles, as doenças e pragas destacam-se como os fatores bióticos que mais têm influenciado no comportamento diferencial dos genótipos de soja entre ambientes. Como exemplo, pode-se citar o cancro da haste da soja (CHS), causado pelo fungo *Diaporthe phaseolorum* f.sp. *meridionalis* Morgan-Jones, o nematóide de cisto da soja (NCS, *Heterodera glycines* Ichinohe) e a síndrome da morte súbita ou podridão vermelha das raízes (PVR), causado por *Fusarium solani* (Mart.) Sacc. f. sp. *Glycines* Roy. Rocha (1999), em um estudo sobre interação genótipos x locais (G x L) em soja, cita a ocorrência do CHS sob infestação natural em dois locais, como uma das causas que contribuíram para a interação G x L. Njiti et al. (1998) também reportaram a existência de correlação significativa entre os efeitos de interações G x E e os danos

causados pela PVR, diminuindo a produtividade de genótipos de soja. Pereira et al., (2008), em estudo para identificação de genótipos de soja com adaptabilidade e estabilidade de comportamento para resistência ao oídio, encontraram interação significativa de genótipo x época de avaliação, e observaram que existe um comportamento diferencial entre os genótipos, podendo este estar relacionado tanto com resistência, quanto com suscetibilidade ao oídio.

Segundo Mauro (1991), em função da grande importância dos reflexos da interação genótipo x ambiente no melhoramento de plantas, diversas metodologias vêm sendo desenvolvidas para a avaliação da estabilidade e adaptabilidade. Na maioria dessas avaliações, os genótipos são submetidos a diferentes condições de ambiente, sendo, posteriormente, efetuada uma análise de variância conjunta e verificada a ocorrência de significância na interação genótipo x ambiente. Cruz, Regazzi, Carneiro (2004) complementam que, pela importância da interação genótipo x ambiente, cabe ao melhorista avaliar a magnitude e a significância, quantificar os efeitos sobre as técnicas de melhoramento e estratégias de difusão de tecnologia e fornecer subsídios que possibilitem adotar procedimentos de minimização e aproveitamento. Por outro lado, estes autores enfatizam ainda a respeito da interação genótipo x ambiente, que, apesar de ser de grande importância para o melhoramento de plantas, não proporciona informações pormenorizadas sobre o comportamento de cada genótipo frente às variações ambientais. Por isso, as análises de adaptabilidade e estabilidade mostram a possibilidade de identificação de cultivares de comportamento previsível e que sejam responsivas às variações ambientais, em condições específicas ou amplas.

2.5 – Adaptabilidade e Estabilidade

Estudos a respeito da interação G x E, apesar de serem de grande importância para o melhoramento, não proporcionam informações pormenorizadas sobre o comportamento de cada genótipo frente às variações ambientais. Para tal objetivo, realizam-se análises de adaptabilidade e estabilidade, pelas quais torna-se possível a identificação de cultivares com comportamento previsível e que sejam responsivos às variações ambientais, em condições específicas ou amplas (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2004).

Existem diversas definições para adaptabilidade e estabilidade. Essas definições são de difícil explicação ao tratá-las como características agronômicas, em função do grande número e da natureza dessas explicações (MAURO, 1991). Segundo Vencovsky e Barriga (1992), adaptação e estabilidade, embora sejam fenômenos relacionados, não devem ser considerados como um só. Mariotti et al., (1976), designam adaptabilidade como a capacidade potencial dos genótipos de responderem vantajosamente ao estímulo ambiental. A estabilidade, por outro lado, seria a capacidade de um genótipo exibir um desempenho o mais constante possível, em função de variações na qualidade ambiental.

Segundo Jestin (1985), o termo adaptação envolve outros conceitos, tais como: interação genótipo x ambiente com relação a aspectos estatísticos; e estabilidade quanto à estimação dos parâmetros derivados de modelos interativos, dentre os quais Eberhart e Russell (1966), que permitem a avaliação de elevado número de genótipos em vários ambientes, prática atualmente facilitada com o advento de programas de computador específicos para a análise estatística relacionada. Cruz; Regazzi; Carneiro (2004) conceituam adaptabilidade da mesma forma e comentam que estabilidade refere-se à capacidade de os genótipos mostrarem um comportamento altamente previsível em função do estímulo ambiental.

As análises de adaptabilidade e estabilidade são procedimentos estatísticos que permitem, de algum modo, identificar as cultivares de comportamento mais estável e que respondem previsivelmente às variações ambientais. Algumas dessas análises permitem, também, dividir os efeitos da interação GxA em efeitos de genótipos e de ambientes, revelando a contribuição relativa de cada um para a interação total (ROCHA, 2002). Assim, a estimação dos parâmetros de adaptabilidade e estabilidade fenotípica tem sido uma forma muito difundida, entre os melhoristas de plantas, de avaliar novos genótipos antes de sua recomendação como cultivares.

Cruz; Regazzi; Carneiro (2004) ressaltam que há mais de 10 métodos de avaliação do desempenho genotípico que se baseiam na existência de interação genótipo x ambiente e diferem quanto aos conceitos de estabilidade e princípios estatísticos adotados, ocorrendo entre eles métodos alternativos ou até mesmo complementares, podendo ser utilizados conjuntamente. Os autores complementam que a decisão sobre qual metodologia utilizar dependerá dos dados experimentais, do número de ambientes disponíveis, da precisão requerida e do tipo de informação desejada.

2.6 - Metodologias de adaptabilidade e estabilidade fenotípica

Vários métodos estatísticos têm sido propostos e utilizados para investigar a adaptabilidade e estabilidade fenotípica. A diferença entre eles origina-se nos próprios conceitos e procedimentos biométricos para medir a interação G x E. Destacam-se os procedimentos baseados na variância da interação G x E (PLAISTED; PETERSON, 1959; WRICKE; WEBER, 1986; SHUKLA, 1972 e MAGARI; KANG, 1997); regressão linear simples (FINLAY; WILKINSON, 1963; EBERHART; RUSSELL, 1966; PERKINS; JINKS, 1968) e múltipla (VERMA et al., 1978; SILVA; BARRETO, 1986; CRUZ; TORRES; VENCOVSKY, 1989 e STORCK; VENCOVSKY, 1994); regressão quadrática (BRASIL; CHAVES, 1994); modelos não lineares (TOLER; BURROWS, 1998; SILVA, 1998 e ROSSE; VENCOVSKY, 2000) e não paramétricos, como a ordem de classificação genotípica (HÜHN, 1996); métodos multivariados, como a ACP (CROSSA, 1990), análise de agrupamento (HANSON, 1994), análise fatorial de correspondências (HILL, 1974) e análise de coordenadas principais (WESTCOTT, 1987); e métodos que integram a análise comum de variância (método univariado) com a análise de componentes principais (método multivariado), como é o caso da análise AMMI, sugerido por Gauch; Zobel (1996).

Dentre os vários métodos disponíveis para análise da adaptabilidade e estabilidade, serão descritos apenas os métodos empregados no presente trabalho.

Eberhart e Russel (1966) propuseram um método, derivado da metodologia de Finlay e Wilkinson (1963), que consiste numa análise de regressão linear simples onde o índice ambiental (efeito do ambiente) é a variável independente, e a produtividade média de cada genótipo em cada ambiente representa a variável dependente. Os parâmetros coeficiente de regressão (b_i) e a produtividade média estimam a adaptabilidade do genótipo; enquanto a variância dos desvios da regressão (s^2d_i) mede a sua estabilidade. Esses autores definiram como genótipo ideal aquele com produtividade média alta, b_i igual à unidade e s^2d_i o menor possível. Uma medida adicional acrescentada por Pinthus (1973) foi o coeficiente de determinação (R^2), que pode substituir s^2d_i ou auxiliá-lo, fornecendo uma medida da variação observada e explicada pela regressão. Segundo os autores, o genótipo ideal deve possuir alta produtividade, coeficiente de regressão linear próximo da unidade e desvio de linearidade próximo de

zero. Pacheco (1997) relata que, por sua simplicidade e eficiência, essa análise ainda é a preferida pelos melhoristas no desenvolvimento de seus programas.

Annicchiarico (1992) propôs um método não-paramétrico baseado em análise de variância em que a estabilidade é medida pela superioridade do genótipo em relação à média da cada ambiente. O método baseia-se na estimação de um índice de confiança (W_i), de um determinado genótipo mostrar comportamento relativamente superior. Assim, quanto maior for esse índice, maior será a confiança no genótipo. Os maiores valores de W_i serão obtidos pelos genótipos que apresentarem maior média percentual e menor desvio. A estabilidade do método está inserida no desvio-padrão dos percentuais da média do genótipo entre os ambientes considerados. Segundo Cruz; Carneiro (2003), a particularização da resposta em ambientes específicos considerando-se apenas dois grupos de ambientes, favoráveis e desfavoráveis, o comportamento genotípico pode não ser similar entre ambientes de mesmo índice ambiental.

O método multivariado AMMI (Additive Multiplicative Models Intercation) representa um modelo linear (efeitos aditivos) e bi-linear (efeito multiplicativo) que integra a ANAVA para efeitos aditivos principais (genótipos e ambientes) com a análise de componentes principais (ACP) para o efeito multiplicativo da interação $G \times E$ (GAUCH; ZOBEL, 1996). A análise AMMI pode auxiliar tanto na identificação de genótipos com alta produtividade e amplamente adaptados, como na realização do zoneamento agrônomo, com a finalidade de recomendação regionalizada e seleção de locais de teste (GAUCH; ZOBEL, 1996). O método ainda permite a obtenção de estimativas mais precisas das respostas genotípicas e possibilita uma fácil interpretação gráfica dos resultados da análise estatística, através do procedimento *biplot* (ZOBEL, WRIGHT, GAUCH, 1988).

Duarte e Vencovsky (1999) mencionam que um dos procedimentos usuais adotados para a definição do número de eixos (AMMI0: não inclui nenhum eixo ou termo da interação; AMMI1: inclui somente o primeiro eixo da interação; AMMI2: inclui somente os dois primeiros eixos da interação; AMMI n : inclui n eixos da interação) a serem retidos, de maneira a explicar o padrão relacionado à interação, consiste em determinar graus de liberdade associados à parcela da $SQ_{G \times E}$ relacionada a cada membro da família AMMI. A atribuição dos graus de liberdade associados à parcela da $SQ_{G \times E}$ relacionada a cada membro da família AMMI ainda é um aspecto

crucial da análise, e que ainda é motivo de estudo. Destes, o sistema aproximado de Gollob (1968) tem sido o mais usado, por ser de fácil aplicação. Segundo Annicchiarico (1997), a preferência sobre um ou outro teste deve depender do número de genótipos, locais e anos de testes.

De acordo com Duarte e Venkovsky (1999) e Maia et al., (2006), as relações adaptativas podem ser facilmente percebidas num biplot AMMI, observando-se os sinais dos escores para cada par de genótipos e ambientes. Assim genótipos e ambientes com escores de mesmo sinal (+, + ou -, -) devem interagir positivamente, evidenciando um sinergismo adaptativo a ser aproveitado na seleção. Já aqueles com sinais opostos devem interagir negativamente, sugerindo um antagonismo, ou seja, uma combinação desfavorável de genótipos e ambiente.

Em soja, as metodologias baseadas em regressão linear são as mais amplamente usadas para avaliar a adaptabilidade e estabilidade. O método proposto por Eberhart e Russel (1966) é o mais utilizado (ROCHA, 2002; VICENTE; PINTO; SCAPIM, 2004; TANCREDI, 2008).

Prado et al., (2001), avaliaram a adaptabilidade e estabilidade fenotípica de cultivares de soja em cinco épocas de plantio no cerrado de Rondônia e utilizaram os métodos da ecovalência (WRICKE; WEBER, 1986), EBERHART; RUSSEL (1966) e CRUZ; TORRES; VENCOVSKY, (1989). Esses autores concluíram que os métodos utilizados foram coerentes entre si e permitiram identificar, entre as cultivares avaliadas, as de maior estabilidade e adaptabilidade.

Rocha (2002), selecionando linhagens experimentais de soja para adaptabilidade e estabilidade fenotípica, por meio da ecovalencia, regressão linear de Eberhart; Russel e AMMI, concluiu que as metodologias foram similares no ordenamento das linhagens.

Vicente et al., (2004), analisando os efeitos da interação entre genótipos e ambientes sobre a adaptabilidade e estabilidade do rendimento de 9 linhagens elite de soja, concluíram que apesar dos resultados semelhantes oriundos das diferentes metodologias adotadas (ecovalencia; Eberhart, Russel; Cruz, Torres e Vencovsky; e AMMI), cada uma delas forneceu sua contribuição para um melhor entendimento da interação GxE.

Silva e Duarte (2006) avaliaram os métodos estatísticos de análise da interação GxA, enfatizando a adaptabilidade e a estabilidade fenotípica em soja. Avaliaram-se os métodos Tradicional; Plaisted, Peterson; Wricke, Finlay, Wilkinson; Eberhart, Russell; Verma, Chahal, Murty; Toler; AMMI; Hühn; Annicchiarico e Lin; Binns. Observou-se forte associação entre os de Plaisted; Peterson e Wricke, cujo uso concomitante foi contra-indicado. A mesma conclusão é atribuída aos métodos Annicchiarico e Lin; Binns, também fortemente associados, o que implica em classificações fenotípicas muito semelhantes. O uso de um deles, entretanto, é recomendado. Métodos baseados, exclusivamente, em coeficientes de regressão, devem ser utilizados em associação com outro, fundamentado na variância da interação GxA, ou em medidas estatísticas como a variância dos desvios da regressão. O uso combinado do método de Eberhart e Russell e AMMI é outra indicação, em razão de suas correlações significativas com a maioria dos outros métodos e uma associação relativamente fraca entre eles.

Os fatores ambientais que podem contribuir para a interação G x E também têm sido investigados. Alguns métodos utilizam variáveis ambientais associadas com parâmetros de estabilidade para avaliar com maiores detalhes a interação G x E. As respostas fisiológicas diferenciais de genótipos a fatores edáficos e climáticos são relevantes para a interação G x E (BAKER, 1988). Os métodos de regressão multilinear, a ACP e a combinação de ambos, são técnicas bastante usadas com essa finalidade (CROSSA, 1990).

Pereira et al., (2008), em estudo sobre adaptabilidade e estabilidade de genótipos de soja avaliados para resistência ao oídio, concluíram que o método de Eberhart e Russell (1966) permitiu distinguir os genótipos de melhor adaptabilidade e estabilidade, que em geral, também foram mais resistentes.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE ÓLEOS VEGETAIS. EXPORTAÇÕES DO COMPLEXO SOJA. Disponível em: <
<http://www.abiove.com.br/export.html>> Acesso em: 29 de out. de 2010.
- AGRIOS, G.N. **Plant Pathology**. 5. ed. Amsterdam; Boston: Elsevier Academic Press. 2005. 922 p.
- AKAMATSU, M. A.; BARRETO, M.; AKAMATSU, R. Detecção e distinção de *Phakopsora pachyrhizi* e *P. meibomia* em amostras do herbário uredinológico do Instituto Biológico. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 29, p. 277-278, ago. 2004. (Suplemento).
- ALLARD, R.W. **Princípios do melhoramento genético das plantas**. Rio de Janeiro: USAID/Edgard Blucher, 1971. 381p.
- _____.; BRADSHAW, A.D. Implications of genotype-environmental interactions in applied plant breeding. **Crop Science**, Madison, v.4, n.5, p.503-508, 1964.
- ALLIPRANDINI, L. F. et al. Understanding soybean maturity groups in Brazil: environment, cultivar classification, and stability. **Crop Science**, Madison, v. 49, n. 3, p. 801-808, 2009.
- ALVES, B. J. R.; BODDEY, R. M.; URQUIAGA, S. The success of BNF in soybean in Brasil. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 252, n. 1, p. 1-9, 2003.
- ALVES SAM, FURTADO GQ, BERGAMIN FILHO, A. Influência das condições climáticas sobre a ferrugem da soja. In: Zambolim L. (Ed.). **Ferrugem asiática da soja**. Viçosa ,MG. Suprema Gráfica e Editora Ltda. 2005. p. 37-59.
- ANNICCHIARICO, P. Cultivar adaptation and recommendation from alfafa trials in Northern Italy. **Journal of Genetics and Plant Breeding**, Rome, v. 46, n. 1, p. 269-278, Set. 1992.
- _____. Joint regression vs AMMI analysis of genotype-environment interactions for cereals in Italy. **Euphytica**, Wageningen, v.94, n.1, p.53-62, 1997.
- ARIAS, C.A.A. Potencial Genético da Soja: progressos e limitações para alta produtividade. In: WORLD SOYBEAN RESEARCH CONFERENCE, 7., 2004. Foz do Iguaçu. **Proceedings...**Londrina: Embrapa Soja, 2004. p.1263-1268.
- _____. et al. Melhoramento da soja visando resistência à ferrugem asiática no Brasil. In: SOUTH AMERICAN WORKSHOP ON SOYBEAN RUST. 2006, Londrina. **Proceedings...** Londrina: EMBRAPA Soja, 2006. p. 17.
- AZEVEDO, L.A.S.; JULIATTI, F.C.; BARRETO, M. Resistência de genótipos de soja à *Phakopsora pachyrhizi*. **Summa Phytopathologica**, v. 33, n. 3. 2007.

_____. et al. **Programa Syntinela: Monitoramento da dispersão de *Phakopsora pachyrhizi* e alerta contra a ferrugem asiática.** EMOPI, Gráfica e editora. 2004. 24 p. (Boletim técnico).

BALARDIN, R.S.; MADALOSSO, M.G.; ZABOT, L. & LENZ, G. O Custo das Doenças e as Vantagens de seu Controle. In: Sillon, M.; Muñoz, R. (Org.). **Las enfermedades del cultivo de soja y su importancia en los países del Mercosur.** 2010.

_____.; MENEGHETTI, R.; NAVARINI, L; DALLAGNOL, L. Como decifrar o enigma: ferrugem asiática. **Cultivar: Grandes Culturas**, Pelotas, v.7, n. 78, n. esp., p. 4-15, 2005.

BAKER, R.J. Tests for crossover genotype-environment interactions. **Canadian Journal of Plant Science**, v.68, n.2, p.405-410, 1988.

BERGAMIN FILHO, A. Epidemiologia comparativa: Ferrugem da soja e outras doenças. In: ENCONTRO SOBRE MANEJO INTEGRADO: FERRUGEM DA SOJA E DOENÇAS QUARENTENÁRIAS DOS CITROS, 8., 2006, Viçosa. **Anais...** Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2006. p. 1-9.

BONDE, M.R.; NESTER, S.E.; AUSTIN, C N.; STONE, C.L.; FREDERICK, R.D.; HARTMAN, G.L. & MILES, M.R. Evaluation of virulence of *Phakopsora pachyrhizi* and *P. meibomia* isolates. **Plant Disease**, v. 9, n. 6, p. 708-16, 2006.

BONETTI, L.P. Distribuição da soja no mundo: Origem, História e Distribuição. In: MIYASAKA, S.; MEDINA, J.C. (Eds.). **A Soja no Brasil.** Campinas: IAC, 1981, p. 1–5.

BORÉM, A. **Melhoramento de plantas.** 2.ed. Viçosa: UFV, 1998. 453p.

BRASIL, E. M.; CHAVES, L. J. Utilizacion de un modelo cuadrático para el estudio de la respuesta de cultivares a la variación ambiental. In: CONGRESO LATINOAMERICANO DE GENÉTICA, 11., Monterrey, 1994. **Memorias.** Monterrey: Asociacion Latinoamericana de Genetica, 1994. p.616.

BROMFIELD, K.R.; HARTWIG, E.E. Resistance to soybean rust and mode of inheritance. **Crop Science**, Madison, v.20, p.254-255, 1980.

_____. **Soybean Rust Monography.** Saint Paul: American Phytopathological Society, 1984. 1v.

CALVO, E.S.; KIIHL, R.A.S.; GARCIA, A.; HARADA, A.; HIROMOTO, D.M. Two major recessive soybean genes conferring soybean rust resistance. **Crop Science**, Madison, v. 48, p. 1350-4, 2008.

CÂMARA, G.M. Ecofisiologia da soja e rendimento. In: CÂMARA, G.M.S. **Soja: tecnologia da produção.** Piracicaba: Publique, 1998. p.256-277.

CAMARGO, L.E.A; BERGAMIN FILHO, A. Controle Genético. In: BERGAMIN FILHO, A.; KIMATI, H.; AMORIM, L. **Manual de Fitopatologia**. São Paulo: Ceres, 1995. cap. 37, p. 729-760.

CAMPBELL, C.L.; MADDEN, L.V. **Introduction to plant disease epidemiology**. New York NY. Wiley. 1990. 532 p.

COCKERHAM, C.C. Estimation of genetics variance. In: HANSON, W.D.; ROBINSON, H.F. (Eds.) **Statistical genetics and plant breeding**. Madison: National Academy of Sciences, 1963. p.53-94.

COMSTOCK, R.E.; MOLL, R.H. Genotype-environment interactions. In: HANSON, W.D.; ROBINSON, H.F. (Eds.) **Statistical genetics and plant breeding**. Washington: National Academy Science Natural Research, 1963. p.164-196. (Publication, 982)

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento – Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. **Nono levantamento de avaliação da safra 2009/2010 - Abril - 2007**. Disponível em: <www.conab.gov.br/conabweb/download/safra/7levsafra.pdf> Acesso em: 24 de agosto de 2010.

CROSSA, J. Statistical analyses of multilocation trials. **Advances in Agronomy**, v.44, p.55-85, 1990.

CRUZ, C.D. **Princípios de genética quantitativa**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, Imprensa Universitária, 2005. 394 p.

_____.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos Biométricos aplicados ao Melhoramento Genético**. Viçosa: UFV, 2003. 585 p. v. 2.

_____.; CASTOLDI, F.L. Decomposição da interação genótipos x ambientes em partes simples e complexa. **Revista Ceres**, v.38, n.219, p.422-430, 1991.

_____.; TORRES, R.A.A.; VENCovsky, R. An alternative approach to the stability analysis proposed by Silva and Barreto. **Revista Brasileira de Genética**, v.12, n.2, p.567-580, 1989.

_____.; REGAZZI, A. J.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos Biométricos aplicados ao Melhoramento Genético**. 3. ed. Viçosa: UFV, 2004. 480 p. v. 1.

DEL PONTE;E. .M.; GODOY, C. V.; LI, X.; YANG, X. B. Predicting severity of Asian soybean rust epidemics with empirical rainfall models. **Phytopathology**, St. Paul, v.96, p. 797-803.2006.

DESLANDES, J. A. Ferrugem da soja e de outras leguminosas causadas por *Phakopsora pachyrhizi* no Estado de Minas Gerais. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 4, n. 2, p. 337-339, 1979.

- DUARTE, J.B.; VENCOVSKY, R. **Interação genótipos x ambientes: uma introdução à análise AMMI**. Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Genética, 1999. 60 p. (Série Monografias, 9).
- EBERHART, S.A.; RUSSEL, W.A. Stability parameters for comparing varieties. **Crop Science**, v.6, n.1, p.36-40, 1966.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Contribuição ao desenvolvimento de linhagens de soja com resistência à patógenos**. Londrina: EMBRAPA Soja, 2002. 43 p. (Boletim de pesquisa e desenvolvimento 1).
- EMBRAPA. Doenças e Medidas de Controle. In: _____. **Tecnologias de Produção de Soja Região Central do Brasil 2007**. Londrina: Embrapa Soja, Embrapa Cerrados, Embrapa Agropecuária Oeste, 2006. p. 169-218
- EMBRAPA. 2010. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Centro Nacional de Pesquisa de Soja. **Consórcio Anti-Ferrugem**. Disponível em: <<http://www.consorcioantiferrugem.net/>>. Acesso em: 10 mar.
- FALCONER, D.S. **Introduction to quantitative genetics**. 3.ed. Harlow: Longman, 1989. 438p.
- _____.; MACKAY, T.F.C. **Introduction to quantitative genetics**. 4.ed. Harlow: Longman, 1996. 464p.
- FEHR, W.R. (Ed.). **Soybean. Principles of cultivar development: crop sciences**. New York: Macmillan Publishing, 1987. v. 2, cap. 14. 525 p.
- FERREIRA, P.V. Melhoramento de plantas visando à resistência a doenças. In: **Melhoramento de plantas: resistência às doenças e aos insetos-praga**. Maceió: Edufal, 2006. v. 6, cap. 1, p. 477-515.
- FINLAY, K.W.; WILKINSON, G.N. The analysis of adaptation in a plant-breeding programme. **Australian Journal of Agricultural Research**, v.14, n.5, p.742-754, 1963.
- GARCIA, A.; CALVO, E.S.; KIIHL, R. A.S.; HARADA, A.; HIROMOTO, D.M. & VIEIRA, L.G.E. Molecular mapping of soybean rust (*Phakopsora pachyrhizi*) resistance genes: discovery of a novel locus and alleles. **Theoretical and Applied Genetics**, Heidelberg, v. 117, p.545-53. 2008.
- GAUCH, H.G.; ZOBEL, R.W. AMMI analysis of yield trials. In: KANG, M.S.; GAUCH, H.G. (ed.) **Genotype-by-environment interaction**. New York: CRC Press, 1996. 416p.
- GODOY, C.V. et al. Eficiência do controle da ferrugem asiática da soja em função do momento de aplicação sob condições de epidemia em Londrina, PR. **Tropical Plant Pathology**, Lavras, v. 34, n.1, p. 056-061, 2009.

HARTMAN, G.L. Sources of resistance to soybean rust in perennial *Glycine* species. **Plant Disease**, Sain Paul, v.76, p. 396–9. 1992.

HARTMAN, G.L.; WANG, T.C.; SHANMUGASUNDARAM, S. Soybean rust research and future prospects. In: World Soybean Research Conference, 5., 1997, Bangkok. **Proceedings...** Bangkok: Kasetsart University Press, 1997. p.180-186.

_____.; et al. Variation of *Phakopsora pachyrhizi* isolates on soybean. In: WORLD SOYBEAN RESEARCH CONFERENCE, 7., Foz do Iguaçu, **Proceedings...** 2004. p.440-6.

HARTWIG, E.E.; BROMFIELD, K.R. Relationships among three genes conferring specific resistance to rust in soybeans. **Crop Science**, Madison, v.23, p.237-239, 1983.

_____. Identification of a fourth major gene conferring resistance to soybean rust. **Crop Science**, Madison, v.26, p.1135-136, 1986.

HILL, M.O. Correspondence analysis: a neglected multivariate method. **Applied Statistics**, New York, v.23, n.2, p.340-354, 1974.

HINSON, K.; HARTWIG, E.E. **Soybean production in the tropics**. Rome: FAO-UN AGPC, 1977. 92 p.

HÜHN, M. Nonparametric analysis of genotype x environment interactions by ranks. In: KANG, M.S.; GAUCH, H.G. **Genotype-by-environment interaction**. Boca Raton: CRC Press, 1996. cap.9, p.235-270.

IVANCOVICH, A. Soybean rust in Argentina. **Plant Disease**, Sain Paul, v.89, p.667-668, 2005.

JESTIN, I. Some aspects of adaptation and adaptability in European conditios. **Netherlands Journal of Agricultural Science**, Wageningen, v. 33, p. 195-213. 1985.

JULIATTI, F.C. et al. Doenças da soja. **Cultivar**. v. 47, p.3 - 14. 2003.

_____.; POLIZEL, A. C.; JULIATTI, F. C. **Manejo integrado de doenças da soja**. Uberlândia: Composer, 2004. 327p.

_____. et al. Ferrugem da soja – Epidemiologia e manejo para uma doença reemergente. In: Luz, W.C.; Fernandes, J.M.C.; Prestes, A.M.; Picinini, E.C. **Revisão Anual de Patologia de Plantas**. Passo Fundo, v. 13, p. 351 - 395. 2005.

_____. et al. Eficiência dos fungicidas aprovados na RPSRCB no controle da ferrugem asiática da soja, em Uberaba –MG. Universidade Federal de Uberlândia, p.79-91. In: **Documentos...** Embrapa-Soja, Resultados dos ensaios cooperativos para o controle da ferrugem asiática da soja, safra 2008-9. versão eletrônica, Nov. 2009, (documento n. 317).

_____. et al.2010. Resistência genética da soja à *Phakopsora pachyrhizi* e uso de fungicidas no manejo sustentável da doença. In: Luz, W.C.; Fernandes, J.M.C.; Prestes,

A.M.; Picinini, E.C. **Revisão Anual de Patologia de Plantas**. Passo Fundo, v. 18, p. 77-118. 2010.

KAISTER, M.; BONATO, E.R. Evolução da soja no Brasil: época de semeadura e população de plantas. In: MIYASAKA, S.; MEDINA, J.C. **A soja no Brasil**. Campinas: ITAL, 1981. p.58-64.

KAWUKI, R.S.; TUKAMUHABWA, P.; ADIPALA, E. Soybean rust severity, rate of rust development, and tolerance as influenced by maturity period and season. **Crop Science**, Madison, v.23, p.447-455, 2004.

_____.; ADIPALA, E.; TUKAMUHABWA, P. Yield loss associated with soya bean rust (*Phakopsora pachyrhizi* Syd.) in Uganda. **Journal of Phytopathology**, Hamburg, v.151, p.7-12, 2003.

KIIHL, R.A.S.; ALMEIDA, L.A.A. O futuro do melhoramento genético como agregador de tecnologia via semente. In: CONGRESSO DE TECNOLOGIA E COMPETITIVIDADE DA SOJA NO MERCADO GLOBAL, 2000, Cuiabá. **Anais...** Cuiabá, 2000. p.45-47.

KILLGORE, E.; HEU, R. First report of soybean rust in Hawaii. **Plant Disease**. St. Paul, v. 78, n. 1, p. 12-16, 1994.

LEVY, C. Epidemiology and chemical control of soybean rust in southern Africa. **Plant Disease**, St. Paul, v. 89, p. 669-74. 2005.

LIU, J.; et al. Molecular marker-facilitated pyramiding of different genes for powdery mildew resistance in wheat. **Plant Breeding**, New York, v. 119, n. 1, p. 21-4. 2000.

MAGARI, R.; KANG, M.S. SAS STABLE: stability analysis of balanced and unbalanced data. **Agronomy Journal**, Madison, v.89, n.5, p.929-932, 1997.

MARIOTTI, J. A. et al. Analisis de estabilidad y adaptabilidad de genótipos de caña de azúcar. I Internaciones dentro de una localidad experimental. **Revista Agronómica del Noroeste Argentino**, Tucumã, v. 13, n. 14, p. 405-412, ene. 1976.

MARTINS, J. A. S. et al. Período latente e uso da análise de componentes principais para caracterizar a resistência parcial à ferrugem da soja. **Summa Phytopathologica**, Jabotical, v. 33, n. 4, p. 364-71.

MATHER, K.; JINKS, J. L. **Biometrical genetics**. 3.ed. London: Chapman and Hall, 1982. 382p.

MAURO, A. O. **Adaptabilidade, estabilidade e ganho genético com o processo seletivo em soja (*Glycine max* (L.) Merrill) em Ponta Porã, Mato Grosso do Sul**. 1991. 192 p. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1991.

MCLEAN, R.J.; BYTH, D.E. Inheritance of resistance to rust (*Phakopsora pachyrhizi*) in soybeans. **Australian Journal of Agriculture Research**, Victoria, v.31, p.951-956, 1980.

MELCHING, J. S. et al. Effect of duration, frequency, and temperature of leaf wetness period on soybean rust. **Plant Disease**. St. Paul, v. 73, p. 117-122. 1989.

MILES, M.R. et al. International fungicide efficacy trials for the management of soybean rust. **Plant Disease**, Sain Paul, v. 91, p. 1450-8. 2007.

MIRANDA, F.T.S. **Interação genótipos x ambientes em linhagens de soja selecionadas para resistência ao nematóide de cisto**. Piracicaba, 1999. 141p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo. 1999.

MUELLER, T.A.; et al. Effect of fungicide and timing of application on soybean rust severity and yield. **Plant Disease**, Sain Paul, v. 93, p. 243-8. 2009.

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

NJITI, V.N.; et al. Relationship between soybean sudden death syndrome disease measures and yield components in F6-derived lines. **Crop Science**, Madison, v.38, n.3, p.673-678, 1998.

OLIVEIRA, A. C. B.; GODOY, C. V.; MARTINS, M. C. Avaliação da tolerância de cultivares de soja à ferrugem asiática no Oeste da Bahia. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 30, n. 6, p. 658-662, nov./dez. 2005.

OLIVEIRA, M. F. **Análise e previsão do potencial genético de um cruzamento de soja usando vários delineamentos em três épocas de semeadura**. 1994. 130 f. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina.

OLOKA, H.K. et al. Reaction of Exotic Soybean Germplasm to *Phakopsora pachyrhizi* in Uganda. **Plant Disease**, Sain Paul, v.92, n.11, p.1493-6. 2008.

PACHECO, C. A. P **Associação das metodologias de análise dialélica de Griffing da análise de adaptabilidade e estabilidade de Eberhart e Russell**. 1997. 118 f. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1997.

PARLEVLIET, J.E. 1997. Presents concepts in breeding for disease resistance. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 22, p. 7-15, Suplemento.

PENARIOL, A. Soja: Cultivares no lugar certo. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, v. 90, p. 13–14. 2000.

PEREIRA, D. G. et al.. O. Adaptabilidade e estabilidade de genótipos de soja avaliados para resistência ao oídio. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n. 7, Oct. 2008.

PERKINS, J.M.; JINKS, J.L. Environmental and genotype-environmental components of variability. III. Multiple lines and crosses. **Heredity**, Edinburgh, v.23, n.3, p.339-356, 1968.

PIEROZZI, P. H. B. **Controle genético da resistência da soja à ferrugem asiática: avaliações de severidade em campo experimental**. 2007. 142 f. Dissertação (Mestrado em Genética e Biologia Molecular) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina.

PIEROZZI, P.H.B. et al. New soybean (*Glycine max* Fabales, Fabaceae) sources os qualitative genetic resistance to asian soybean rust caused by *Phakopsora pachyrhizi* (Uredinales, Phakopsoraceae). **Genetics and Molecular Biology**, Ribeirão Preto, v. 31, n. 2, p.505-11. 2008.

PINTHUS, M.J. Estimate of genotypic value: a proposed method. **Euphytica**, Wageningen, v.22, n.1, p.121-123, 1973.

PLAISTED, R.L.; PETERSON, L.C. A technique for evaluating the ability of selections to yield consistently in different locations or seasons. **American Potato Journal**, Orono, v.36, n.2, p.381-385, 1959.

PRADO, E. E. et al.. Adaptabilidade e estabilidade de cultivares de soja em cinco épocas de plantio no cerrado de Rondônia. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, n. 4, p. 625-635, abr. 2001.

RAMALHO, M.A.P.; SANTOS, J.B.; ZIMMERMANN, M.J.O. **Genética quantitativa em plantas autógamas: aplicações ao melhoramento do feijoeiro**. Goiânia: UFG, 1993. 271p.

_____.; FERREIRA, D. F.; OLIVEIRA, A. C. **Experimentação em genética e melhoramento de plantas**. 2.ed. Lavras: UFLA, 2005. 326 p.

RIBEIRO, A.S. et al. Genetic control of Asian rust in soybean. **Euphytica**, Wageningen, v. 157, p.15-25. 2007.

_____. et al. Genetic control of soybean (*Glycine max*) yield in the absence and presence of the Asian rust fungus (*Phakopsora pachyrhizi*). **Genetics and Molecular Biology**, Ribeirão Preto, v. 31, n. 1, p. 98- 105, Aug. 2008.

RIBEIRO, A.S. **Estratégias para a obtenção de linhagens com resistência durável à ferrugem asiática da soja**. 2009. 112p. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) – Universidade Federal de Lavras, Lavras. 2009.

ROBINSON, R.A. New concepts in breeding for disease resistance. **Annual Review of Phytopathology**, Palo Alto, v. 18, p. 189-210. 1980.

_____.; VELLO, N.A. Interação genótipos e locais para rendimento de grãos de linhagens de soja com diferentes ciclos de maturação. **Bragantia**, v.58, n.1, p.69-81, 1999.

ROCHA, M.M. **Seleção de linhagens experimentais de soja para adaptabilidade e estabilidade fenotípica**. 2002. 173 f. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba. 2002.

RODRIGUÉZ, A.C.; RIOS, J.A.; HERNÁNDEZ, J.R. First report of asian soybean rust caused by *Phakopsora pachyrhizi* from Mexico. **Plant Disease**, St Paul, v. 90, n.9, p. 1260, 2006.

ROMAGOSA, I.; FOX, P.N. Genotype x environment interaction and adaptation. In: HAYWARD, M.D.; BOSEMARK, N.O.; ROMAGOSA, I. **Plant breeding: principles and prospects**. London: Chapman & Hall, 1993. cap. 20, p. 375-390.

ROSSE, L.N.; VENCOVSKY, R. Modelo de regressão não-linear aplicado ao estudo da estabilidade fenotípica de genótipos de feijão no Estado do Paraná. **Bragantia**, Campinas, v.59, n.1, p.99-107, 2000.

ROSSI, R.L. First report of *Phakopsora pachyrhizi*, the causal organism of soybean rust, in the province of Misiones, Argentina. **Plant Disease**, Sain Paul, v.87, p.102, 2003.

SALEHUHUZZAMAN, M.; JOADER, O.I. Genotype - environment interaction in yeld and yeld componets of soybean (*Glycine max* (L.) Merrill). **Acta Agron Hungariar**, v.31, n.3/4, p.364-371, 1982.

SANTOS, J.A. et al. Caracteres epidemiológicos e uso da análise de agrupamento para resistência parcial à ferrugem da soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v. 42, p.443-447. 2007.

SCHNEIDER, R.W.; HOLLIER, C.A.; WHITAM, H.K. First Report of Soybean Rust caused by *Phakopsora pachyrhizi* in the Continental United States. **Plant Disease**, St. Paul, v. 89, n. 7, p. 774, 2005.

SEDIYAMA, T.; TEIXEIRA, R.C.; REIS, M.S. Melhoramento da soja. In: BOREM, A. **Melhoramento de espécies cultivadas**. 2 ed. Viçosa: UFV, 2005. p. 553 – 603.

SILVA, J.G.C.; BARRETO, J.N. An application of segmented linear regression to the study of genotypes environment interaction. **Biometrics**, New York, v.41, n.4, p.1093, 1986.

SILVA, J.G.C. Análise da adaptabilidade por regressão segmentada com estimação da junção dos segmentos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.33, n.7, p.1013-1029, 1998.

SILVA, W. C. J.; DUARTE, J. B. Métodos estatísticos para estudo de adaptabilidade e estabilidade fenotípica em soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.41, n.1, p.23-30, jan. 2006.

SILVA, V.A.S.; JULIATTI, F.C.; SILVA, L.A.S. Interação entre resistência genética parcial e fungicidas no controle da ferrugem asiática da soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, n.9, p.1261-8. 2007.

SILVA, D.C.G.; et al. Molecular mapping of two loci that confer resistance to Asian rust in soybean. **Theoretical and Applied Genetics**, Heidelberg, v. 117, p. 57-63, 2008.

SINCLAIR, J.B.; HARTMAN, G. L. Soybean diseases. In: HARTMAN, G.L.; SINCLAIR, J.B.; RUPE, J.C. (Eds.). **Compendium of Soybean Diseases**. 4 ed. St. Paul. American Phytopathological Society, 1999. p.3-4.

SHANER, G.; FINNEY, R..F. The effects of nitrogen fertilization on the expression of slow-mildewing in know wheat. **Phytopathology**, St. Paul, v.70, p. 1183-86, 1977.

SHUKLA, G.K. Some statistical aspects of partitioning genotype-environmental components of variability. **Heredity**, Edinburgh, v.29, n.2, p.237-245, 1972.

SOARES, R.M.; RUBIN, S.A.L.; WIELEWICKI, A.P. & OZELAME, J.G. Fungicidas no controle da ferrugem asiática (*Phakopsora pachyrhizi*) e a produtividade da soja. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 4, p. 1245-7. 2004.

STORCK, L.; VENCOSKY, R. Stability analysis on a bi-segmented discontinuous model with measurement errors in the variables. **Revista Brasileira de Genética**, v.17, n.1, p.75-81, 1994.

TAI, F.L. *Phakopsora pachyrhizi* Syd. In: SYLLOGE FUNGORUM SINICORUM, 1979, Poeking. **Proceedings...** Poeking: Science Press, Academia Sinica, 1979.

TANCREDI, F. D. **Genótipos de soja e ferrugem asiática (*Phakopsora pachyrhizi*): correlações, reação, adaptabilidade e estabilidade**. 2008. 171f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) –Universidade Federal de Viçosa, Viçosa - MG. 2008.

TMG - TROPICAL MELHORAMENTO E GENÉTICA. Genética e melhoramento para resistência à ferrugem asiática da soja. In: **FUNDAÇÃO MT: Boletim de Pesquisa de Soja 2008**. Rondonópolis: Fundação MT, p. 47-50.

TOLEDO, J.F.F. de; et al. Genotype by environmental interaction on soybean yield in Mato Grosso State, Brazil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.41, p.785-791, 2006.

TOLER, J.E.; BURROWS, P.M. Genotypic performance over environmental arrays: a non-linear grouping protocol. **Journal of Applied Statistics**, v.25, n.1, p.131-143, 1998.

TSCHANZ, A. T. Soybean rust epidemiology: Final Report. **Asian Vegetable Research and Development Center**, Shanhua, Taiwan. 1984.

UNFRIED, J.R. **Estratégias para seleção de linhagens experimentais de soja para tolerância à ferrugem e associações com outras doenças**. 2007. 220 f. Tese

(Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba. 2007.

VANDERPLANK, J. E. **Principles of Plant Infection**. Academic Press, New York, 1975. 216p.

VALE, F.X.R., FERNANDES FILHO, E.I.; LIBERATO, J.R. 2003. QUANT. A software plant disease severity assessment. International Congress of Plant Pathology, 8., 2003, **Proceedings...** [Christchurch]: [s.n.] p. 105.

VENCOVSKY, R.; BARRIGA, P. **Genética biométrica no fitomelhoramento**. Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Genética, 1992. 486p.

VERMA, M.M.; CHAHAL, G.S.; MURTY, B.R. Limitations of conventional regression analysis, a proposed modification. **Theoretical and Applied Genetics**, Heidelberg, v.53, n.2, p.89-91, 1978.

VICENTE, D.; PINTO, R. J. B.; SCAPIM, C. A. Análise da adaptabilidade e estabilidade de linhagens elite de soja. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 26, n. 3, p. 301-307. 2004.

WESTCOTT, B. A method of assessing the yield stability of crop genotypes. **Journal of Agricultural Sciences**, v.108, n.2, p.267-274, 1987.

WRATHER, A.; et al. 2010. Effect of diseases on soybean yield in the top eight producing countries in 2006. **Plant Health Progress**, v.10, p.1094. 2010.

WRICKE, G.; WEBER, E.W. **Quantitative genetics and selection in plant breeding**. Berlin: Walter de Gruyter, 1986. 406p.

XU, B.; ZHEN, H.; LU, Q.; ZHAO, S. Three new evidences of the original area of soybean. In: WORLD SOYBEAN RESEARCH CONFERENCE, 4., 1989, Buenos Aires. **Proceedings...** Buenos Aires: AASOJA, 1989, p. 123-130.

YORINORI, J. T. Ferrugem da soja: panorama geral. In: WORLD SOYBEAN RESEARCH CONFERENCE, VII, 2004. Londrina. **Anais...** Londrina: Embrapa Soja, 2004. p. 1299-1307.

_____. NUNES JUNIOR, J. Soybean Germplasm with Resistance and Tolerance to “Asian” Rust and Screening Methods. In: SOUTH AMERICAN WORKSHOP ON SOYBEAN RUST. 2006, Londrina. **Proceedings...** Londrina: Embrapa Soybean, 2006. p. 13.

_____. et al. Epidemics of soybean rust (*Phakopsora pachyrhizi*) in Brazil and Paraguay. **Plant Disease**, v. 89, p.675-677, 2005.

_____. YUYAMA, M.M. Doenças da soja. In: _____. **FUNDAÇÃO MT**. Rondonópolis: Fundação MT, 2008. p. 98-110. (Boletim de Pesquisa de Soja 2008).

_____. YUYAMA, M.M.; SIQUERI, F.V. Doenças da Soja. In: _____. **FUNDAÇÃO MT**. Rondonópolis: Fundação MT, 2009. p. 180-228. (Boletim de Pesquisa de Soja 2009).

ZOBEL, R.W.; MADISON, J.W.; GAUCH, H.G. Statistical analysis of a yield trial. **Agronomy Journal**, v.80, n.3, p.388-393, 1988.

CAPÍTULO 2
CONTROLE GENÉTICO DA RESISTÊNCIA PARCIAL À FERRUGEM
ASIÁTICA DA SOJA

RESUMO

MARTINS, JULIANA ARAÚJO SANTOS. **Controle genético da resistência parcial à ferrugem asiática da soja**. 2011. 24f. Tese (Doutorado em Agronomia/Fitotecnia) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia.¹

A presença de genes quantitativos que expressam resistência à ferrugem asiática no germoplasma brasileiro pode representar uma alternativa para o desenvolvimento de novas cultivares no controle da ferrugem. Informações a respeito do controle genético da resistência à ferrugem asiática foram obtidas a partir dos cruzamentos Caiapônia x IAC 100 e Luziânia x Potenza. Foram avaliadas as gerações F₂ e F₃ e, para o cruzamento de Caiapônia x IAC 100, também foi avaliada a segunda geração dos retrocruzamentos (RC₁₂ e RC₂₂). A severidade da ferrugem asiática foi obtida pela estimativa visual de 3 folíolos do terço médio/planta, por 3 avaliadores diferentes, obtendo assim a média de cada planta individual. A partir desses dados foram estimados os componentes genéticos de média e de variância, empregando-se o método dos quadrados mínimos ponderados. Foram obtidas também a estimativa do número de genes e da herdabilidade no sentido amplo e restrito. Concluiu-se que o controle genético da resistência à Ferrugem é um caráter governado por poucos genes (1 a 5), com predominância dos efeitos dominantes no controle. A estimativa da herdabilidade no sentido restrito acima de 70 % para o cruzamento Caiapônia x IAC 100 e amplo acima de 60 % para o cruzamento Luziânia x Potenza, mostrou que há possibilidade de sucesso na seleção de indivíduos resistentes já nas gerações iniciais.

Palavras-chave: *Glycine max*, *Phakopsora pachyrhizi*, severidade, variância, herdabilidade.

¹Orientador: Fernando Cézar Juliatti – UFU.

ABSTRACT

MARTINS, JULIANA ARAÚJO SANTOS. **Genetic control of partial resistance to soybean rust**. 2011. 24f. Thesis (Doctoral Program Agronomy/Crop Science) - Federal University of Uberlândia, Uberlândia.¹

The presence of quantitative genes that express resistance to Asian rust in Brazilian germplasm may be a good alternative for the development of new cultivars in rust control. Information about the genetic control of resistance to rust was obtained from the crossings Caiapônia x IAC 100 and Luziânia x Potenza. It was evaluated the F₂ and F₃ generations from the crossing of Caiapônia x 100 IAC as well as the second generation of backcrosses (RC12 and RC22). Rust severity was obtained by visual assessment of the middle third of three leaflets per plant and performed by three different evaluators, thus obtaining the average of each individual plant. From these data we estimated the mean and variance genetic components, employing the weighted least squares method. It was also obtained the estimated number of genes and heritabilities in broad and narrow senses. It was concluded that the genetic control of resistance to rust is a character controlled by 2 to 23 genes, with predominantly dominant effects. The estimate of narrow sense heritability was above 70% for the cross Caiapônia x IAC 100 and wide sense of over 60% for the cross Luziânia x Potenza, which allows the possibility of success in the selection of resistant individuals in early generations.

Keywords: *Glycine max*, *Phakopsora pachyrhizi*, severity, variance, heritability.

¹Major Adviser: Fernando Cézar Juliatti – UFU.

1 – INTRODUÇÃO

A ferrugem asiática, causada pelo fungo *Phakopsora pachyrhizi*, desde a sua ressurgência a partir de 2001, desponta como a principal doença da cultura da soja. Isso se deve ao seu alto potencial de dano e à constante presença em praticamente todas as regiões produtoras ao longo desses anos (JULIATTI et al., 2005).

Entre as cultivares de soja recomendadas, ainda não há uma com nível de resistência que dispense o uso de fungicidas para o controle da ferrugem asiática. Atualmente, a principal forma de controle se baseia na utilização de fungicidas de diferentes classes e modos de ação (MILES et al., 2007). Isto se deve, em parte, ao fato de o fungo possuir diversas raças com vários alelos de virulência (SINCLAIR; HARTMAN, 1999). Devido à variabilidade do patógeno, principalmente no cerrado brasileiro (YORINORI, et al., 2005), a identificação de cultivares resistentes deve ser realizada.

Estudos genéticos desenvolvidos comprovam a existência de efeitos genéticos aditivos para a ferrugem asiática (ARIAS et al., 2007; RIBEIRO et al., 2007; PIEROZZI, 2007; RIBEIRO, 2009). A presença de genes quantitativos que expressam resistência à ferrugem asiática no germoplasma brasileiro pode representar uma alternativa para o desenvolvimento de novas cultivares no controle da ferrugem. Contudo, no Brasil, em função da reemergência recente do patógeno, há poucos trabalhos sobre a herança da resistência à ferrugem (RIBEIRO et al., 2007; PIEROZZI, et al., 2008; RIBEIRO, 2009).

A variabilidade fenotípica pode ser conhecida por meio das estimativas de herdabilidade, dos coeficientes de correlação fenotípica, genética e ambiental, das variâncias genéticas e fenotípicas, entre outros parâmetros genéticos, que quantificam e distinguem os efeitos de natureza genética e ambiental, permitindo, assim, a predição dos ganhos decorrentes da seleção e a definição das estratégias de melhoramento que devem ser adotadas visando maior sucesso (CRUZ, 2005). Estudos prévios realizados por Azevedo; Juliatti; Barreto, 2007; Santos et al., 2007; Silva; Juliatti; Silva, 2007, demonstraram a resistência parcial nos genótipos IAC 100 e Potenza, respectivamente.

Diante do exposto, o presente trabalho foi realizado com o objetivo de estudar o controle genético da resistência à ferrugem asiática em linhagens de soja derivadas dos parentais com resistência parcial, IAC 100 e Potenza.

2 - MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa-de-vegetação do Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, MG, e também na Fazenda Capim Branco pertencente à Universidade Federal de Uberlândia, no município de Uberlândia, MG, situada na latitude 18° 55'23''S e longitude 48°17'19''W. Posteriormente, as populações foram avaliadas em campo na Estação Experimental Agroteste, em Uberlândia-MG, localizada na latitude Sul 21°12'58'' e 45°03'18'' longitude Oeste, a 900 metros de altitude.

Foram utilizados os cruzamentos Caiapônia x IAC 100 e Luziânia x Potenza para obtenção da população F₁. A partir de julho de 2007, os genitores foram cruzados, em condições de casa de vegetação, sendo obtidas as gerações F₁. A obtenção dos retrocruzamentos, o avanço da geração F₁ e F₂ e a multiplicação dos parentais foram realizada também em casa de vegetação, no período de 2008 a 2009.

Na safra 2009/10, foram avaliados, sob condições de campo e na estação experimental Agroteste, Uberlândia, MG, os parentais e as gerações F₂ e F₃, e para o cruzamento de Caiapônia x IAC 100 também foi avaliado a segunda geração dos retrocruzamentos (F₂RC₁₁ e F₂RC₂₁). Na simbologia RC₁₁ e RC₂₁, o primeiro número refere-se à cultivar utilizada no retrocruzamento, e o segundo, ao número de vezes em que o pai recorrente participou de retrocruzamentos. O delineamento experimental foi o de blocos casualizados com quatro repetições. As condições do experimento foram àquelas comuns à cultura da soja (EMBRAPA, 2008). Durante a condução do experimento, foram promovidos o controle químico das pragas e o manual das plantas daninhas, na medida em que se fizeram necessários.

Para redução do potencial da evolução da epidemia da ferrugem, uma vez que a semeadura foi tardia, também e melhor avaliação da resistência parcial, foi realizada uma aplicação do fungicida do grupo químico das estrobilurinas (azoxistrobina) – 300 mL do produto comercial por hectare, para um volume de calda de 200 L, na primeira aplicação. Na segunda aplicação, utilizou-se a mistura de triazol e estrobilurina (piraclostrobina + epoxiconazole), na dose de 500 mL por hectare, no mesmo volume de

200 L de calda. As aplicações foram realizadas nos estádios R_1 e R_5 . Deste modo, buscou-se melhorar o grau de confiabilidade para avaliar a resistência parcial.

Foi avaliada a severidade da ferrugem da soja pela estimativa visual de 3 folíolos do terço médio/planta, por 3 avaliadores diferentes, obtendo-se assim a média de cada planta individual. A avaliação foi realizada no estádio $R_{5,5}$, aos 80 dias após a semeadura, pois foi o estádio fenológico onde se verificou maior expressão da severidade de sintomas nas testemunhas suscetíveis. Para determinação da porcentagem de severidade da doença foi utilizada a escala diagramática proposta por Juliatti et al., (2009) (Figura 1A), que consideram as porcentagens 0,5, 5, 20, 40, 60, 80% do tecido foliar infectado. Foram utilizados, em média, 40 indivíduos de cada parental, 120 indivíduos da geração F_2 e retrocruzamentos e 400 indivíduos da geração F_3 , para os dois cruzamentos.

2.1 - Análises estatísticas e genéticas

Com base nas notas das plantas individuais foi realizada a análise de variância (ANAVA) para cada cruzamento utilizando os parentais e as gerações F_2 e F_3 , e para o cruzamento de Caiapônia x IAC 100 foram incluídas as gerações F_2RC_{11} e F_2RC_{21} .

Foram estimadas as médias e as variâncias dos genitores, das gerações F_2 e F_3 e dos RC, quando presentes, para o caráter em estudo. A partir desses dados, estimaram-se os componentes de média, empregando-se o método dos quadrados mínimos ponderados (ROWE; ALEXANDER, 1980; MATHER; JINKS, 1984; RAMALHO; SANTOS; ZIMMERMANN, 1993). Considerou-se o modelo aditivo-dominante sem epistasia, e para o cruzamento Caiapônia x IAC 100 também foi considerado o modelo aditivo-dominante com epistasia, conforme a expressão:

$$\hat{B} = (X' W Y)^{-1} X' W Y$$

$$\hat{B} = \begin{bmatrix} \hat{m} \\ \hat{a} \\ \hat{d} \\ \hat{i} \\ \hat{j} \\ \hat{l} \end{bmatrix} \quad X = \begin{matrix} & \begin{matrix} m & a & d & i & j & l \end{matrix} \\ \begin{matrix} 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & -1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0.5 & 0 & 0 & 0.25 \\ 1 & 0 & 0.25 & 0 & 0 & 0.0625 \\ 1 & 0.5 & 0.25 & 0.25 & 0.125 & 0.0625 \\ 1 & -0.5 & 0.25 & 0.25 & -0.125 & 0.0625 \end{bmatrix} \end{matrix} \quad Y = \begin{bmatrix} \hat{m}_{P1} \\ \hat{m}_{P2} \\ \hat{m}_{F2} \\ \hat{m}_{F3} \\ \hat{m}_{RC11} \\ \hat{m}_{RC21} \end{bmatrix}$$

$$W = \frac{n}{\sigma_i^2} = \begin{bmatrix} n/\sigma_{F1}^2 & & & & & \\ & n/\sigma_{P2}^2 & & & & \\ & & n/\sigma_{F2}^2 & & & \\ & & & n/\sigma_{F3}^2 & & \\ & & & & n/\sigma_{RC11}^2 & \\ & & & & & n/\sigma_{RC21}^2 \end{bmatrix}$$

em que $\hat{m}$ é a média fenotípica dos genótipos homozigóticos; $\hat{a}$ desvio dos homozigotos m relação ao ponto médio; $\hat{d}$ desvio do heterozigoto em relação ao ponto médio; $\hat{i}$ é a interação do tipo homozigoto x homozigoto (aditivo:aditivo); $\hat{j}$ é a interação do tipo homozigoto x heterozigoto (aditivo: dominante); $\hat{l}$ é a interação do tipo heterozigoto x heterozigoto (dominante: dominante) $\hat{m}_{P1}$ é a estimativa da média do pai 1; $\hat{m}_{P2}$ é a estimativa da média do pai 2; $\hat{m}_{F2}$ é a estimativa da média da geração F₂; $\hat{m}_{F3}$ é a estimativa da média da geração F₃; $\hat{m}_{RC11}$ é a estimativa da média da geração RC₁₁; $\hat{m}_{RC21}$ é a estimativa da média da geração RC₂₁; n é o número de plantas de cada geração; σ_{F1}^2 é a variância do pai 1; σ_{P2}^2 é a variância do pai 2; σ_{F2}^2 é a variância da geração F₂; σ_{F3}^2 é a variância da geração F₃; σ_{RC11}^2 é a variância do RC₁₁ e σ_{RC21}^2 é a variância do RC₂₁.

Posteriormente, foram estimados os componentes da variância genética e ambiental, utilizando-se o método dos quadrados mínimos ponderados iterativos (MATHER; JINKS, 1984; RAMALHO; SANTOS; ZIMMERMANN, 1993):

$$\hat{B} = (X' WY)^{-1} X' WY$$

$$\hat{B} = \begin{bmatrix} \sigma_A^2 \\ \sigma_D^2 \\ \sigma_e^2 \end{bmatrix} \quad X = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1.5 & 0.5 & 1 \\ 0.5 & 0.125 & 1 \\ 0.5 & 0.125 & 1 \end{bmatrix} \quad Y = \begin{bmatrix} \sigma_{F1}^2 \\ \sigma_{F2}^2 \\ \sigma_{F2}^2 \\ \sigma_{F3}^2 \\ \sigma_{RC11}^2 \\ \sigma_{RC21}^2 \end{bmatrix}$$

$$W = n/\sigma_i^2 = \begin{bmatrix} n/\sigma_{F1}^2 & & & & & \\ & n/\sigma_{F2}^2 & & & & \\ & & n/\sigma_{F2}^2 & & & \\ & & & n/\sigma_{F3}^2 & & \\ & & & & n/\sigma_{RC11}^2 & \\ & & & & & n/\sigma_{RC21}^2 \end{bmatrix}$$

em que σ_A^2 é a estimativa da variância genética aditiva; σ_D^2 é a estimativa da variância genética de dominância; σ_e^2 é a estimativa da variância ambiental entre plantas; σ_{F2}^2 a estimativa da variância fenotípica entre plantas da geração F₂; σ_{F3}^2 a estimativa da variância fenotípica entre plantas da geração F₃; σ_{RC11}^2 a estimativa da variância fenotípica entre plantas do RC₁₁ e σ_{RC21}^2 a estimativa da variância fenotípica entre plantas do RC₂₁.

Os componentes de média e de variância foram estimados com auxílio do aplicativo computacional MAPGEN (FERREIRA; ZAMBALDE, 1997).

Foi obtida também a estimativa do número de genes e da herdabilidade no sentido amplo e restrito, para as gerações F₂ ($h_{aF_2}^2$; $h_{rF_2}^2$) e F₃ ($h_{aF_3}^2$; $h_{rF_3}^2$), utilizando-se os seguintes estimadores (BERNARDO, 2002):

$$h_{rF_2}^2 = \frac{\sigma_A^2}{\sigma_{F_2}^2}; \quad h_{rF_3}^2 = 1.5 \frac{\sigma_A^2}{\sigma_{F_3}^2};$$

$$h_{aF_2}^2 = \frac{\sigma_{F_2}^2 - \sigma_e^2}{\sigma_{F_2}^2} \quad e \quad h_{aF_3}^2 = \frac{\sigma_{F_3}^2 - \sigma_e^2}{\sigma_{F_3}^2}.$$

Para a estimativa do número de genes (n) envolvidos no controle do caráter, considerando a presença de dominância, utilizou-se a expressão de Burton (1951), apresentada por Ramalho; Santos; Zimmermann (1993):

$$n = \frac{1/4 (\frac{3}{4} - \mu + \mu^2) D^2}{\sigma_{F_2}^2 - \sigma_E^2}$$

onde:

$$\mu = \frac{\bar{F}_1 - \bar{P}_1}{\bar{P}_2 - \bar{P}_1}$$

$$D = \bar{P}_2 - \bar{P}_1$$

em que: $\bar{P}_1$ - média do caráter para o pai 1; $\bar{P}_2$ - média do caráter para o pai 2; $\sigma_{F_2}^2$: variância fenotípica da geração F₂; σ_E^2 : variância ambiental e $\bar{F}_1$ - média da geração F₁.

3 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir dos resultados das análises de variância apresentados na Tabela 1, foram verificadas diferenças significativas ($p \leq 0,01$) entre os parentais e gerações segregantes, para os dois cruzamentos utilizados. A existência da variação é condição essencial para o estudo do controle genético do caráter severidade da doença (%).

TABELA 1. Análise de variância para severidade da ferrugem asiática da soja em experimento de avaliação dos parentais e das gerações segregantes de dois cruzamentos. Uberlândia, MG, 2011.

FV	GL	QM	GL	QM
		Caiaônia x IAC100		Luziânia x Potenza
Blocos	3	8,36	3	11,12
Gerações	5	513,17**	3	671,17**
Resíduo	15	30,10	9	13,0
Médias		27,01		24,0
CV(%)		20,31		15,02

** : Significativo, a 1% de probabilidade, pelo teste de F.

3.1 - Distribuição de freqüências

Os histogramas relativos à distribuição de frequência em cada geração para os dois cruzamentos estão apresentados nas Figuras 1 e 2. A distribuição de frequência, em todas as gerações, evidencia, a princípio, que o caráter deve ter controle poligênico, pois, se fosse monogênico, na ausência do efeito ambiental, seriam esperadas duas ou três classes fenotípicas, o que não ocorreu. A ausência da distribuição de freqüências fenotípicas bem definidas já foi constatada em outras oportunidades (RIBEIRO et al., 2007; PIEROZZI, 2007; RIBEIRO, 2009).

Para o cruzamento Caiapônia x IAC100 (Figura 1), os resultados obtidos indicam a presença de dominância no controle do caráter. Como se constata, a cultivar IAC 100 apresentou bom nível de resistência, sendo as notas inferiores a 30%. As gerações F₂ e F₃ apresentaram desempenho semelhante a esse pai, embora com alguns indivíduos apresentando na avaliação notas superiores. Os resultados apresentados por Garcia et al. (2008) e Pierozzi et al. (2008) sobre a PI 200526 reforçam as observações sobre a ação de genes de efeito dominante no controle do caráter.

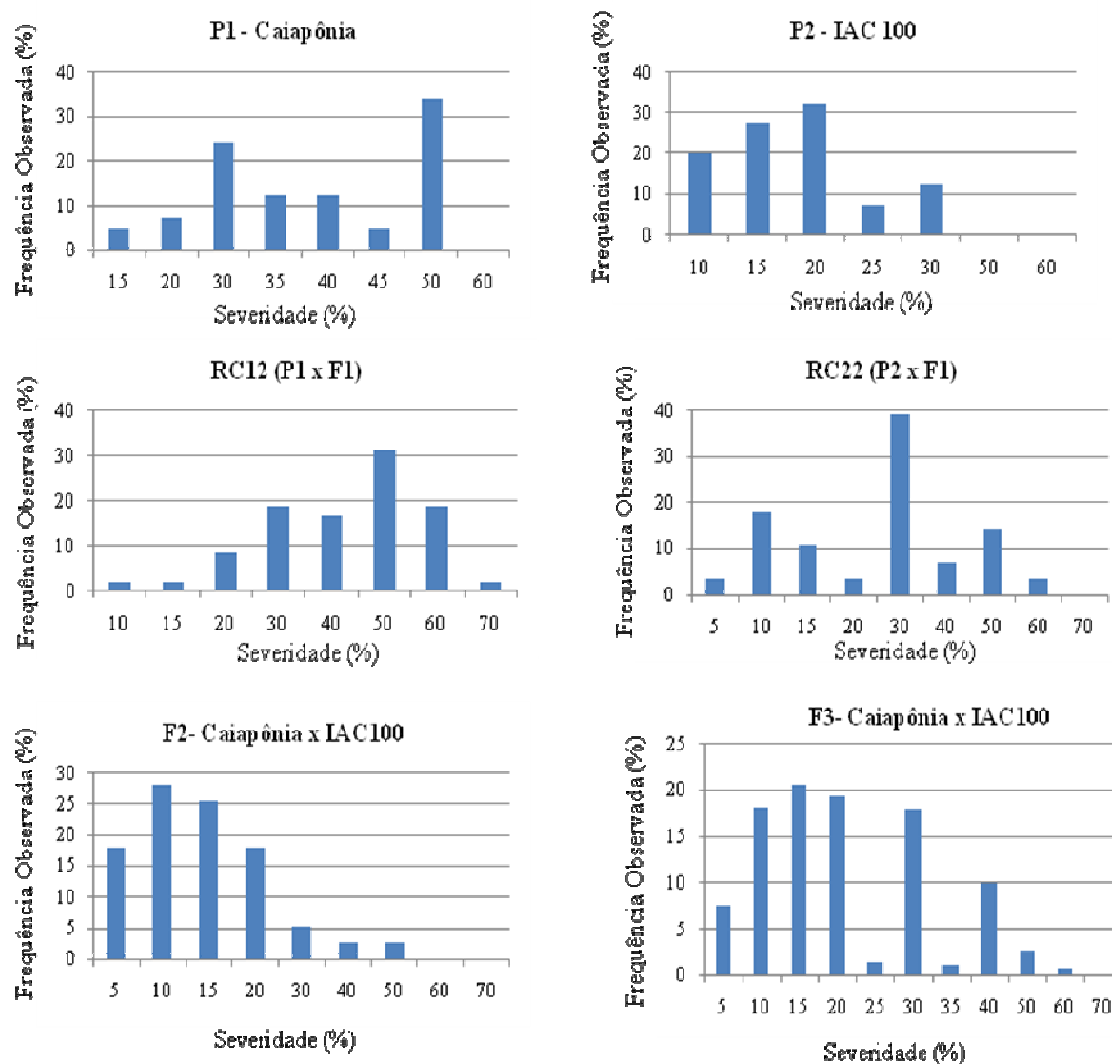


FIGURA 1. Frequência relativas da severidade da ferrugem asiática em cada geração proveniente do cruzamento Caiapônia x IAC 100. Uberlândia, MG, 2011.

No cruzamento Luziânia x Potenza (Figura 2), as gerações demonstraram uma distribuição contínua para o caráter. Embora o progenitor Potenza tenha sido relatado

como portador de resistência parcial (SILVA; JULIATTI; SILVA, 2007), nesse experimento, as notas de severidade da ferrugem foram expressivamente superiores ao do progenitor Luziânia. Esse fato pode estar relacionado às condições ambientais e também à variabilidade do patógeno (JULIATTI et al., 2003; YORINORI, 2004).

A seqüência de distribuição das médias das gerações confirma a existência de um caráter quantitativo da herança da resistência à ferrugem asiática, já verificada em outros trabalhos utilizando-se outros genitores (RIBEIRO et al., 2007; PIEROZZI, 2007; COSTA, 2008; GARCIA et al., 2008; RIBEIRO, 2009).

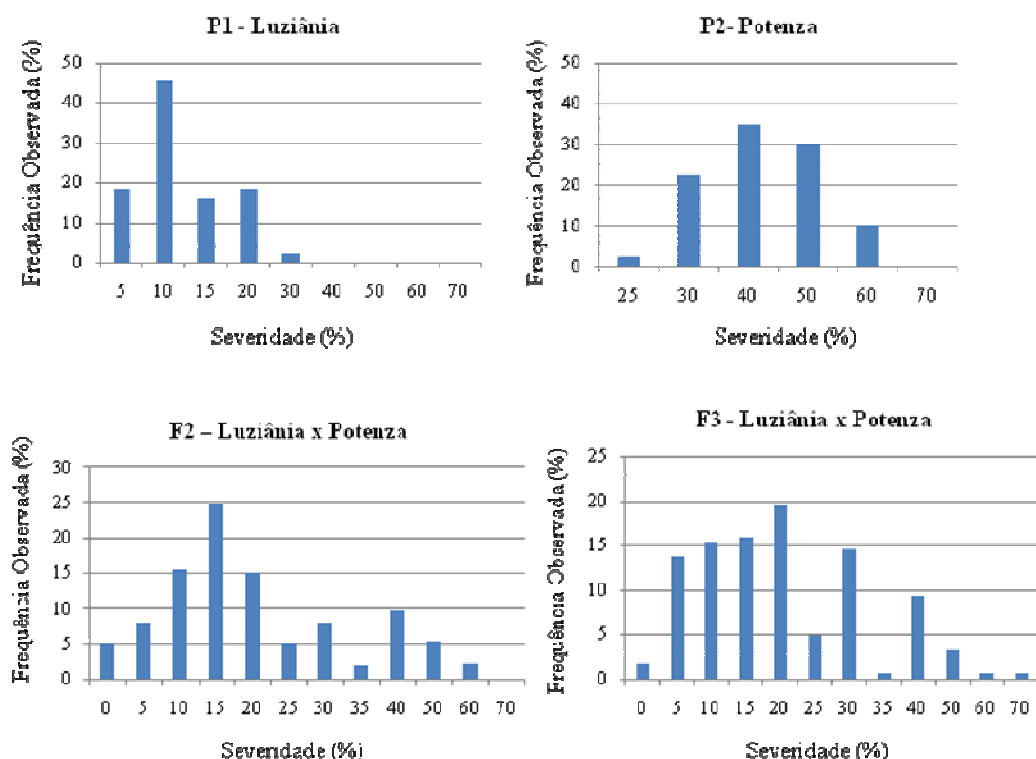


FIGURA 2. Frequência relativas da severidade da ferrugem asiática em cada geração proveniente do cruzamento Luziânia x Potenza. Uberlândia, MG, 2011.

3.2 - Componentes de médias e de variâncias

3.2.1 – Cruzamento Caiapônia x IAC100

Os modelos testados estão apresentados nas Tabelas 2 e 3. Na Tabela 2, foram utilizadas as 6 gerações provenientes desse cruzamento para testar os cinco modelos de

componentes e, na Tabela 3, utilizou-se somente os genitores e as gerações F₂ e F₃ para testar os componentes do modelo aditivo-dominante.

TABELA 2. Número de indivíduos por população do cruzamento Caiapônia x IAC 100, médias e variâncias, estimativas dos componentes de média e de variância para o caráter severidade da ferrugem asiática. Uberlândia, MG, 2011.

Populações	Nº indivíduos	Média (%)	Variâncias
Caiapônia	40	37,63	120,50
IAC 100	40	18,25	39,17
F ₂	120	15,13	89,09
F ₃	400	21,46	146,41
RC ₁₂	120	41,88	213,89
RC ₂₂	112	28,21	216,60
Componentes de média ¹	Estimativas	Componentes de variância	Estimativas
<i>m</i>	27,89 ± 0,06 ²	σ_A^2	26,13 [23,52; 29,20] ³
<i>a</i>	10,53 ± 1,62	σ_D^2	- ⁴
<i>d</i>	298,78 ± 47,35	σ_E^2	170,72 [145,30; 203,48]
<i>i</i>	54,60 ± 8,34	-	-
<i>j</i>	-	-	-
<i>l</i>	-432,13 ± 62,30	-	-
Gmd	28,37	-	-
χ^2	3,36 ^{ns}	-	-
R ² (%)	99,9	-	95,0

¹ m: média dos genótipos homozigóticos; a: desvio dos homozigotos em relação ao ponto médio; d: desvio do heterozigoto em relação ao ponto médio; *i*: interação do tipo homozigoto x homozigoto (aditivo: aditivo); *j*: interação do tipo homozigoto x heterozigoto (aditivo: dominante); *l*: interação do tipo heterozigoto x heterozigoto (dominante: dominante) ² Erro padrão. ³ Limites inferiores e superiores do intervalo de confiança para as variâncias. ⁴ Estimativas σ_D^2 negativa.

De acordo com a Tabela 2, pelo modelo proposto, observa-se que a epistasia do tipo dominante x dominante (I) atua no sentido de aumentar a resistência. Este tipo de modelo incluindo efeitos epistáticos no controle da resistência a ferrugem foi relatado por Ribeiro et al. (2007) para o cruzamento BRS 231 x Embrapa 48. Os autores relatam a presença de m, a, d (de sinal negativo) e efeitos epistáticos entre locos heterozigotos (I) (interação dominante x dominante). Tais diferenças podem ser explicadas pela existência de epistasia, já que na presença desse tipo de interação as estimativas de m, a e d são altamente correlacionadas.

Para o grau médio de dominância (gmd) (Tabela 2) estimado pelos componentes de médias, encontrou-se a relação $d/a = 28,37$. Poder-se-ia, a primeira vista, visualizar um efeito de sobredominância no controle genético da resistência. Mas, na análise de componentes de médias, os efeitos individuais aditivos (a) podem-se cancelar, quando apresentarem sinais no sentido contrário, neste caso, o valor de a (somatório dos efeitos aditivos individuais dos genes) fica subestimado (MATHER; JINKS, 1894). Portanto, segundo Juliatti e Maluf (1995), o excesso de d/a pode ocorrer simplesmente porque a contribuição dos locos em homozigose se cancelaram em proporção maior do que a dos em heterozigose.

Analisando os dados da Tabela 3, observou-se que as médias das populações F_2 e F_3 foram diferentes da média dos pais. Em princípio, esse resultado mostra a existência de dominância no controle da resistência parcial à ferrugem da soja presente no parental IAC 100.

Essa última observação pode ser constatada por meio das estimativas dos componentes de média. Observa-se que a estimativa de d, contribuição dos locos em heterozigose em relação ao ponto médio dos dois genitores homozigotos, foi diferente de zero e negativa, indicando que a dominância é no sentido de reduzir a expressão do caráter (Tabela 3). Constatou-se também, realçando o que foi comentado, que o grau médio de dominância (gmd) foi superior a 1 (2,64).

TABELA 3. Número de indivíduos por população do cruzamento Caiapônia x IAC 100, médias e variâncias, estimativas dos componentes de média e de variância para o caráter severidade da ferrugem asiática. Uberlândia, MG, 2011.

Populações	Nº indivíduos	Média (%)	Variâncias
Caiapônia	40	37,63	120,50
IAC 100	40	18,25	39,17
F ₂	120	15,13	89,09
F ₃	400	21,46	146,41
Componentes de média ¹	Estimativas	Componentes de variância	Estimativas
<i>m</i>	27,89 ± 0,06 ²	σ_A^2	62,70 [55,94; 70,76] ³
<i>a</i>	9,66 ± 0,08	σ_D^2	- ⁴
<i>d</i>	-25,59 ± 0,21	σ_E^2	79,84 [59,70; 112,27]
Gmd	2,64	-	-
χ^2	0,01 ^{ns}	-	-
R ² (%)	99,9	-	96,6

¹ m: média dos genótipos homozigóticos; a: desvio dos homozigotos em relação ao ponto médio; d: desvio do heterozigoto em relação ao ponto médio. ² Erro padrão. ³ Limites inferiores e superiores do intervalo de confiança para as variâncias. ⁴ Estimativas σ_D^2 negativa.

Foram obtidas também as estimativas dos componentes de variância. Observou-se que, independente das gerações utilizadas para o estudo do controle genético, os valores encontrados para variância de dominância foram negativos (Tabelas 2 e 3). Scott & Jones (1989) também verificaram estimativas de componente de dominância negativa, o qual indica um efeito de dominância pequeno ou negligenciável e acreditam que isso se deve ao pequeno tamanho da população utilizada.

As estimativas negativas podem ocorrer quando o componente de variância é muito pequeno. Outra causa provável, pode ter sido o não cumprimento dos pressupostos do método de Warner-Mather, onde se assume que as fontes de variação genética são exclusivamente de natureza aditivodominante e o componente de variância

ambiental na geração F2 é igual à média dos componentes ambientais de variância nas gerações de retrocruzamento. E ainda, a possibilidade de erro resultante do julgamento humano, uma vez que a avaliação da doença foi feita visualmente, atribuindo-se nota na planta (LOBO; GIORDANO; LOPES, 2005).

3.2.2 – Cruzamento Luziânia x Potenza

Neste cruzamento, os efeitos de dominância de heterozigotos (d), bem como o efeito aditivo, contribuem para diminuir a susceptibilidade ou maior resistência à ferrugem asiática (Tabela 4).

TABELA 4. Número de indivíduos por população do cruzamento Luziânia x Potenza, médias e variâncias, estimativas dos componentes de média e de variância para o caráter severidade da ferrugem asiática. Uberlândia, MG, 2011.

Populações	Nº indivíduos	Média (%)	Variâncias
Luziânia	40	12,16	31,86
Potenza	40	42,43	96,76
F ₂	226	20,77	194,62
F ₃	400	20,29	162,54
Componentes de média ¹	Estimativas	Componentes de variância	Estimativas
<i>m</i>	25,52 (3,28) ²	σ_A^2	32,4 [29,25; 36,07] ³
<i>a</i>	-14,13 (3,67)	σ_D^2	96,55 [83,23; 113,36]
<i>d</i>	-13,45 (10,83)	σ_E^2	65,68 [49,11; 92,36]
Gmd	0,95	-	-
χ^2	17,44*		
R ² (%)	99,20	-	-

¹ *m*: média dos genótipos homozigóticos; *a*: desvio dos homozigotos em relação ao ponto médio; *d*: desvio do heterozigoto em relação ao ponto médio. ² Erro Padrão.

³ Limites inferiores e superiores do intervalo de confiança para as variâncias.

Por definição, o componente de efeito aditivo (a) nunca seria negativo, enquanto que o sinal do componente dos efeitos dos desvios de dominância (d) depende da direção predominante da dominância (MATHER; JINKS, 1984). A existência de componentes aditivos (a) com sinal negativo é explicada pelo fato de que nem sempre o genitor P₁ refere-se ao genótipo com maior expressão do caráter, que neste caso seria o genótipo de maior suscetibilidade à doença. Aqui o P₁, Luziânia, apresentou maior resistência e recebeu as menores notas e, conseqüentemente, menor média, portanto, menor severidade da ferrugem, por isso o sinal negativo do ‘efeito aditivo – a’ (LOBO et al., 2005).

Tem sido constatado que a capacidade de linhagens de soja expressarem a resistência ao patógeno pode variar ao longo do tempo. Em princípio, isso indica que, em algumas linhagens, os mecanismos de resistência genética dependem de fatores ambientais e/ou fisiológicos para começarem a se manifestar. Já foi, inclusive, observado que as condições ambientais são os principais agravantes para a agressividade do patógeno (EMBRAPA, 2008) e a doença ocorre com maior severidade sob condições de prolongado período de molhamento foliar (DEL PONTE, 2006). Tal fato foi confirmado na avaliação da severidade, pois, entre os genitores, constataram-se altas magnitudes de variância, evidenciando maior instabilidade no efeito ambiental na manifestação da doença. Essa instabilidade da severidade da ferrugem por algumas linhagens de soja tem sido constatada em outras ocasiões (PIEROZZI, 2007; RACHID, 2008).

As estimativas dos componentes de média mostram que a estimativa de (d) foi inferior a estimativa de (a), o que evidencia, aparentemente, os efeitos aditivos foram mais importantes do que os não-aditivos. O grau médio de dominância (d/a), calculado pelos componentes de médias, foi estimado em 0,95, indicando dominância no controle da resistência. No entanto, quando se analisaram os componentes de variância, observou-se valor elevado para o componente não aditivo σ_D^2 , comparado ao baixo valor de σ_A^2 . Isso se explica pelo fato de o valor (d) ser obtido pelo somatório dos desvios, de modo que valores com sinais contrários podem se anular. O valor elevado de σ_D^2 , associado ao baixo valor (d), permite concluir que esse caráter é controlado, principalmente, por alelos dominantes. Porém, tais alelos não atuam todos no mesmo sentido, isto é, há alelos dominantes que tendem à resistência à ferrugem, mas há também alelos dominantes que atuam para diminuir a resistência.

As estimativas dos componentes de variância possibilitaram a obtenção da verdadeira estimativa dos efeitos genéticos, uma vez que, mesmo tendo ocorrido desvios de sinais opostos, esses não se cancelaram, pois os efeitos individuais de cada loco foram elevados ao quadrado.

Entretanto, diferentemente do resultado encontrado no presente estudo, há na literatura, alguns relatos da predominância dos efeitos aditivos no controle genético da resistência à ferrugem da soja (RIBEIRO et al., 2007; PIEROZZI, 2007; RIBEIRO, 2009). Segundo Ribeiro et al (2007); Pierozzi (2007), a resistência genética quantitativa à ferrugem asiática é controlada por genes de ação predominantemente aditiva e que estão dispersos nos genitores.

3.3 – Estimativa das herdabilidades e número de genes

As estimativas das herdabilidades e do número de genes são apresentadas na Tabela 5. É importante ressaltar que a herdabilidade é uma propriedade do caráter, sendo válida apenas para a população e as condições ambientais a que os indivíduos foram submetidos (RAMALHO et al., 1993).

TABELA 5. Estimativas da herdabilidade no sentido amplo e restrito e número provável de genes. Uberlândia, MG, 2011.

Cruzamento	População F ₂ (%)		População F ₃ (%)		n
	h_a^2	h_r^2	h_a^2	h_r^2	
Luziânia x Potenza	66,25	16,65	60,0	30,0	2,0
Caiapônia x IAC 100 ¹	10,40	70,40	45,5	64,23	23,0

¹ Estimativas obtidas com base nas gerações P₁, P₂, F₂ e F₃ (Tabela 4).

As estimativas das herdabilidades no sentido restrito (h_r^2), obtidas na população F₃, foram de 30% e 64,23%, sendo próximas àquelas encontradas por Pierozzi (2007) utilizando populações na geração F₂. Segundo Ribeiro (2009), a estimativa da h_r^2 , que variou de 23,12% a 55,83%, mostrou que há possibilidade de sucesso na seleção de indivíduos resistentes já nas gerações iniciais. Como os valores de h_r^2 não são muito elevados, o melhorista deve utilizar nas gerações iniciais uma intensidade de seleção baixa, para que, em gerações mais avançadas, os indivíduos e/ou progênies realmente superiores possam ser identificados.

Analisando-se os valores das herdabilidades no sentido restrito (h_r^2) dos dois cruzamentos nas duas gerações, notam-se diferenças entre os mesmos, sendo maior na geração F₂ para o cruzamento Caiapônia x IAC 100 ($h_r^2=70,40\%$) e para o cruzamento Luziânia x Potenza, o maior valor de h_r^2 foi encontrado na geração F₃ ($h_r^2=30\%$). Os valores elevados de h_r^2 e superiores à estimativa da h_a^2 , encontrados para o cruzamento Caiapônia x IAC 100, pode estar relacionado com os valores de variância de dominância negativos.

Para o cruzamento Luziânia x Potenza, mesmo a maior estimativa de h_r^2 não foi de grande magnitude. Esses resultados evidenciam o efeito do ambiente na expressão da resistência à ferrugem.

Quanto às herdabilidades na população F₂ no sentido amplo, h_a^2 , observa-se que as estimativas variaram de baixa (Caiapônia x IAC 100) a moderadamente elevadas (Luziânia x Potenza) (Tabela 5). Estimativas elevadas ou moderadamente elevadas para algumas características indicam a predominância dos efeitos genéticos sobre os ambientais (MARIGUELE et al.; 2008). As estimativas de h_r^2 foram baixas para o cruzamento Luziânia x Potenza, o que indica que, embora tenha ocorrido predomínio dos efeitos genéticos sobre os ambientais, a eficiência da seleção em plantas individuais tende a ser bastante baixa nas gerações segregantes, pouco avançadas, em razão dos baixos valores de h_r^2 (que é função da variância genética aditiva, ou seja, da porção da variância genética que pode ser fixada com a seleção).

Entende-se que na presença do patógeno é possível fixar também os efeitos da dominância, bem como a variação devida ao componente da variância de dominância, que influenciam diretamente a herdabilidade no sentido amplo (JULIATTI; MALUF; FIGUEIRA, 1994; JULIATTI; MALUF, 1995; JULIATTI et al., 1996). Segundo os autores, devido a generalização do uso da variância genética aditiva pelos melhoristas, quando se trabalha com caracteres ligados ao uso rotineiro no melhoramento de plantas como altura de plantas, ciclo, produtividade, torna-se difícil fixar pela seleção os efeitos de dominância, bem como sua variância.

Quando se trabalha com a seleção para reduzir sintomas ou a severidade da doença na presença do patógeno (via inoculação artificial ou natural), os efeitos dos alelos e diferentes genes nas suas formas alélicas, bem como a variância de dominância resultante dos mesmos, e que influenciam diretamente na herdabilidade no sentido amplo, ficam com grande probabilidade de serem fixados pela seleção. Deste modo,

pode-se lograr sucesso no progresso genético após praticar a seleção em populações de plantas F₂ ou F₃. Fica mais fácil este entendimento quando se analisa a ocorrência da doença em plantas cultivadas e pela interação patógeno-hospedeiro, com base no fenômeno chave-fechadura (o produto de um gene ou alelo na planta, bloqueia o reconhecimento pelo patógeno ou atrasa o seu ciclo vital) reduzindo o progresso da doença (AGRIOS, 2005). Logo, a falha do reconhecimento do hospedeiro pelo patógeno ou o atraso neste processo se deve aos efeitos da dominância. Ou seja, trata-se de uma proteína ou toxina que está sendo produzida na íntegra ou parcialmente, influenciando na redução da severidade dos sintomas. Estes efeitos foram estudados no patossistema ferrugem asiática da soja e foram mensurados pela redução na taxa de progresso da doença (AZEVEDO; JULIATTI; BARRETO, 2007; SANTOS et al., 2007; SILVA; JULIATTI; SILVA, 2007), bem como o período de incubação, período latente e área abaixo da curva de progresso da doença, que interferem diretamente na resistência parcial ou horizontal.

As estimativas das herdabilidades na população F₃ no sentido amplo (h_a^2) foram moderadamente elevadas (60,0, 45,5% para Luziânia x Potenza e Caiapônia x IAC 100, respectivamente), e houve o predomínio dos efeitos genéticos sobre os ambientais.

A estimativa do número de genes que governam a resistência, considerando a ausência de dominância, foram de 2 genes para o cruzamento Luziânia x Potenza e 23 genes para o cruzamento Caiapônia x IAC 100 (Tabela 5). Segundo Lobo, Giordano, Lopes (2005), estes valores não podem ser tomados de forma absoluta, mas sim como um indicativo do tipo de herança, se é de natureza mono, oligo ou poligênica. A estimativa do número de genes observada neste estudo confirma o caráter quantitativo da herança da resistência. Estes valores estimados do número de genes dão um indicativo de que cada cruzamento tem sua particularidade, dependendo dos genótipos utilizados nos cruzamentos e dos fatores bióticos e abióticos aos quais são submetidos.

É importante ressaltar que o desenvolvimento da resistência parcial à ferrugem asiática da soja é viável. Entretanto, será necessário criar ciclos de seleção recorrente, para agrupar estes genes menores em diferentes genótipos, com ou sem o uso de marcadores moleculares, ou seja, piramidar estes genes para aumentar a resistência parcial à ferrugem da soja (JULIATTI et al., 2010).

4 - CONCLUSÕES

O controle genético da resistência à ferrugem é um caráter governado por 2 a 23 genes, com predominância dos efeitos dominantes no controle.

A estimativa da herdabilidade no sentido restrito, acima de 70 % para o cruzamento Caiapônia x IAC 100, e amplo, acima de 60 %, para o cruzamento Luziânia x Potenza, mostrou que há possibilidade de sucesso na seleção de indivíduos resistentes já nas gerações iniciais.

REFERÊNCIAS

- AGRIOS, G.N. 2005. **Plant Pathology**. 5 ed. Amsterdam; Boston: Elsevier Academic Press.
- ARIAS, C. A. A.; et al. Ferrugem asiática da soja no Brasil: resistência varietal. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE FERRUGEM ASIÁTICA DA SOJA, 1, 2007, Londrina. **Anais...** Londrina: Embrapa Soja, 2007. p. 121-123.
- AZEVEDO, L.A.S.; JULIATTI, F.C.; BARRETO, M. Resistência de genótipos de soja à *Phakopsora pachyrhizi*. **Summa Phytopathologica**, Jaboticabal, v. 33, n. 3. 2007.
- BERNARDO, R. **Breeding for quantitative traits in plants**. Minnesota: Dept. of Agronomy and Plant Genetics, 2002. 368p.
- COSTA, M. M. **Herança quali-quantitativa e marcadores moleculares para seleção assistida de genótipos de soja resistentes à ferrugem asiática**. 2008. 87 f. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Campus de Jaboticabal, Jaboticabal, 2008.
- CRUZ, C.D. **Princípios de genética quantitativa**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, Imprensa Universitária, 2005. 394 p.
- DAVIDE, L. M. C. **Controle genético de caracteres associados à dureza dos grãos e à degradabilidade ruminal de milhos tropicais**. 2009. 88 f. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2009.
- DEL PONTE, E. M.; GODOY, C.V.; LI, X; YANG, X. B. Predicting severity of Asian soybean rust epidemics with empirical rainfall models. **Phytopathology**, St. Paul, v. 96, p.797-803. 2006.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Tecnologias de produção de soja - região central do Brasil 2009 e 2010**: Londrina: Embrapa Soja: Embrapa Cerrados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2008. 262 p.
- FERREIRA, D.F.; ZAMBALDE, A.L. Simplificação das análises de algumas técnicas especiais da experimentação agropecuária no Mapgen e softwares correlatos. In: CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE INFORMÁTICA APLICADA A AGROPECUÁRIA E AGROINDÚSTRIA, 1., 1997, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: SBI, 1997. p.285-291.
- GARCIA, A.; et al. Molecular mapping of soybean rust (*Phakopsora pachyrhizi*) resistance genes: Discovery of a novel locus and alleles. **Theoretical and Applied Genetics**, Heidelberg, v.117, p.545-553, 2008.
- JULIATTI, F.C.; et al. 2003. Doenças da soja. **Cultivar**, 2003. v. 47, p. 4-14.

- _____.; MALUF, W.R. Controle genético da resistência do tomateiro a um isolado de tospovírus (TSWV): análise em plantas individuais. **Fitopatologia Brasileira**, v.20, p.39-47, 1995.
- _____.; MALUF, W.R.; FIGUEIRA, A. R. Reação de linhagens avançadas de tomateiro a isolados de tospovírus. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 19, n.1, p. 62-68, 1994.
- _____.; et al. Seleção de progênies resistentes a um isolado de tospovírus em *Lycopersicon esculentum*. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 21, n. 2, p. 167-172, 1996.
- _____.; et al. Ferrugem da soja – Epidemiologia e manejo para uma doença reemergente. In: Luz, W.C.; Fernandes, J.M.C.; Prestes, A.M.; Picinini, E.C. **Revisão Anual de Patologia de Plantas**. Passo Fundo, v. 13, p. 351-395. 2005.
- _____.; et al. Eficiência dos fungicidas aprovados na RPSRCB no controle da ferrugem asiática da soja, em Uberaba –MG. Universidade Federal de Uberlândia, p.79-91. In: **Documentos...** Embrapa-Soja, Resultados dos ensaios cooperativos para o controle da ferrugem asiática da soja, safra 2008-9. ISSN 2176-2937, versão eletrônica, Nov. 2009, (documento n. 317).
- _____.; et al. 2010. **Resistência genética da soja à *Phakopsora pachyrhizi* e uso de fungicidas no manejo sustentável da doença**. In: Luz, W.C.; Fernandes, J.M.C.; Prestes, A.M.; Picinini, E.C. **Revisão Anual de Patol. de Plantas**. Passo Fundo, v. 18, p. 77-118. 2010.
- KEARSEY, M.J.; POONI, H.S. **The genetical analysis of quantitative traits**. London: Chapman & Hall, 1988, 381p.
- LOBO, V. L. S.; GIORDANO, L. B.; LOPES, C. A. Herança da resistência à mancha-bacteriana em tomateiro. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 30, p. 343-349. 2005.
- MARIGUELE, K. H.; MALUF, W. R.; GOMES, L. A. A.; LOPES, M. J. C.; MELO, O. D. Controle genético da qualidade da vagem em cruzamento de feijão-vagem e feijão-comum. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v.43, n.1, p.47-52, jan. 2008.
- MATHER, K.; JINKS, L.L. **Introdução à genética biométrica**. Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Genética, 1984. 242p.
- MILES, M.R.; LEVY, C.; MOREL, W.; MUELLER, T.; STEINLAGE, T.; VAN RIJ, N.; FREDERICK, R.D.; HARTMAN, G.L. International fungicide efficacy trials for the management of soybean rust. **Plant Disease**, Sain Paul, v. 91, p.1450-8. 2007.
- PIEROZZI, P. H. B. **Controle genético da resistência da soja à ferrugem asiática: avaliações de severidade em campo experimental**. 2007. 142 p. Dissertação (Mestrado em Genética e Biologia Molecular) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina.

PIEROZZI, P.H.B.; et al. New soybean (*Glycine max* Fabales, Fabaceae) sources os qualitative genetic resistance to asian soybean rust caused by *Phakopsora pachyrhizi* (Uredinales, Phakopsoraceae). **Genetics and Molecular Biology**, Ribeirão Preto, v. 31, n. 2, p.505-11. 2008.

RACHID, B. F. **Teste de alelismo em soja visando a obtenção de novos genes de resistência para ferrugem asiática**. 2008. 83f. Dissertação (Mestrado em Genética e Biologia Molecular) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina. 2008.

RAMALHO, M.A.P.; SANTOS, J.B.; PINTO, C.A.B..P. **Genética na agropecuária**. 4.ed. Lavras: UFLA, 2008. 464p.

_____.; SANTOS, J. B.; ZIMMERMANN, M. J. O. **Genética quantitativa em plantas autógamas: aplicações ao melhoramento do feijoeiro**. Goiânia: UFG, 1993. 271 p.

RIBEIRO, A.S. **Estratégias para a obtenção de linhagens com resistência durável à ferrugem asiática da soja**. 2009. 112p. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2009.

_____.; et al. Genetic control of Asian rust in soybean. **Euphytica**, Wageningen, v. 157, p.15-25. 2007.

ROWE, K.E.; ALEXANDER, W.L. Computations for estimating the genetic parameters in joint-scaling test. **Crop Science**, Madison, v.20, n.1, p.109-110, Jan./Feb. 1980.

SANTOS, J.A.; et al. Caracteres epidemiológicos e uso da análise de agrupamento para resistência parcial à ferrugem da soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, p.443-447. 2007.

SILVA, V.A.S.; JULIATTI, F.C.; SILVA, L.A.S. Interação entre resistência genética parcial e fungicidas no controle da ferrugem asiática da soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, n.9, p.1261-8. 2007.

SINCLAIR, J.B.; HARTMAN, G. L. Soybean diseases. **In: HARTMAN, G.L.; SINCLAIR, J.B.; RUPE, J.C. Compendium of Soybean Diseases**. 4 ed. St. Paul. American Phytopathological Society, p.3-4. 1999.

YORINORI, J. T. Ferrugem da soja: panorama geral. **In: WORLD SOYBEAN RESEARCH CONFERENCE, VII, 2004. Londrina. Anais...** Londrina: Embrapa Soja, 2004. p. 1299-1307.

_____.; et al. Epidemics of soybean rust (*Phakopsora pachyrhizi*) in Brazil and Paraguay. **Plant Disease**, v. 89, p.675-677, 2005.

CAPÍTULO 3

ADAPTABILIDADE E ESTABILIDADE DE LINHAGENS SEMIPRECOSES DE SOJA QUANTO À RESISTÊNCIA À FERRUGEM

RESUMO

MARTINS, JULIANA ARAÚJO SANTOS. **Adaptabilidade e estabilidade de linhagens semiprecoces de soja quanto à resistência à ferrugem.** 2011. 56f. Tese (Doutorado em Agronomia/Fitotecnia) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia.¹

Este trabalho foi realizado com o objetivo de verificar a adaptabilidade e estabilidade fenotípica de linhagens de soja de ciclo de maturação semiprecoce, utilizando a severidade da ferrugem asiática como caráter de seleção para resistência parcial. As linhagens foram avaliadas nas safras 2007/08 e 2008/09, nos municípios de Uberlândia, MG, Uberaba, MG, Campo Alegre de Goiás, GO e Senador Canedo, GO, utilizando-se o delineamento experimental de blocos casualizados com três repetições. A severidade da ferrugem asiática foi obtida pela estimativa visual dos folíolos do terço médio de 5 plantas em cada parcela. Com os dados de severidade, foi estimada a taxa de progresso absoluta média da doença (r), área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD) e também o fator de resistência parcial (FRP). Realizou-se análise de adaptabilidade e estabilidade das linhagens, pelo índice de confiança proposto por Annicchiarico, Eberhart e Russel e o método multivariado AMMI. Constatou-se que as linhagens que se mostraram mais resistentes à ferrugem, em geral, também foram as de melhor adaptabilidade e estabilidade, com destaque para: UFU 001 ((Liderança x UFV 16) x (UFU18 x Br 95015308)), UFU 006 (Canário x MGBR-46 Conquista), UFU 007(RC1 PI 416937 x IAC 8.2), UFU 009 (RC2 (IAC 100 x Emgopa 302)) e UFU 0013 ((FT 45.302 x Liderança) x (FT 4.2988 x MGBR-46 Conquista)). A linhagem UFU 009 apresentou adaptação específica, podendo ser indicada para ambientes com alta pressão de doença. Os métodos empregados permitiram identificar as linhagens de soja mais estáveis e responsivas quanto à resistência parcial.

Palavras-chave: *Phakopsora pachyrhizi*, resistência parcial, área abaixo da curva de progresso da doença.

¹Orientador: Fernando Cézar Juliatti – UFU.

ABSTRACT

MARTINS, JULIANA ARAÚJO SANTOS. **Adaptability and stability of soybean advanced lines of semiearly cycle semiearly for rust resistance.** 2011. 56f. Thesis (Doctoral Program Agronomy/Crop Science) - Federal University of Uberlândia, Uberlândia.¹

This research work was carried out to verify the adaptability and phenotypic stability of soybean inbred lines of semi early cycle, using rust severity as the selection trait for partial resistance. The strains were evaluated during the growing seasons of 2007/08 and 2008/09, in the locations of Uberlândia and Uberaba, MG, Campo Alegre de Goiás and Senador Canedo, Goiás, using a randomized complete block design with three replications. Rust severity was evaluated by visual assessment of the leaflets at the medial third of five plants in each plot. By using disease severity, it was estimated: the mean absolute rate of disease progress (r), the area under the disease progress curve (AUDPC) and the partial resistance factor (PRF). Adaptability and stability of the strains were estimated by the methods proposed by Annicchiarico, Eberhart and Russell, as well as by the AMMI method. It was found that the strains that were the most resistant to rust, in general, also showed the best adaptability and stability, especially: UFU 001 ((Liderança x UFV 16) x (UFU18 x Br 95015308)), UFU 006 (Canário x Conquista), UFU 007(RC1 PI 416937 x IAC 8.2), UFU 009 (RC2 (IAC 100 x Emgopa 302)) and UFU 0013 ((FT 45.302 x Liderança) x (FT 4.2988 x MG-BR 46 Conquista)), all of early cycle, and those of medium and late cycle: UFU 106 ((DM Vitória x FT 104) x (FT 107 x Liderança)), UFU 110 ((IAS 5 x Br 4) x UFV 16)) and UFU 114 (FT 50268M x UFV 18). UFU strain 009 had specific adaptation and can be recommended for environments with high disease pressure. The methods used allowed to identify soybean lines more stable and responsive.

Keywords: *Phakopsora pachyrhizi*, partial resistance, area under the disease progress curve.

¹Major Adviser: Prof. Fernando Cézar Juliatti – UFU.

1 – INTRODUÇÃO

O Brasil é o segundo maior produtor de soja do mundo, sendo esta a principal cultura de exportação do país. Na safra de 2009/2010, foram cultivadas aproximadamente 23,24 milhões de hectares, com uma produção de 67,86 milhões de toneladas de grãos (CONAB, 2010).

Nos últimos anos, a ferrugem asiática (*Phakopsora pachyrhizi* Sidow) vem se tornando um dos mais relevantes problemas para o agronegócio dos principais países produtores de soja. Isso porque pode causar acentuadas reduções na produtividade, com reflexos negativos na rentabilidade do produtor e na própria economia do país (JULIATTI; POLIZEL; JULIATTI, 2004).

Segundo Carvalho et al. (2002) e Carpentieri-Pípolo; Gastaldi; Pípolo (2005), obter genótipos de soja com elevadas produtividades e adaptabilidade a vários ambientes é um dos principais objetivos dos programas de melhoramento. Conforme Embrapa (2006), cultivares melhoradas, portadoras de genes capazes de expressar alta produtividade, ampla adaptação e boa resistência/tolerância a fatores bióticos ou abióticos adversos, representam usualmente uma das mais significativas contribuições à eficiência do setor produtivo. O ganho genético proporcionado pelas novas cultivares ao setor produtivo tem sido muito significativo, maior que 1 % ao ano. O desenvolvimento das cultivares com adaptação às condições edafoclimáticas das principais regiões do País, especialmente às dos cerrados e às de baixas latitudes, tem contribuído para a expansão da fronteira agrícola brasileira.

Entre as cultivares de soja recomendadas, ainda não há uma com nível de resistência que dispense o uso de fungicidas para o controle da ferrugem asiática. Atualmente a principal forma de controle se baseia na utilização de fungicidas de diferentes classes e modos de ação (MILES et al., 2007). Entretanto, estes possuem limitação, devido ao elevado custo e pela dificuldade por parte do sojicultor no seu gerenciamento. Além disso, aumentam a preocupação em relação à poluição dos solos e águas, e também à toxicidade para plantas, humanos e animais.

Com o surgimento da ferrugem asiática, o panorama agrícola foi modificado, e a recomendação de cultivares, além de ser baseada no ambiente (ano, local e época de semeadura), deve levar outros fatores em consideração, como seu desempenho diante da ocorrência desta doença e sua resposta à combinação de técnicas culturais para seu controle (TANCREDI, 2008).

Portanto, a avaliação do desempenho de cultivares em diferentes ambientes visando uma indicação mais específica e adequada a cada local, diante da ocorrência da ferrugem, e a melhor combinação de táticas para o seu controle auxiliarão os produtores e pesquisadores nas decisões do planejamento das safras e dos programas de melhoramento genético.

Mediante o exposto, este trabalho foi realizado com o objetivo de verificar a adaptabilidade e estabilidade fenotípica de linhagens de soja de ciclo de maturação semiprecoce, utilizando a severidade da ferrugem asiática para seleção, nas safras 2007/08 e 2008/09.

2 - MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos foram instalados nos anos agrícolas 2007/08 e 2008/09, nos municípios de Uberlândia e Uberaba no Estado de Minas Gerais e em Goiás, em Campo Alegre de Goiás e Senador Canedo. Os experimentos fizeram parte dos ensaios de Valor de Cultivo e Uso (VCU) do Programa de Melhoramento de soja da Universidade Federal de Uberlândia – UFU.

A caracterização dos ambientes testados nas safras agrícolas 2007/08 e 2008/2009 e os dados referentes à temperatura e precipitação pluviométrica média mensal no período de novembro de 2007 a abril de 2008 e novembro de 2008 a abril de 2009 encontram-se na Tabela 1A, Figuras 2A e 3A, respectivamente.

2.1 - Instalação e condução dos ensaios

O preparo do solo foi similar para todos os ensaios, sendo que se fez a dessecação prévia de 7 a 12 dias antes da semeadura, de acordo com o grau de infestação e massa vegetativa, utilizando o herbicida Glyphosate, na dosagem de 1,5 a 2,0 kg.ha⁻¹.

Foram avaliadas 14 linhagens experimentais de soja de ciclo de maturação semiprecoce (LSP) (Tabela 1), ressaltando que o material era pertencente ao Programa de Melhoramento Genético de soja da Universidade Federal de Uberlândia/UFU.

Estas linhagens receberam a sigla UFU e foram provenientes do método descendência de uma única vagem (SPD), ou seja, a partir da geração F2 até a geração F6, adotou-se o procedimento de retirada de uma vagem por planta e, posteriormente, a semeadura de 3 a 5 fileiras de 5,0 metros cada, contendo de 12 a 15 sementes por metro linear. As linhagens foram obtidas a partir de cruzamentos simples, duplos e retrocruzamentos com materiais RC1 x F1.

Foram utilizadas cinco testemunhas recomendadas para a região. As testemunhas foram apresentadas na Tabela 1.

TABELA 1. Linhagens e cultivares avaliadas de ciclo de maturação semiprecoce, com respectivas genealogias das linhagens, Uberlândia, 2011.

Genótipo (L)	Genealogia	Origem
UFU-001	(Liderança x UFV 16) x (UFU18 x Br 95015308)	UFU
UFU-002	(IAC 8.2 x MGBR-46 Conquista)	UFU
UFU-003	(FT 45.302 x Liderança) x (FT 4.2988 x Conquista)	UFU
UFU-004	(UFV 16 x Liderança) x (Br 95 015308 x UFV 18)	UFU
UFU-005	Emg. 315 x DM 97101	UFU
UFU-006	Canário x MGBR-46 Conquista	UFU
UFU-007	(RC1 PI 416937 x IAC 8.2)	UFU
UFU-008	(DM 97193 x UFU 19) x (Br 95014745 x MG Br 951578)	UFU
UFU-009	RC2 (IAC 100 x Emg. 302)	UFU
UFU-0010	Br 93 12320 x Br 95 014 745	UFU
UFU-0011	Liderança x DM 97 101	UFU
UFU-0012	(M-Soy 8001 x MG Br 9518863)	UFU
UFU-0013	(Carla x IAC 21)	UFU
UFU-0014	(Confiança x MG/Br 934916)	UFU
M-Soy 6101	-	MONSOY
Emgopa 316	-	CTPA
MGBR-46	-	
Conquista		EMBRAPA
M-Soy 8008	-	MONSOY
M-Soy 8000	-	MONSOY

A adubação foi feita de acordo com a análise de solo de cada local e as recomendações para a cultura da soja, utilizando-se a formulação 2-28-20.

A inoculação das sementes foi realizada usando-se inoculante comercial contendo cepas de *Bradyrhizobium japonicum* diluído em água (800g 20L⁻¹), através de pulverização costal. O tratamento de semente foi feito via semente com inseticida Thiametoxan (300 ml. 100 kg⁻¹ sementes) e fungicida Fludioxonil (100 ml. 100 kg⁻¹ sementes).

As semeaduras foram realizadas manualmente na primeira quinzena de novembro. Foi efetuado um desbaste para adequação do estande desejado quando as plântulas apresentaram a primeira folha trifoliolada completamente desenvolvida, correspondendo ao estágio de desenvolvimento V2, segundo a escala de Fehr e Caviness (1977).

Durante a condução do experimento, foram promovidos o controle químico das pragas e o manual das plantas daninhas, na medida em que se fizeram necessários.

O controle da ferrugem asiática foi feito utilizando os fungicidas do grupo químico das estrobilurinas (azoxistrobina) – 300 mL do produto comercial por hectare, para um volume de calda de 200 L, na primeira aplicação. Na segunda aplicação, utilizou-se da mistura de triazol e estrobilurina (piraclostrobina + epoxiconazole), na dose de 500 mL por hectare, no mesmo volume de 200 L de calda. As aplicações foram realizadas nos estádios R₁ e R₅, para se avaliar o grau de confiabilidade da resistência parcial.

O delineamento experimental adotado foi o de blocos casualizados com três repetições. Cada parcela foi constituída de 4 linhas de soja com 5 m de comprimento, espaçadas de 0,50 metros entre si. A área útil para a coleta de dados compreendeu as duas fileiras centrais da parcela, eliminando-se 0,5 m de cada extremidade (4,0 m²).

2.2 - Características Avaliadas

2.2.1 – Severidade da ferrugem asiática:

A severidade da ferrugem asiática foi obtida pela estimativa visual dos folíolos do terço médio de 5 plantas em cada parcela, em todos os ambientes e nas duas safras. A amostragem consistiu na retirada de 1 trifólio/planta. Para determinação da porcentagem de severidade da doença foi utilizada a escala diagramática proposta por Juliatti et al. (2009) (Figura 1A). As avaliações de severidade da ferrugem foram realizadas aos 40, 60, 80 e 100 dias após a semeadura.

2.2.2 - Taxa de progresso absoluta média da doença (r):

Com os dados de severidade (porcentagem de área foliar infectada), foi estimada a taxa de progresso absoluta média da doença (r), conforme Silva; Juliatti; Silva, (2007). Quanto maior o valor de r, maior a susceptibilidade da cultivar à doença, considerando que a taxa de progresso representa a quantidade média diária de aumento na severidade da mesma:

$$r = x/t$$

r: taxa de progresso absoluta média da doença;

t: número de dias após a emergência (dias);

x: severidade da doença na última avaliação (%);

2.2.3 - Área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD):

A área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD) foi usada para descrever a epidemia. Neste caso, baseando-se nas avaliações de severidade, pode-se estabelecer uma curva da doença quantificada “*versus*” tempo. Segundo Shaner; Finney, (1977), a área abaixo da curva de progressão de doença pode ser calculada pela fórmula:

$$AACPD = \sum_{i=1}^{n-1} [(Y_i + Y_{i+1})/2 \times (T_{i+1} - T_i)] \text{ onde:}$$

Y_i : severidade da doença na i-ésima observação;

Y_{i+1} : severidade da doença na época da avaliação i+1;

T_i : época da avaliação i, que geralmente se considera o número de dias após a semeadura;

T_{i+1} = época da avaliação i + 1;

n = número total de observações.

A AACPD foi padronizada dividindo-se o valor da área abaixo da curva de progresso pelo tempo ($T_n - T_1$) da epidemia (FRY, 1977). Todo o procedimento para obtenção da AACPD foi realizado através do programa AVACPD, da Universidade Federal de Viçosa.

2.2.4 - Fator de Resistência Parcial para a taxa de progresso absoluta média da doença (FRP_r) e para a AACPD (FRP_{AACPD}):

Foi calculado também o Fator de Resistência Parcial para a taxa de progresso absoluta média da doença (FRP_r) e para a AACPD (FRP_{AACPD}). Este fator representa a porcentagem de resistência da linhagem em relação ao material mais susceptível, de acordo com cada variável. Neste caso, quanto maior o valor de r ou da AACPD, menor o Fator de Resistência, conforme as fórmulas:

$$a) \text{ FRP}_r = (1 - \frac{r_{ijk}}{Y_{ijk}}) * 100$$

em que:

FRP_r : Fator de Resistência Parcial para a taxa de progresso absoluta média da doença (r);

r_{ijk} : taxa de progresso absoluta média da doença do i-ésimo genótipo, j-ésimo ano e o k-ésimo local;

Y_{ijk} : maior valor da taxa de progresso absoluta média da doença do i-ésimo genótipo, j-ésimo ano e o k-ésimo local (r_{ijk});

$$b) \text{ FRP}_{\text{AACPD}} = (1 - \frac{\text{AACPD}_{ijk}}{Z_{ijk}}) * 100$$

em que:

$\text{FRP}_{\text{AACPD}}$: Fator de Resistência Parcial para a AACPD;

AACPD_{ijk} : Área Abaixo da Curva de Progresso da Doença do i-ésimo genótipo, j-ésimo ano e o k-ésimo local;

Z_{ijk} : maior valor da AACPD do i-ésimo genótipo, j-ésimo ano e o k-ésimo local (Z_{ijk});

2.2.5 – Produtividade

A produtividade de grãos (PG), em kg.ha^{-1} , foi avaliada em Uberaba, Campo Alegre e Senador Canedo na safra 2007/08, e em Uberaba na safra 2008/09. Foi feita através da colheita da área útil, trilha das plantas de cada parcela e pesagem dos grãos. Os dados (gramas por parcela) foram transformados para kg.ha^{-1} , sendo esta produtividade corrigida para teor de umidade de 13%, conforme a fórmula:

$$\text{PF} = \frac{\text{PI} \times (100 - \text{UI})}{100 - \text{UF}}$$

Em que:

PF: peso final da amostra (peso corrigido);

PI: peso inicial da amostra;

UI: umidade inicial da amostra;

UF: umidade final da amostra (13%).

2.3 - Análises Estatísticas

2.3.1 – Análises de Variância

As análises genético-estatísticas foram realizadas pelos pacotes computacionais GENES (CRUZ, 2007) e SAS (Statistical Analysis System) (SAS INSTITUTE INC., 1996).

Para a realização da análise conjunta de experimentos, foi pressuposta a homogeneidade dos quadrados médios residuais relativos a todos os experimentos envolvidos na análise. Segundo Pimentel-Gomes (1990), se a relação entre o maior e o menor quadrado médio residual for menor do que sete, a análise conjunta poderá ser efetuada sem ajuste dos graus de liberdade. Nos casos em que a razão foi maior que 7, foi feita a transformação dos dados. Para a taxa de progresso absoluta média da doença (r), foi utilizada a transformação $\arccos \sqrt{x}$; para a AACPD: $\sqrt{x + 0,5}$; e para FRP_r e FRP_{AACPD} : $\arccos \sqrt{x/100}$.

Na análise de variância foi utilizado o teste de F. Com o objetivo de verificar se existe a interação entre genótipos e ambientes, realizou-se uma análise de variância conjunta que envolve o estudo de todos os genótipos e em todos os ambientes. De acordo com o descrito por Annicchiarico (2002), pode-se assumir que o efeito de genótipos seja fixo e o efeito dos ambientes como aleatório, obtendo o efeito genótipos x ambientes aleatório. Os dados serão representados pelo seguinte modelo matemático:

$$Y_{ijk} = \mu + G_i + A_j + GA_{ij} + B/A_{jk} + e_{ijk};$$

Em que:

Y_{ijk} : valor observado para a característica obtida no k-ésimo bloco, avaliada dentro do j-ésimo local para i-ésimo genótipo;

μ : média geral do caráter;

G_i : efeito da i-ésimo genótipo, sendo $i = 1, 2, \dots, 19/18$, considerado fixo;

A_j : efeito do j-ésimo local, sendo $j = 1, 2, 3$, considerado aleatório;

GA_{ij} : efeito da interação entre a i-ésimo genótipo e o j-ésimo local;

B/A_{jk} : efeito do k-ésimo bloco dentro do j-ésimo local;

e_{ijk} : efeito do erro experimental associado à observação de ordem ijk .

Em seguida, realizou-se a análise conjunta, sendo uma análise em um esquema fatorial triplo, envolvendo os locais em ambas as safras, 2007/2008 e 2008/2009, utilizando-se o seguinte modelo estatístico:

$$Y_{ijk} = \mu + G_i + A_j + L_k + GA_{ij} + GL_{ik} + AL_{jk} + GAL_{ijk} + (B/L)A_{jkm} + e_{ijk}$$

Em que:

Y_{ijk} : é a observação do i-ésimo genótipo no bloco j e na repetição k ;

μ : é a da média geral do caráter;

G_i : efeito da i-ésimo genótipo, sendo $i = 1, 2, \dots, 19/18$ considerado fixo;

A_j : efeito do j-ésimo ano, sendo $j = 1$ e 2 considerado aleatório;

L_K : efeito do k-ésimo local, sendo $k = 1, 2, 3$ considerado aleatório;

GA_{ij} : efeito da interação entre a i-ésimo genótipo e o j-ésimo ano;

GL_{ik} : efeito da interação entre a i-ésimo genótipo e o k-ésimo local;

AL_{jk} : efeito da interação entre o j-ésimo ano e k-ésimo local;

GAL_{ijk} : efeito da interação entre i-ésimo genótipo, j-ésimo ano e o k-ésimo local;

$(B/L)A_{jkm}$: efeito m-ésimo bloco dentro da k-ésimo local dentro do j-ésimo ano;

e_{ijk} : erro experimental.

Verificada a existência da significância do teste F, as médias foram comparadas pelo teste de Scott Knott, ao nível de 5% de probabilidade, através do programa GENES (CRUZ, 2007).

2.3.2 – Correlação de Pearson

Com os valores de severidade da ferrugem asiática e valores de precipitação média dos locais durante a condução dos ensaios, foram submetidos ao programa Genes (CRUZ, 2007) para o cálculo das correlações simples de Pearson.

2.3.3 - Análise de adaptabilidade e estabilidade

Realizou-se análise de adaptabilidade e estabilidade das linhagens pelo índice de confiança proposto por Annicchiarico (1992), Eberhart e Russel (1966) e método multivariado AMMI (Additive Main Effects and Multiplicative Interaction) (MANDEL, 1971; KEMPTON, 1984; ZOBEL; WRIGHT; GAUCH, 1988).

Nas avaliações de adaptabilidade e estabilidade, o genótipo ideal é aquele que apresenta alta produção média (ANNICCHIARICO, 1992). Entretanto, neste trabalho, para as metodologias de Annichiarico (1992) e AMMI, utilizou-se as variáveis FRP_r e FRP_{AACPD} . O Fator de Resistência Parcial (FRP) representa a resistência da linhagem à ferrugem, ou seja, quanto maior o valor de FRP, maior a resistência. Contudo, para o método de Eberhart, Russel (1966), foram utilizadas as variáveis originais, r e a AACPD.

2.3.3.1 - Método Proposto por Annichiarico

Annicchiarico (1992) propõe que a estabilidade seja medida pela superioridade do genótipo em relação à média de cada ambiente. Este método baseia-se na estimação de um índice de confiança ou de recomendação de um determinado genótipo mostrar comportamento relativamente superior.

Obtém-se o índice considerando:

Y_{ij} : média do genótipo i no ambiente j ;

$\bar{Y}_j$: média do j -ésimo ambiente.

Os valores percentuais, para cada genótipo são obtidos como a seguir:

$$Z_{ij} = \frac{100 Y_{ij}}{\bar{Y}_j}$$

A partir dos valores percentuais, obtêm-se as medidas de adaptabilidade e estabilidade dadas por:

$$\omega_i = \hat{\mu}_i - Z_{(1-\alpha)} \hat{\sigma}_{zi}$$

em que:

ω_i : representa o índice de confiança.

Os maiores valores de ω_i serão obtidos pelos genótipos que apresentarem maior média percentual ($\hat{\mu}_i$) e menor desvio $\hat{\sigma}_{zi}$. Estas estatísticas serão obtidas como descrito a seguir:

Média relativa

$$\hat{\mu}_{i(g)} = \frac{\sum_{j=1}^a z_{ij}}{a}, \text{ em que:}$$

$\hat{\mu}_{i(g)}$: média relativa do genótipo, considerando todos os ambientes (a = número de ambientes);

$$\hat{\mu}_{i(f)} = \frac{\sum_{j=1}^f z_{ij}}{f}, \text{ em que:}$$

$\hat{\mu}_{i(f)}$: média relativa do genótipo, considerando apenas os ambientes favoráveis (f = número de ambientes favoráveis);

$$\hat{\mu}_{i(d)} = \frac{\sum_{j=1}^d z_{ij}}{d}, \text{ em que:}$$

$\hat{\mu}_{i(d)}$: média relativa do genótipo, considerando apenas os ambientes desfavoráveis (d = número de ambientes desfavoráveis).

• Desvio relativo

Os desvios são obtidos:

$\hat{\sigma}_{zi(g)}$: desvio-padrão dos valores Z_{ij} , do i-ésimo genótipo, considerando seu comportamento em todos os ambientes;

$\hat{\sigma}_{zi(f)}$: desvio-padrão dos valores Z_{ij} , do i-ésimo genótipo, considerando seu comportamento apenas nos ambientes favoráveis; e

$\hat{\sigma}_{zi(d)}$: desvio-padrão dos valores Z_{ij} , do i-ésimo genótipo, considerando seu comportamento apenas nos ambientes desfavoráveis.

• Índice de recomendação

Os índices são obtidos através das expressões:

$$\omega_{i(g)} = \hat{\mu}_{i(g)} - Z_{(1-\alpha)} \hat{\sigma}_{zi(g)} : \text{considerando todos os ambientes;}$$

$$\omega_{i(f)} = \hat{\mu}_{i(f)} - Z_{(1-\alpha)} \hat{\sigma}_{zi(f)} : \text{considerando apenas os ambientes favoráveis;}$$

$$\omega_{i(d)} = \hat{\mu}_{i(d)} - Z_{(1-\alpha)} \hat{\sigma}_{zi(d)} : \text{considerando apenas os ambientes desfavoráveis;}$$

sendo:

$Z_{(1-\alpha)}$ = percentil da função de distribuição normal padrão, para o qual a função de distribuição acumulada atinge o valor $1 - \alpha$.

2.3.3.2 – Método proposto por Eberhart e Russell

O método de Eberhart e Russell (1966) baseia-se na regressão linear e considera desejáveis os genótipos com alta produção média, coeficientes unitários de regressão e desvios da regressão praticamente nulos. Entretanto, neste trabalho, considerou-se como genótipo ideal aquele que apresentou média inferior à média geral, coeficiente de regressão de pequeno valor ou próximo de zero, tendo em vista que o objetivo principal não foi verificar a produção, mas sim o nível de infecção causado pela ferrugem asiática em genótipos de soja.

A estabilidade é estimada pela variância dos desvios da regressão enquanto a adaptabilidade é obtida pela média e pelo coeficiente de regressão. Os parâmetros de adaptabilidade e estabilidade podem ser estimados a partir do seguinte modelo de regressão:

$$Y_{ij} = \mu_i + \beta_i I_j + \delta_{ij} + \varepsilon_{ij}$$

Y_{ij} : média do genótipo i no ambiente j;

μ_i : média geral do genótipo i;

β_i : coeficiente de regressão linear, que mede a resposta genótipo i à variação do ambiente;

I_j : índice ambiental;

δ_{ij} : desvio da regressão; e

ε_{ij} : erro padrão médio.

Os estimadores indicativos da estabilidade e adaptabilidade são determinados como se segue:

$$\sigma_{\delta i}^2 = \frac{\sum_j \delta_{ij}^2}{(a-2)} = \frac{QMD_i - QMR}{r}$$

em que:

$$QMD_i = \frac{r}{a-2} \left[\sum_j Y_{ij}^2 - \frac{Y_i^2}{a} - \frac{(\sum_j Y_{ij} I_j)^2}{\sum_j I_j^2} \right] \text{ (válido para qualquer i)}$$

$$\hat{\beta}_{0i} = \bar{Y}_i \text{ e } \hat{V}(\hat{\beta}_{0i}) = \frac{1}{a} \sigma_{\delta i}^2$$

$$\hat{\beta}_{1i} = \frac{\sum_j y_{ij} t_j}{\sum_j t_j^2} \text{ e } \hat{V}(\hat{\beta}_{1i}) = \frac{1}{\sum_j t_j^2} \hat{\sigma}_e^2$$

sendo:

$$\hat{\sigma}_e^2 = \frac{QMR}{r}$$

A hipótese $H_0: \beta_{1i} = 1$ versus $H_a: \beta_{1i} \neq 1$ é avaliada pela estatística t, dada por:

$$t = \frac{\hat{\beta}_{1i} - 1}{\sqrt{\hat{V}(\hat{\beta}_{1i})}}$$

Segundo Cruz; Regazzi; Carneiro, (2004), algumas vezes pode ocorrer que muitos genótipos com médias superiores apresentem s^2_{di} estatisticamente diferente de zero. Porém, pode ser necessária a seleção de alguns genótipos do grupo em que a estabilidade é baixa. Nesses casos, uma medida auxiliar de comparação entre genótipos é o coeficiente de determinação R^2_i , dado pela equação a seguir:

$$R^2_i = [(SQR.Linear)_i / SQ(A/G_i)] \times 100$$

sendo:

(SQR.linear)_i: soma de quadrados da regressão linear do genótipo “i”;

SQ(A/G_i): soma de quadrados de ambientes dentro do genótipo ‘i’.

Neste método para cada genótipo foi computada uma regressão linear simples da variável dependente, em relação a um índice ambiental (diferença entre a média de cada ambiente e a de todos os ambientes), cujos valores podem ser positivos ou negativos. Os negativos indicaram os ambientes desfavoráveis, evidenciando áreas de cultivo cujo índice tecnológico empregado é baixo ou regiões com condições edáficas e climáticas adversas. Os positivos indicaram os ambientes favoráveis, associados à regiões com condições climáticas e edáficas apropriadas à aptidão da cultura ou áreas de cultivo onde se emprega alta tecnologia de produção.

No entanto, neste trabalho, considerou-se como ambiente favorável (índices positivos) aquele onde o desenvolvimento da ferrugem foi favorecido, e ambiente

desfavorável aquele onde a ferrugem não apresentou um bom desenvolvimento (índices negativos).

2.3.3.3 - Método AMMI

O modelo AMMI pressupõe componentes aditivos para os efeitos principais de genótipos e componentes multiplicativos para o efeito de interação. Então, a resposta média sobre b blocos do i -ésimo genótipo no j -ésimo ambiente é representada por:

$$Y_{ij} = \mu + g_i + e_j + \sum_{k=1}^q \lambda_k \alpha_{ik} \gamma_{jk} + \rho_{ij} + \varepsilon_{ij}$$

Sendo que:

Y_{ij} : é a resposta média do i -ésimo genótipo no j -ésimo ambiente, com $i = 1, 2, \dots, g$ e $j = 1, 2, \dots, e$;

μ : é uma constante, geralmente a média;

g_i : é o efeito do i -ésimo genótipo;

e_j : é o efeito do j -ésimo ambiente;

λ_k : é a raiz quadrada do k -ésimo autovalor da matriz $(GE)(GE)^t$ (ou $(GE)^t(GE)$), com $k = 1, 2, \dots, q$ e onde $q < p$ determina uma aproximação de mínimos quadrados para a matriz GE pelos q primeiros termos da decomposição por valores singulares (DVS) e $p = \min\{g - 1, e - 1\}$;

α_{ik} : é o i -ésimo elemento do vetor coluna α_k associado a λ_k ;

γ_{jk} : é o j -ésimo elemento do vetor linha γ_k associado a λ_k ;

ρ_{ij} : é o resíduo adicional;

ε_{ij} : é o erro experimental associado ao i -ésimo genótipo no j -ésimo ambiente, assumido ser independente e $\varepsilon_{ij} \sim N(0, \frac{\sigma^2}{b})$;

A matriz GE é a interação entre genótipos x ambientes (matriz de resíduos), em que cada elemento $(ge)_{ij}$ da matriz GE é encontrado pela seguinte relação:

$$(ge)_{ij} = Y_{ij} - \bar{Y}_{i.} - \bar{Y}_{.j} + \bar{Y}_{..}$$

em que:

Y_{ij} : é a média das repetições do genótipo i no ambiente j , com $i = 1, 2, \dots, g$ e $j = 1, 2, \dots, e$;

$\bar{Y}_i$: é a média do genótipo i ;

$\bar{Y}_j$: é a média do ambiente j ;

$\bar{Y}$: é a média geral do experimento.

Um dos procedimentos na determinação dos graus de liberdade associados à parcela da $SQ_{G \times E}$ é obtido pelo teste F , avaliando-se a significância de cada componente em relação ao QM (erro médio). Isso resulta num quadro de análise de variância semelhante ao tradicional, com desdobramento da fonte de variação interação ($G \times E$). Dessa forma, o ponto de parada que determinará a seleção dos modelos ($AMMI_0, AMMI_1, \dots, AMMI_8$) foi obtido com base na significância do teste F_{Gollob} para os sucessivos termos da interação, por esse critério ser de fácil aplicação, requerendo uma aritmética trivial (GOLLOB, 1968). Neste método, o cálculo dos graus de liberdade são dados por: $GI_{PCAn} = g + e - 1 - 2n$, onde “ g ” é o número de genótipos, “ e ” é o número de ambientes e “ n ” o número de eixos ou componentes principais da matriz de interação. Pelo teste F (GOLLOB, 1968), o ponto de parada para seleção do modelo é o n -ésimo componente principal da interação (CPI) que for significativo pelo teste F .

Os resultados da análise são apresentados graficamente em *biplot* (GABRIEL, 1971). Para os casos em que o modelo engloba apenas o primeiro eixo da análise de componentes principais da interação ACPI (CPI1), é construído um *biplot* $AMMI_1$, que utiliza o eixo das abscissas para representar os efeitos principais (médias de genótipos e de ambientes) e o das ordenadas para expressar os escores de genótipos e ambientes referentes ao CPI 1. Para os demais casos (modelos que englobam mais de um eixo da ACPI), é utilizado o *biplot* $AMMI_2$, que representa somente efeitos de interação referentes aos dois primeiros eixos da ACPI: CPI 1 vs. CPI 2.

A interpretação de um *biplot* quanto à interação $G \times E$ é feita observando-se a magnitude e o sinal dos escores de genótipos e ambientes para o(s) eixo(s) que representam a interação. Assim, os escores baixos (próximos de zero) são próprios de genótipos e ambientes que contribuem pouco para a interação, caracterizando-os como estáveis. Num *biplot* $AMMI_1$, a estabilidade é avaliada inspecionando-se as ordenadas (CPI 1). Logo, os pontos situados na faixa horizontal em torno de zero em relação ao

CPI 1 correspondem aos genótipos e ambientes mais estáveis. Num *biplot* AMMI2, genótipos e ambientes estáveis são aqueles cujos pontos situam-se próximo à origem, ou seja, com escores praticamente nulos para os dois eixos da interação (CPI1 e CPI2) (DUARTE; VENCOSKY, 1999).

2.3.4 - Teste de Dunnett

Foi realizado o teste de Dunnett para comparação das médias de FRP_r e FRP_{AACPD} entre as linhagens avaliadas. Este procedimento tem por finalidade realizar testes comparativos de médias de tratamentos e testemunhas. O valor da diferença mínima significativa é dado por:

$$DMS = td \sqrt{\frac{2QMR}{r}}$$

em que:

QMR: é o quadrado médio do resíduo;

r: é o número de repetições;

td: é o valor tabelado estabelecido em função de alfa, e os graus de liberdade para tratamentos e resíduos.

3 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 – Ferrugem asiática

A Análise de Variância (Tabela 2) apresentou efeito significativo, a 1 % de probabilidade, pelo teste F, para a interação genótipo x ano x local e ano x local para área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD). Também foi verificado efeito significativo, a 5 % de probabilidade, pelo teste F, da interação genótipo x ano x local para taxa de progresso absoluta média da doença (*r*). Assim foram realizados os desdobramentos de genótipos x locais dentro de cada safra (2007/08 e 2008/09).

A interação genótipo x ambiente fica ainda mais evidente quando analisamos todos os quatro locais nas duas safras agrícolas 2007/08 e 2008/09, separadamente (Tabela 3). Por se tratar de desdobramento, o resíduo considerado foi da análise conjunta, mostrado na Tabela 04.

TABELA 2 . Análise de variância conjunta para AACPD e *r* em genótipos de soja de ciclo de maturação semiprecoce. Uberlândia, MG, 2011.

F V	Quadrado Médio		
	G L	AACPD	r
(Blocos/Locais) Anos	16	84542,31	0,04
Genótipos (G)	18	67969,75 ^{ns}	0,03 ^{ns}
Anos (A)	1	16908046,60 ^{ns}	4,37 ^{ns}
Locais (L)	3	7273278,70 ^{ns}	2,40 ^{ns}
G x A	18	70652,81 ^{ns}	0,03 ^{ns}
G x L	54	64153,51 ^{ns}	0,02 ^{ns}
A x L	3	87497222, 60**	1,86**
G x A x L	54	66663,34**	0,16*
Resíduo	288	28828,54	0,01
Média		413,33	0,26

C.V. (%)	22,21	11,91
----------	-------	-------

*** Significativo, a 1 e 5 % de probabilidade pelo teste de F, respectivamente;

^{ns}: não significativo; CV(%): coeficiente de variação obtido da análise individual;
F V: Fontes de variação; G L: grau de liberdade; AACPD: área abaixo da curva de progresso da doença; r: taxa de progresso absoluta média da doença.

Na safra 2007/08 (Tabela 03), verificou-se interação genótipos x ambientes para a característica avaliada AACPD. A taxa de progresso absoluta média da doença (*r*) foi influenciada apenas pelos locais de cultivo. Já na safra 2008/09, as duas características avaliadas apresentaram efeito significativo para a interação genótipo x ambiente.

No desdobramento das interações e avaliando-se a resposta dos genótipos dentro de cada local, podem-se observar as diferenças significativas ($P < 0,01$) entre os genótipos na safra 2008/09, para AACPD e *r*.

O efeito de anos é caracterizado como um fator imprevisível. A avaliação das interações genótipos x anos é de suma importância, pois fornece informações sobre a previsibilidade do comportamento dos genótipos frente aos fatores ambientais, no tempo. Vencovsky; Torres (1988) enfatizam que, para o produtor rural, é mais importante que uma cultivar seja estável ao longo dos anos.

Os resultados indicam existência de variabilidade genética em todos os locais, havendo uma variação de resposta dos genótipos em relação aos diferentes locais de cultivo, indicando que os locais apresentam condições edafoclimáticas diferenciadas. Os resultados revelam a possível existência de genótipos adaptados a ambientes particulares e/ou com adaptação mais ampla.

Isso leva a inferir que existe um comportamento diferente dos genótipos baseado nas características, podendo este estar relacionado tanto com resistência, quanto com suscetibilidade à ferrugem asiática. Assim, por meio destes resultados, espera-se que determinado genótipo seja mais resistente ou mais suscetível em relação aos demais, ou ainda, que em determinado local de avaliação tenha ocorrido maior ou menor agressividade do patógeno aos genótipos.

A interação evidencia a necessidade de avaliação dos genótipos em vários ambientes para que se tenha maior segurança na recomendação dos melhores genótipos. Para Cruz e Castoldi (1991), esta é causada por dois fatores, sendo o primeiro,

denominado de parte simples ou de escala, decorrente da diferença de variabilidade entre os genótipos nos ambientes, e o segundo, denominado de parte complexa, está associado à falta de correlação genética da reação dos genótipos nos diferentes ambientes (XIE; MOSJIDIS, 1996; LYNCH; WALSH, 1998).

TABELA 3. Análise de variância por safra, para AACPD e “*r*” de genótipos de soja de ciclo de maturação semiprecoce. Uberlândia, MG, 2011.

F.V.	1º Ano Safra 2007/08			2º Ano safra 2008/09		
	Quadrado Médio			Quadrado Médio		
	G.L.	AACPD	r	G.L.	AACPD	r
Blocos/Locais	8	16715,26	0,01	8	152369,36	0,06
Blocos x Locais	6	13011,48	0,01	6	116016,45	0,02
Genótipos (G)	18	46340,42 ^{ns}	0,02 ^{ns}	18	92282,15 ^{ns}	0,03 ^{ns}
Locais (L)	3	1177647,20**	0,78**	3	14845354,09**	3,47**
G x L	54	35861,24**	0,01 ^{ns}	54	94955,62**	0,02**
G/L	72	38481,04**	0,01 ^{ns}	72	94287,25**	0,03**
G/Uberlândia	18	34486,35**	0,011 ^{ns}	18	134751,86**	0,022**
G/Uberaba	18	3002,11**	0,004 ^{ns}	18	190893,96**	0,037**
G/Campo Alegre	18	110039,18*	0,029 ^{ns}	18	24252,57 ^{ns}	0,016 ^{ns}
G/S. Canedo	18	6396,49 ^{ns}	0,002 ^{ns}	18	27250,61 ^{ns}	0,027 ^{ns}
Resíduo	288	28828,54	0,01	288	28828,54	0,01
Média		220,77	0,16		605,89	0,36
C.V. (%)		26,96	10,81		19,18	13,25

**, * Significativo, a 1 e 5 % de probabilidade pelo teste de F, respectivamente.

^{ns}: não significativo; CV(%): coeficiente de variação obtido da análise individual.

F V: Fontes de variação; G L: grau de liberdade; AACPD: área abaixo da curva de progresso da doença; r: taxa de progresso absoluta média da doença.

Em relação aos locais de cultivo na safra 2007/08 (Tabela 4), observa-se que, em Uberlândia, houve maior taxa de progresso absoluta média da ferrugem (*r*), quando comparados com o demais locais. Com relação ao comportamento das linhagens dentro de cada ambiente na safra 2007/08, observou-se que não houve diferença significativa para a taxa de progresso absoluta média da doença (*r*). Rezende (2009) avaliou a produtividade dos mesmos materiais provenientes do programa de melhoramento da

UFU, em vários locais de cultivo nas safras 2006/07 e 2007/08, e chegou à conclusão de que a linhagem UFU-006 se sobressaiu às demais.

A magnitude do dano provocado pela ferrugem asiática é influenciada por condições climáticas, aspectos genéticos das cultivares, população do patógeno, manejo cultural e fitotécnico da cultura e pelo conjunto de fatores relacionados ao controle químico (BALARDIN; NAVARINI; DALLAGNOLL, 2005). A precipitação é um fator crítico para o desenvolvimento da ferrugem da soja. Dados de severidade da doença obtidos de diferentes regiões do Brasil, com distintos regimes pluviométricos, demonstraram alta correlação com a precipitação (CARNEIRO, 2007), que pode ser explicada pela característica incomum dos urediniósporos do fungo *P. pachyrhizi* permanecerem firmemente unidos, não sendo facilmente liberados pela ação do vento (MELCHING; BROMFIELD; KINGSOLVER, 1979).

Para Del Ponte et al. (2006), a quantidade e a distribuição de chuva correlaciona-se com a evolução e a severidade da doença, e o mesmo não se observa para a temperatura. Na realidade, o primeiro fator está associado diretamente com o molhamento foliar. Molhamento foliar igual ou acima de 6 horas é suficiente para que epidemias ocorram (JULIATTI; POLIZEL; JULIATTI, 2004).

Segundo Juliatti et al., (2005b), estas constatações evidenciam a importância do monitoramento dos parâmetros climáticos, para auxiliar técnicos e produtores na tomada de decisões, assim como na identificação de áreas com maior risco, ou maior probabilidade de ocorrência de processos endêmicos. Em razão de certos tipos de doenças ocorrerem com maior intensidade em determinadas regiões ou condições ambientais, a seleção de uma variedade resistente para determinado local pode não ser satisfatória para outra área de adaptação da soja. Como exemplo, pode ser citado o caso da mancha olho-de-rã, causada pelo fungo *Cercospora sojina*, que apresenta maior intensidade de ataque em certas regiões e em outras não apresenta danos econômicos (SEDIYAMA et al., 1993).

TABELA 4. Médias da taxa de progresso absoluta média da doença (r), em linhagens de soja de ciclo de maturação semiprecoce. Uberlândia, MG, 2011.

Linhagens	Safrá 2007/08				Média Genótipos
	Uberlândia	Uberaba	Campo Alegre	Senador Canedo	
UFU-001	0,31 a	0,12 a	0,13 a	0,04 a	0,15
UFU-002	0,33 a	0,09 a	0,06 a	0,04 a	0,13
UFU-003	0,38 a	0,10 a	0,12 a	0,06 a	0,16
UFU-004	0,28 a	0,07 a	0,08 a	0,08 a	0,13
UFU-005	0,27 a	0,07 a	0,07 a	0,05 a	0,12
UFU -006	0,23 a	0,06 a	0,07 a	0,08 a	0,11
UFU-007	0,33 a	0,11 a	0,12 a	0,04 a	0,15
UFU-008	0,43 a	0,10 a	0,13a	0,05 a	0,18
UFU-009	0,28 a	0,14 a	0,28 a	0,04 a	0,19
UFU-0010	0,36 a	0,08 a	0,12 a	0,07 a	0,16
UFU-0011	0,24 a	0,06 a	0,20 a	0,04 a	0,13
UFU-0012	0,26 a	0,05 a	0,27 a	0,04 a	0,15
UFU-0013	0,23 a	0,06 a	0,17 a	0,05 a	0,13
UFU-0014	0,33 a	0,05 a	0,40 a	0,07 a	0,21
M-Soy 6101	0,33 a	0,17 a	0,22 a	0,09 a	0,20
Emgopa 316	0,40 a	0,05 a	0,23 a	0,14 a	0,20
Conquista	0,29 a	0,05 a	0,20 a	0,05 a	0,15
M-soy 8008	0,41 a	0,16 a	0,35 a	0,08 a	0,25
M-Soy 8000	0,38 a	0,09 a	0,09 a	0,04 a	0,15
Média Locais	0,32 c	0,09 a	0,17 b	0,06 a	0,16

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si, pelo

teste de Scott Knott, a 5% de probabilidade.

Na safra 2008/09 (Tabela 5), foram observadas diferenças significativas para os municípios de Uberlândia e Uberaba. Em Uberaba, onde no geral houve as maiores médias de r , a linhagem UFU-009 se destacou apresentando a menor média. Já em

Uberlândia, as linhagens UFU 001, 003, 005, 006, 007, 0012, 0013 e as testemunhas M-Soy 6101, Emgopa 316 e M-Soy 8000 se destacaram em relação às demais linhagens.

TABELA 5. Médias da taxa de progresso absoluta média da doença (*r*), de genótipos de soja de ciclo de maturação semiprecoce, em 4 ambientes, na safra 2008/09. Uberlândia, MG, 2011.

Genótipos	2º Ano Safra 2008/09				Média Genótipos
	Uberlândia	Uberaba	Campo Alegre	Senador Canedo	
UFU-001	0,40 a	0,67 b	0,13 a	0,09 a	0,32
UFU-002	0,50 b	0,58 b	0,20 a	0,05 a	0,33
UFU-003	0,42 a	0,64 b	0,20 a	0,03 a	0,32
UFU-004	0,46 b	0,75 b	0,21 a	0,18 a	0,40
UFU-005	0,43 a	0,64 b	0,23 a	0,32 a	0,40
UFU -006	0,38 a	0,70 b	0,11 a	0,07 a	0,32
UFU-007	0,32 a	0,67 b	0,14 a	0,10 a	0,31
UFU-008	0,56 b	0,75 b	0,19 a	0,10 a	0,40
UFU-009	0,47 b	0,27 a	0,26 a	0,04 a	0,26
UFU-0010	0,50 b	0,65 b	0,17 a	0,07 a	0,35
UFU-0011	0,61 b	0,72 b	0,31 a	0,16 a	0,45
UFU-0012	0,37 a	0,72 b	0,27 a	0,23 a	0,40
UFU-0013	0,44 a	0,60 b	0,10 a	0,05 a	0,30
UFU-0014	0,47 b	0,65 b	0,11 a	0,07 a	0,33
M-Soy 6101	0,29 a	0,82 b	0,10 a	0,06 a	0,32
Emgopa 316	0,35 a	0,70 b	0,29 a	0,15 a	0,37
Conquista	0,58 b	0,68 b	0,23 a	0,07 a	0,39
M-soy 8008	0,47 b	0,70 b	0,31 a	0,35 a	0,46
M-Soy 8000	0,44 a	0,67 b	0,26 a	0,01 a	0,34
Média Locais	0,44	0,66	0,20	0,11	0,35

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si,

pelo teste de Scott Knott, a 5% de probabilidade.

Observa-se que, na safra 2008/09, as taxas absolutas médias de desenvolvimento da doença foram numericamente superiores as da safra 2007/08 em todos os locais e

para todas as linhagens. Este fato nos permite inferir que as condições climáticas, na safra 2008/09, foram favoráveis à evolução e progresso da ferrugem da soja.

Analizando as Figuras 2A e 3A para a precipitação pluviométrica no mês de dezembro e para o município de Uberaba, safras 2007/08 e 2008/09, respectivamente, constatou-se lâminas pluviométricas de 450 mm para a safra 2008/09 e 310 mm para a safra 2007/08, corroborando com as observações de Del Ponte et al. (2006) e Godoy et al., (2009), onde os autores demonstram a relação entre as condições de chuva e a severidade final nas epidemias. Ainda de acordo com Furtado et al. (2009), a maior suscetibilidade das folhas mais velhas juntamente com maiores períodos de molhamento proporcionados pelo micro-clima e menor irradiação nas folhas baixas das plantas de soja podem ser responsáveis pelo desenvolvimento da doença no sentido base-ápice das plantas de soja, em condições de campo.

Logo, os dados do presente estudo apontam a necessidade de lâminas de maior pluviosidade para avaliação dos níveis adequados de RH, onde os genes de efeito aditivo podem se expressar. Neste caso, a linhagem UFU 009 apresentou maior RH, quando comparada com uma cultivar que se mostrou mais susceptível, M-Soy 8008, com base na severidade da doença, para o local em questão (Figura 1).

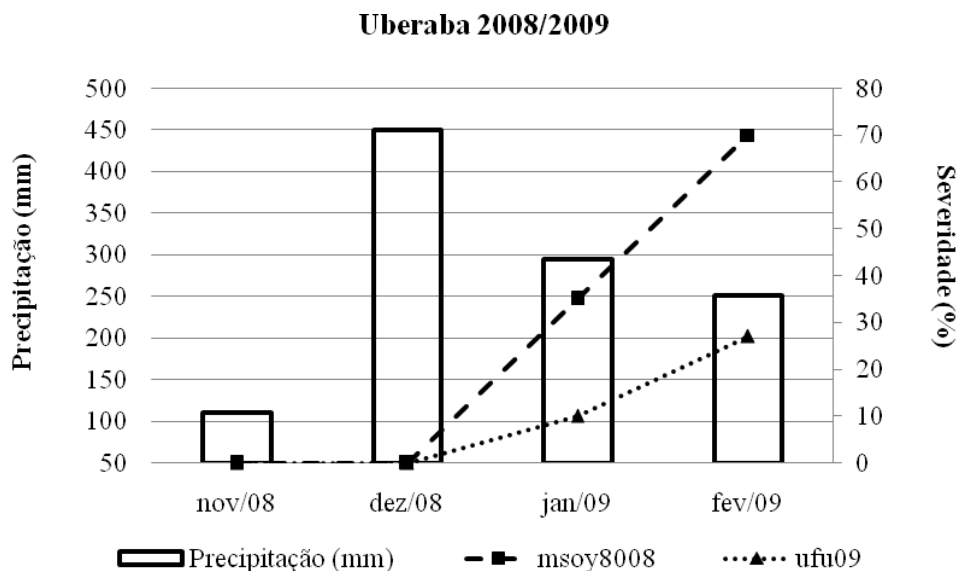


FIGURA 1. Severidade da ferrugem da soja e precipitação pluviométrica média mensal no período de novembro de 2008 a fevereiro de 2009, para a região de Uberaba, MG.

O mesmo pode ser observado para a linhagem UFU 006 em Uberlândia, safra 2008/09, quando comparada com a cultivar M-Soy 8008 (FIGURA 2). Nota-se que a linhagem se sobressaiu mesmo em condições favoráveis à doença.

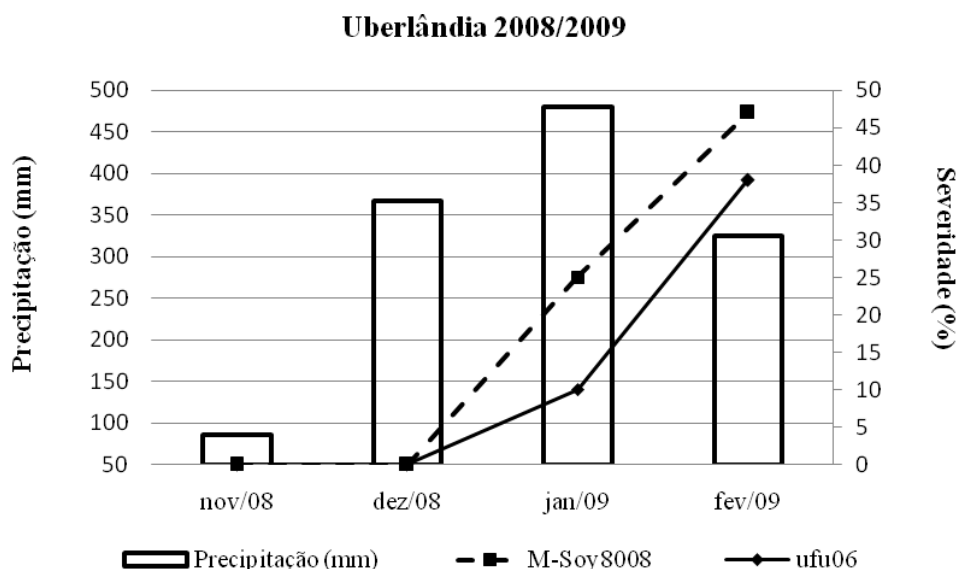


FIGURA 2. Severidade da ferrugem da soja e precipitação pluviométrica média mensal no período de novembro de 2008 a fevereiro de 2009, para a região de Uberlândia, MG.

Em relação à safra 2007/08, para AACPD (Tabela 6), as linhagens apresentaram o mesmo desempenho em Senador Canedo. Nos demais locais, as linhagens UFU 005, 006, UFU 0013 e a testemunha MGBR-46 Conquista mantiveram as menores médias de AACPD em todos os ambientes. Logo, pode se inferir que essas linhagens comportaram-se como mais resistentes à ferrugem da soja, devido aos mais baixos valores de AACPD.

Na safra 2008/09 (Tabela 7), as linhagens UFU001, 006, 007, 0012, 0013 e as testemunhas M-Soy 6101, Emgopa 316, M-Soy 8008 e M-Soy 8000 diferiram estatisticamente das demais em Uberlândia. Já em Uberaba, a única linhagem que se

destacou foi a UFU 009; nos demais ambientes não houve diferenças estatísticas entre as médias das linhagens para AACPD.

A AACPD tem sido utilizada por diversos autores para quantificar diferenças entre níveis de resistência parcial em alguns patossistemas. Cruvinel et al. (2004) estudaram o progresso da ferrugem asiática em nove cultivares de soja de ciclo precoce, médio e tardio, em Senador Canedo-GO, e encontraram diferenças tanto entre as cultivares com o mesmo ciclo, quanto entre as cultivares de ciclos diferentes.

Variações na taxa de progresso da doença e no período de incubação do fungo foram verificadas por Dallagnol; Balardin; Ugalde (2004), ao testarem a sensibilidade de 60 cultivares de soja, provenientes da região Sul, Sudeste, e Centro-Oeste do Brasil, a um isolado de *P. pachyrhizi*, sugerindo que este comportamento esteja atrelado a variação da resistência parcial em cada cultivar.

TABELA 6. Médias da AACPD, em linhagens de soja de ciclo de maturação semiprecoce. Uberlândia, MG, 2011.

Linhagens	1º Ano Safra 2007/08				Média Genótipos
	Uberlândia	Uberaba	Campo Alegre	Senador Canedo	
UFU-001	313,33 a	123,33 b	173,33 a	86,67 a	174,17
UFU-002	430,00 b	50,00 a	100,00 a	43,33 a	155,83
UFU-003	463,33 b	100,00 b	270,00 a	110,00 a	235,83
UFU-004	280,00 a	103,33 b	175,33 a	123,33 a	171,00
UFU-005	273,33 a	71,33 a	146,67 a	80,00 a	142,83
UFU -006	226,67 a	56,00 a	97,33 a	110,00 a	123,00
UFU-007	363,33 a	107,33 b	256,67 a	103,33 a	207,67
UFU-008	616,67 b	62,67 a	280,00 a	130,00 a	272,33
UFU-009	293,33 a	100,67 b	563,33 b	106,67 a	266,00
UFU-0010	466,67 b	80,67 b	179,33 a	103,33 a	208,00
UFU-0011	160,00 a	55,33 a	400,00 b	86,67 a	176,00
UFU-0012	263,33 a	50,00 a	556,67 b	76,67 a	236,67
UFU-0013	253,33 a	56,67 a	253,33 a	140,00 a	175,83
UFU-0014	376,67 a	50,00 a	813,33 b	156,67 a	349,17
M-Soy 6101	380,00 b	97,33 b	356,67 a	173,33 a	251,83
Emgopa 316	433,33 b	33,33 a	386,67 b	256,67 a	278,00
Conquista	320,00 a	52,00 a	296,67 a	86,67 a	188,83

M-soy 8008	446,67 b	156,67 b	590,00 b	140,00 a	333,33
M-Soy 8000	380,00 b	90,00 b	450,00 b	83,33 a	250,83
Média Locais	354,74	78,77	333,96	115,61	220,77

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si, pelo teste Scott Knott, a 5% de probabilidade.

TABELA 7. Médias da AACPD, em linhagens de soja de ciclo de maturação semiprecoce. Uberlândia, MG, 2011.

Linhagens	2º Ano Safra 2008/09				Média Genótipos
	Uberlândia	Uberaba	Campo Alegre	Senador Canedo	
UFU-001	660,00 a	1220,00 b	177,33 a	84,67 a	535,50
UFU-002	980,00 b	940,00 b	252,00 a	44,67 a	554,17
UFU-003	883,33 b	1153,33 b	227,33 a	32,67 a	574,17
UFU-004	916,67 b	1440,00 b	219,33 a	185,33 a	690,33
UFU-005	900,00 b	1110,00 b	274,00 a	322,00 a	651,50
UFU -006	621,33 a	1290,00 b	360,67 a	72,00 a	586,00
UFU-007	770,00 a	1200,00 b	166,00 a	96,67 a	558,17
UFU-008	943,33 b	1460,00 b	226,67 a	96,00 a	681,50
UFU-009	946,67 b	420,00 a	344,67 a	44,00 a	438,83
UFU-0010	1043,33 b	1150,00 b	234,67 a	70,00 a	624,50
UFU-0011	1426,67 b	1370,00 b	378,67 a	165,33 a	835,17
UFU-0012	760,00 a	1380,00 b	108,67 a	227,33 a	619,00
UFU-0013	783,33 a	1010,00 b	87,33 a	46,67 a	481,83
UFU-0014	908,00 b	1150,00 b	167,33 a	70,00 a	573,83
M-Soy 6101	416,00 a	1650,00 b	265,33 a	56,00 a	596,83
Emgopa 316	726,67 a	1300,00 b	332,67 a	151,33 a	627,67
Conquista	1100,00 b	1100,00 b	254,00 a	68,00 a	630,50
M-soy 8008	823,33 a	1223,33 b	429,33 a	348,67 a	706,17
M-Soy 8000	710,00 a	1200,00 b	260,00 a	15,00 a	546,25
Média Locais	858,87	1198,25	250,84	115,59	605,89

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si, pelo teste Scott Knott, a 5% de probabilidade.

3.1.1 – Correlação de Pearson

Para verificar a associação entre as variáveis severidade da ferrugem asiática e precipitação média dos locais durante a condução dos ensaios, foi calculado o coeficiente de correlação linear de Pearson (r), tendo encontrado um $r = -0,09$ (negativa baixa e não significativa). As correlações negativas indicam que as variáveis são inversamente relacionadas, ou seja, quanto maior a severidade da ferrugem asiática, menor será a precipitação média do local.

3.2 - Produtividade

A produtividade de grãos foi avaliada na safra 2007/08 nos municípios de Uberaba, MG; Campo Alegre, GO e Senador Canedo, GO, e também na safra 2008/09 no município de Uberaba, MG. No entanto, não apresentou efeito significativo para interação genótipo x ambiente na safra 2007/08, mostrando que não foi verificado efeito no grupo de linhagens como um todo (Tabela 8). Houve efeito isolado dos fatores genótipos e locais. Contudo, foi feito o desdobramento das médias por ser uma característica de interesse para esse estudo.

Na safra 2008/09, onde foi avaliada a produtividade das linhagens em apenas um local, Uberaba, MG, não foram verificadas diferenças significativas entre as médias (Tabela 9).

TABELA 8. Análise de variância da safra 2007/08, para produtividade de grãos (kg.ha^{-1}), em linhagens de soja de ciclo de maturação semiprecoce. Uberlândia, MG, 2011.

	Quadrado Médio	
	G.L.	Produtividade
Blocos/Locais	6	637262,98
Blocos x Locais	4	652038,35
Genótipos (G)	18	1010825,97*
Locais (L)	2	16827335,26**
G x L	36	535759,71 ^{ns}
G/L	54	694115,13
G/Campo Alegre	18	355168,05 ^{ns}
G/Senador Canedo	18	998390,33**
G/Uberaba	18	728787,01*
Resíduo*	108	435644,39

Média	2716,45 kg.ha ⁻¹
C.V. (%)	24,30

***, Significativo, a 1 e 5 % de probabilidade, pelo teste de F, respectivamente.

^{ns}: não significativo, a 1 e 5 % de probabilidade, pelo teste de F.

CV(%): coeficiente de variação obtido da análise individual.

TABELA 9. Análise de variância da safra 2008/09, para produtividade de grãos (kg.ha⁻¹), de linhagens de soja de ciclo de maturação semiprecoce. Uberlândia, MG, 2011.

F V	Quadrado Médio	
	G L	Produtividade
Blocos	2	934639,03
Genótipos (G)	18	307062,01 ^{ns}
Resíduo	36	257655,45
Média		2522,00 kg.ha ⁻¹
C.V. (%)		20,1

^{ns}: não significativo; CV(%): coeficiente de variação.

Com relação à média geral de produtividade, na safra 2007/08 (Tabela 12), nota-se que as linhagens UFU 006, 009, 001, 002, 004, 005, 007, 008, 0011, 0012, 0014 e as testemunhas MGBR-46 Conquista e M-Soy 8008 foram mais produtivas. Os piores rendimentos foram observados para as linhagens UFU 003, 0010, 0013 e as testemunhas M-Soy 6101, Emgopa 316 e M-Soy 8000.

Verificando as médias de todos os locais, Uberaba foi o ambiente que apresentou maior produtividade entre as linhagens, com a média alcançada de 3287,68 kg.ha⁻¹, seguido de Senador Canedo e Campo Alegre, onde foram obtidos os piores desempenhos (Tabela 10). No geral, a linhagem UFU-006 superou a melhor testemunha (MGBR-46 Conquista) em 440,00 kg ha⁻¹, expressando o seu potencial genético superior para o caráter produtividade de grãos.

TABELA 10. Médias de produtividade de grãos (kg.ha^{-1}), de linhagens de soja de ciclo de maturação semiprecoce, safra 2007/08 Uberlândia, MG, 2011.

Genótipos	Ano - Safra 2007/08			Média Genótipos
	Campo Alegre	Senador Canedo	Uberaba	
UFU-001	2278,7	3875,0	3241,8	3131.82 a
UFU-002	2391,3	2694,2	3369,9	2818.46 a
UFU-003	2171,7	2757,5	2505,0	2478.07 b
UFU-004	2001,1	2806,7	3553,7	2787.16 a
UFU-005	2913,8	2085,0	3529,7	2842.81 a
UFU -006	2566,9	3260,8	4424,1	3417.29 a
UFU-007	1825,8	3096,7	2998,0	2640.14 a
UFU-008	2294,8	3213,3	3055,3	2854.52 a
UFU-009	2349,4	2875,0	3890,1	3038.19 a
UFU-0010	2307,9	2255,0	2886,5	2483.15 b
UFU-0011	2569,7	2739,2	3036,3	2781.73 a
UFU-0012	2382,7	2440,8	3426,1	2749.87 a
UFU-0013	2041,6	2030,0	3017,0	2362.87 b
UFU-0014	1972,0	3107,5	3074,2	2717.89 a
M-Soy 6101	1743,3	1351,7	3380,1	2158.34 b
Emgopa 316	1540,8	2121,7	3534,8	2399.13 b
Conquista	2343,0	3083,3	3504,4	2976.92 a
M-soy 8008	2495,3	2462,5	3795,9	2917.91 a
M-Soy 8000	1727,1	2199,2	2242,4	2056.22 b
Média Locais	2206,13 c	2655,52 b	3287,68 a	2716,45

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si, pelo teste Scott Knott, a 5% de probabilidade.

As médias de produtividade das linhagens não variaram significativamente em Uberaba, na safra 2008/09 (Tabela 11). Neste ano, as condições edafoclimáticas foram favoráveis ao desenvolvimento da ferrugem (Figura 2A), com isso foram verificados piores rendimentos de produtividade.

As linhagens UFU 006 e 009 mantiveram seu padrão de produtividade elevado, nas duas safras avaliadas, mesmo em condições de alta pressão de doença, como foi verificado no município de Uberaba, na safra 2008/09 (Tabelas 7 e 9). De acordo com Moraes (2005), os genótipos podem sofrer influências diferenciadas dos ambientes, dificultando uma recomendação única para toda a região em estudo.

A cada ano, novas tecnologias são lançadas, e em função da não disponibilidade de cultivares resistentes até o momento, os melhores resultados de controle têm sido alcançados por meio de técnicas combinadas. Assim, destaca-se a importância da elaboração de novos trabalhos buscando compreender melhor o comportamento das cultivares frente à ocorrência da ferrugem asiática nas diferentes combinações de técnicas de cultivo.

TABELA 11. Médias de produtividade de grãos ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$), de linhagens de soja de ciclo de maturação semiprecoce, safra 2008/09. Uberlândia, MG, 2011.

Genótipos	Ano – Safra 2008/09
	Uberaba
UFU-001	2182,19 a
UFU-002	2150,72 a
UFU-003	2708,36 a
UFU-004	2253,01 a
UFU-005	2299,48 a
UFU -006	2834,90 a
UFU-007	2516,48 a
UFU-008	2495,32 a
UFU-009	2788,37 a
UFU-0010	2666,67 a
UFU-0011	3093,10 a
UFU-0012	2315,79 a
UFU-0013	2554,47 a
UFU-0014	2611,90 a
M-Soy 6101	2003,43 a
Emgopa 316	2386,93 a
Conquista	3217,49 a
M-soy 8008	2609,89 a
M-Soy 8000	2229,59 a
Média	2522,00

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si, pelo teste Scott Knott, a 5% de probabilidade.

3.3 - Análise de adaptabilidade e estabilidade

No método proposto por Eberhart e Russell (1966), conforme o índice ambiental, os ambientes 5 e 6 foram classificados como favoráveis (índices positivos) e os ambientes 2,3,4,7 e 8 como desfavoráveis (índices negativos) ao desenvolvimento da ferrugem, como pode ser observado através das duas variáveis analisadas, r e AACPD (Tabelas 12 e 13). O ambiente 1 (Uberlândia 07/08) foi classificado conforme a variável analisada, para a taxa de progresso absoluta média da doença (r), foi considerado favorável à ferrugem e para a AACPD foi desfavorável.

Entre os ambientes desfavoráveis, foi observado que o ambiente 2 (Uberaba/safra 07/08) apresentou as menores médias de r e AACPD, ou seja desfavorável ao desenvolvimento da doença. No entanto, este mesmo local, na safra seguinte, mostrou-se altamente favorável ao desenvolvimento da doença. Este fato se deve, em grande parte, às condições climáticas que foram propícias ao desenvolvimento da ferrugem na safra 2008/09, tanto para o ambiente 5 (Uberlândia 08/09), como para o 6 (Uberaba 08/09) (Figura 2A).

Os ambientes: 3 (Campo Alegre 07/08), 4 (Senador Canedo 07/08), 7 (Campo Alegre 08/09) e 8 (Senador Canedo 08/09) mantiveram o mesmo comportamento, ou seja, desfavorável à doença.

As condições ambientais envolvem circunstâncias que favorecem, ou não, a infecção e o desenvolvimento do patógeno, podendo constituir causa de ineficiência na avaliação das linhagens, levando à superestimação de sua resistência e, em consequência, à imprevisão de desempenhos insatisfatórios. Portanto, em função do interesse de estudar a influência da interação do ambiente sobre a ocorrência da doença, realizam-se as análises de adaptabilidade e estabilidade por permitirem um estudo pormenorizado de linhagem por linhagem nos ambientes estudados.

TABELA 12. Classificação dos oito ambientes, de acordo com a taxa de progresso absoluta média da doença (r), segundo os métodos propostos por Eberhart e Russell (1966) e Annicchiarico (1992). Uberlândia, MG, 2011.

Ambiente/Safra	Média	Índice (I_p)	Classe
1- Uberlândia 07/08	0,3198	0,0617	Favorável
2- Uberaba 07/08	0,0879	-0,1702	Desfavorável
3- Campo Alegre 07/08	0,1740	-0,0841	Desfavorável
4- Senador Canedo 07/08	0,0589	-0,1991	Desfavorável
5- Uberlândia 08/09	0,4451	0,1870	Favorável
6- Uberaba 08/09	0,6616	0,4035	Favorável
7- Campo Alegre 08/09	0,2016	-0,0565	Desfavorável
8- Senador Canedo 08/09	0,1158	-0,1423	Desfavorável

TABELA 13. Classificação dos oito ambientes, de acordo com a AACPD, segundo os métodos propostos por Eberhart e Russell (1966) e Annicchiarico (1992). Uberlândia, MG, 2011.

Ambiente/Safra	Média	Índice (I_p)	Classe
1- Uberlândia 07/08	354,7368	-58,5943	Desfavorável
2- Uberaba 07/08	78,7719	-334,5592	Desfavorável
3- Campo Alegre 07/08	333,9649	-79,3662	Desfavorável
4- Senador Canedo 07/08	115,6140	-297,7171	Desfavorável
5- Uberlândia 08/09	858,8772	445,5461	Favorável
6- Uberaba 08/09	1198,2456	784,9145	Favorável
7- Campo Alegre 08/09	250,8421	-162,4890	Desfavorável
8- Senador Canedo 08/09	115,5965	-297,7346	Desfavorável

3.4 - Análise segundo Eberhart e Russell (1966)

Com relação aos parâmetros de adaptabilidade e de estabilidade, foram estimados a média geral (β_0), o coeficiente de regressão (β_{1i}), o desvio da regressão (σ^2_d) e o coeficiente de determinação (R^2), conforme Eberhart e Russell (1966), para caracterizar cada genótipo quanto à adaptabilidade e estabilidade de comportamento em relação à ferrugem asiática, com base nas variáveis “ r ” e AACPD (Tabelas 14 e 15).

As linhagens UFU 001, 002, 003, 006, 007, 009, 0010, 0013 e a testemunha M-Soy 8000 foram as de maior adaptabilidade, por possuírem os melhores níveis de resistência, ou seja, os menores valores médios em relação à média geral.

A linhagem UFU 009 demonstrou ampla capacidade de adaptação à ambientes desfavoráveis à ferrugem, pelo coeficiente de regressão estatisticamente inferior à unidade $\beta_{1i} < 1,0$ (0,47). Por outro lado, a linhagem UFU 008 mostrou-se mais susceptível à ferrugem, uma vez que apresentou coeficiente de regressão significativamente superior a unidade ($\beta_{1i} = 1,24$), ou seja, responsivo à ambientes favoráveis à ferrugem.

No entanto, considerando-se o desvio de regressão, todas as linhagens, exceto UFU 005, 009, 014 e M-Soy 6101, tiveram elevada previsibilidade e/ou estabilidade de comportamento, pois não diferiram estatisticamente de zero. Com relação à linhagem UFU 009 ($\sigma^2_d \neq 0$), considerada de baixa estabilidade, ou seja, baixa previsibilidade de comportamento frente à mudanças do ambiente, apresentou comportamento diferencial em Uberaba, na safra 2008/09 (Tabela 5), mostrando-se mais resistente à ferrugem em relação às demais linhagens. Esse fato pode ter influenciado na sua resposta quanto à estabilidade de comportamento.

No que diz respeito ao coeficiente de determinação, Duarte (1988) enfatiza que o mesmo pode ser usado em substituição à variância dos desvios da regressão na avaliação de um dado genótipo. Ainda, segundo Cruz; Regazzi; Carneiro, (2004), algumas vezes pode ocorrer que muitos genótipos com médias superiores apresentem s^2_{di} estatisticamente diferente de zero. Porém, pode ser necessária a seleção de alguns genótipos do grupo em que a estabilidade é baixa. Nesses casos, uma medida auxiliar de comparação entre genótipos é o coeficiente de determinação (R^2). Nos casos das linhagens mais suscetíveis à ferrugem, os valores de R^2 foram os mais altos. Em princípio, isso indica um melhor ajuste dos dados à equação de regressão proposta. Entretanto, para as linhagens mais resistentes, constatou-se que os valores de R^2 foram

os mais baixos, indicando um pior ajuste dos dados à equação de regressão. Contudo, segundo Brito (2010), nos casos em que as notas se mantiveram baixas, pequenas flutuações acarretam proporcionalmente maiores desvios no modelo e, em consequência, menores valores de R^2 . Sendo assim, ao analisarmos o coeficiente de determinação da linhagem UFU 009 ($R^2 = 43,3$), observa-se que o seu baixo valor está relacionado com sua estabilidade de comportamento.

Nota-se, neste aspecto, que a maioria das linhagens apresentaram boa adaptabilidade e estabilidade, com destaque para as linhagens UFU 001, 002, 003, 006, 007, 0010, 0013 e a testemunha M-Soy 8000 que apresentaram médias inferiores à média geral. E ainda, a linhagem UFU 009 que apresentou adaptabilidade específica à ambientes com alta pressão de doença.

TABELA 14. Estimativas das médias para a Taxa de progresso absoluta média da ferrugem (r) e dos parâmetros de adaptabilidade e estabilidade, segundo Eberhart e Russell (1966). Uberlândia, MG, 2011.

Linhagens	Taxa de progresso absoluta média da doença (r)			
	Média (β_0)	β_{1i}	σ^2d	$R^2(\%)$
UFU-001	0,2379	1,0169 ^{ns}	-0,0024 ^{ns}	97,60
UFU-002	0,2321	0,9996 ^{ns}	0,0000 ^{ns}	93,03
UFU-003	0,2438	1,0100 ^{ns}	-0,0015 ^{ns}	95,91
UFU-004	0,2646	1,1057 ^{ns}	-0,0006 ^{ns}	95,12
UFU-005	0,2608	0,8840 ^{ns}	0,0052*	81,49
UFU-006	0,2113	1,0601 ^{ns}	-0,0007 ^{ns}	94,97
UFU-007	0,2267	0,9692 ^{ns}	-0,0010 ^{ns}	94,53
UFU-008	0,2883	1,2377*	-0,0018 ^{ns}	97,60
UFU-009	0,2225	0,4607*	0,0102**	43,30
UFU-0010	0,2513	1,0676 ^{ns}	-0,0021 ^{ns}	97,29
UFU-0011	0,2933	1,1528 ^{ns}	0,0027 ^{ns}	91,23
UFU-0012	0,2763	0,9665 ^{ns}	0,0024 ^{ns}	88,44
UFU-0013	0,2108	0,9791 ^{ns}	-0,0021 ^{ns}	96,68
UFU-0014	0,2692	0,9953 ^{ns}	0,0069*	82,35
M-Soy 6101	0,2588	1,0848 ^{ns}	0,0075**	83,99
Emgopa 316	0,2879	0,9293 ^{ns}	0,0012 ^{ns}	89,89
Conquista	0,2679	1,1367 ^{ns}	-0,0007 ^{ns}	95,55
M-soy 8008	0,3538	0,8555 ^{ns}	0,0019 ^{ns}	86,65
M-Soy 8000	0,2467	1,0885 ^{ns}	-0,0001 ^{ns}	94,24
Média	0,2581			

$\sigma^2 (\beta_0)$	0,0005
$\sigma^2 (\beta_{1i})$	0,0123

*** Significativo, a 5 e 1%, respectivamente
^{ns}: não significativo

Para a AACPD (Tabela 15), considerando-se a média como parâmetro de indicação de linhagens a ambientes gerais, houve consistência com as indicações de “r”, em alguns casos, destacando-se as seguintes linhagens como promissoras, ou seja, as de maior adaptabilidade, com médias inferiores à geral: UFU 001, 002, 003, 005, 006, 007, 009, 0013 e as testemunhas MGBR-46 Conquista e M-Soy 8000.

TABELA 15. Estimativas das médias para AACPD e dos parâmetros de adaptabilidade e estabilidade, segundo Eberhart e Russell (1966). Uberlândia, MG, 2011.

Linhagens	AACPD			
	Média (β_0)	β_{1i}	$\sigma^2 d$	R ² (%)
UFU-001	354,83	0,96 ^{ns}	-1636,26 ^{ns}	95,68
UFU-002	355,00	0,93 ^{ns}	10333,72 ^{ns}	89,13
UFU-003	405,00	1,00 ^{ns}	-5301 ^{ns}	97,77
UFU-004	430,42	1,18 ^{ns}	286,78 ^{ns}	96,40
UFU-005	397,17	0,93 ^{ns}	4965,67 ^{ns}	91,80
UFU-006	354,25	1,00 ^{ns}	11027,4 ^{ns}	90,15
UFU-007	382,92	0,98 ^{ns}	-7150,35 ^{ns}	98,68
UFU-008	476,92	1,21*	1141,45 ^{ns}	96,30
UFU-009	352,42	0,49*	49458,8**	43,26
UFU-0010	416,00	1,06 ^{ns}	2227,41 ^{ns}	94,75
UFU-0011	505,33	1,33*	27623,34**	90,01
UFU-0012	427,83	1,09 ^{ns}	11358,95 ^{ns}	91,43
UFU-0013	328,83	0,89 ^{ns}	-6217,17 ^{ns}	97,81
UFU-0014	461,50	0,97 ^{ns}	28255,39**	82,61
M-Soy 6101	424,33	1,13 ^{ns}	55249,04**	78,85
Emgopa 316	452,58	0,97 ^{ns}	-760,91 ^{ns}	95,25
MGBR-46 Conquista	409,67	1,06 ^{ns}	2095,19 ^{ns}	94,79
M-soy 8008	519,75	0,87 ^{ns}	-33,99 ^{ns}	93,69
M-Soy 8000	398,54	0,96 ^{ns}	-2210,61 ^{ns}	95,98
Média	413,33			
$\sigma^2 (\beta_0)$	1201,19			
$\sigma^2 (\beta_{1i})$	0,0084			

*** Significativo, a 5 e 1%, respectivamente
^{ns}: não significativo

Pelo coeficiente de regressão, a linhagem UFU 009 apresentou ampla adaptabilidade a ambientes desfavoráveis à ferrugem. No entanto, considerando-se o σ^2d , a maioria das linhagens demonstrou alta previsibilidade de comportamento, sendo que as linhagens: UFU 009, 0011, 0014 e M-Soy 6101, com $\sigma^2d \neq 0$, foram consideradas menos estáveis. Contudo, da mesma forma que ocorreu para a variável r , a linhagem UFU 009 pode ter sido influenciada pelas mudanças ambientais e conseqüentemente interferido na sua estabilidade de comportamento. Esse material mostrou-se adaptado a um ambiente em específico, Uberaba-safra 08/09, onde este se destacou em relação às demais linhagens, como pode ser visualizado na Tabela 7.

Portanto, as linhagens UFU 001, 002, 003, 005, 006, 007, 0010, 0013 e as testemunhas MGBR-46 Conquista e M-Soy 8000 seriam recomendadas como fontes ideais de resistência à ferrugem para ambientes gerais. E a linhagem UFU 009 seria indicada para ambientes específicos.

3.5 - Análise segundo Annicchiarico

A metodologia de Annicchiarico (1992) baseia-se na estimação de um índice obtido pela superioridade da linhagem em relação à média de cada ambiente. As estimativas dos índices foram apresentadas para cada tipo de ambiente usado na recomendação das cultivares: amplo ou geral, favorável e desfavorável, usando o FRP_r e FRP_{AACPD} (Tabela 16).

Como cultivares de ampla distribuição para indicação, destacaram-se as linhagens UFU 001, 006, 007 e 0013 que apresentaram as melhores médias geral de FRP_r e também os maiores índices de adaptabilidade e estabilidade geral (Tabela 16). Esse resultado indica que essas linhagens possuem maior média e menor desvio padrão entre suas médias e as médias ambientais (CRUZ; CARNEIRO, 2006).

Dentre as linhagens avaliadas, a UFU 006 e a 0013 apresentaram os maiores índices de recomendação para ambientes favoráveis (Tabela 16). Sendo assim, adaptadas às condições de ambientes onde foi favorecida a resistência à ferrugem, ou seja, ambientes onde houve menores índices de desenvolvimento da ferrugem (2-

Uberaba 07/08; 3- Campo Alegre 07/08; 4- Senador Canedo 07/08; 7- Campo Alegre 08/09 e 8- Senador Canedo 08/09) (Tabela 10).

As linhagens UFU 001, 005, 006, 007, 009 e 0013 apresentaram índice de recomendação para ambientes desfavoráveis acima de 100 (Tabela 16), sendo classificadas como adaptadas às condições favoráveis ao desenvolvimento da ferrugem (Tabela 12), pelo método de Annicchiarico (1992). A linhagem UFU 009 se destacou em relação às demais, pelo elevado índice de recomendação para esses ambientes (123,26), ou seja, esta linhagem apresentou o maior nível de resistência, quando avaliada em condições de elevada pressão da doença (Tabela 12).

Vale ainda ressaltar que as linhagens UFU 006, 007, 009 e 0013 tiveram, relativamente às demais, os melhores desempenhos (Tabela 16).

TABELA 16. Adaptabilidade e estabilidade fenotípica do Fator de Resistência Parcial para “r” (FRP_r) de linhagens de soja de ciclo de maturação semiprecoce, conduzidas em diferentes localidades nos anos agrícolas 2007/2008 e 2008/2009, pelo método de Annicchiarico. Uberlândia, MG, 2011.

Linhagens	FRP_r Média	Índice de recomendação para ambientes (ω_i)		
		Geral	Desfavorável	Favorável
UFU-001	75,24 ^(a)	101,34	100,20	101,87
UFU-002	75,85 ^(a)	101,65	99,40	103,08
UFU-003	74,62 ^(a)	100,67	98,87	101,59
UFU-004	72,41 ^(a)	93,73	86,49	98,40
UFU-005	72,83 ^(a)	97,68	105,71	93,70
UFU -006	78,02 ^(a)	103,43	101,13	104,71
UFU-007	76,38 ^(a)	102,43	103,02	102,37
UFU-008	69,98	88,72	74,91	101,16
UFU-009	76,81 ^(a)	101,42	123,26	94,44
UFU-0010	73,82 ^(a)	98,86	93,80	102,43
UFU-0011	69,44	88,66	79,97	94,43
UFU-0012	71,22	93,66	96,13	92,20
UFU-0013	78,04 ^(a)	105,88	109,07	104,09
UFU-0014	71,96	95,20	97,46	94,09
M-Soy 6101	73,05 ^(a)	90,89	80,90	97,87

Emgopa 316	69,99	92,78	92,88	92,82
MGBR-46 Conquista	72,09	94,36	86,82	99,65
M-soy 8008	63,17	84,25	87,79	82,19
M-Soy 8000	74,31 ^(a)	98,89	95,30	101,24

^(a) média significativamente diferente da cultivar testemunha M-Soy 8008, pelo teste de Dunnet, a 5% de probabilidade.

Segundo Machado et al. (2003), com o método de Annicchiarico (1992), pode-se estimar o risco em adotar determinada cultivar. Portanto, este deve apresentar, no mínimo, índice de confiança igual a 100, o que corresponde a uma resposta igual a média.

Com base nesses parâmetros para a variável FRP_{AACPD} (Tabela 17), verificou-se que as linhagens UFU 001, 002, 007 e 0013 são linhagens de ampla distribuição para indicação, ou seja, apresentaram adaptabilidade e estabilidade geral. Sendo que a UFU 0013 se destacou em relação às demais em todos os ambientes.

TABELA 17. Adaptabilidade e estabilidade fenotípica do Fator de Resistência Parcial para AACPD (FRP_{AACPD}) de linhagens de soja de ciclo de maturação semiprecoce, conduzidas em diferentes localidades nos anos agrícolas 2007/2008 e 2008/2009, pelo método de Annicchiarico. Uberlândia, MG, 2011.

Linhagens	FRP_{AACPD} Média	Índice de recomendação para ambientes (ω i)		
		Geral	Desfavorável	Favorável
UFU-001	81,12 ^(a)	102,32	103,76	101,93
UFU-002	81,12 ^(a)	101,60	103,39	101,48
UFU-003	78,46	99,60	100,35	99,21
UFU-004	77,11	92,51	73,68	100,50
UFU-005	78,87	99,72	101,18	98,97
UFU -006	81,16 ^(a)	100,65	97,80	101,44
UFU-007	79,63	101,30	102,49	100,86
UFU-008	74,63	88,87	70,84	96,08
UFU-009	81,25 ^(a)	100,07	129,05	95,83
UFU-0010	77,87	97,09	89,65	99,62
UFU-0011	73,12	84,17	53,72	98,18
UFU-0012	77,24	94,13	84,49	97,29
UFU-0013	82,51 ^(a)	105,16	113,60	103,17
UFU-0014	75,45	93,82	98,84	92,09
M-Soy 6101	77,43	88,38	67,36	98,57
Emgopa 316	75,93	94,90	93,63	95,51

MGBR-46 Conquista	78,21	97,24	88,05	101,44
M-soy 8008	72,35	91,61	98,52	89,68
M-Soy 8000	78,80	99,67	104,29	98,34

^(a) média significativamente diferente da cultivar testemunha M-Soy 8008, pelo teste de Dunnet, a 5% de probabilidade.

A linhagem UFU 006 se mostrou adaptada às condições de ambientes favoráveis à resistência à ferrugem, ou seja, ambientes onde o desenvolvimento da ferrugem foi desfavorável (Tabela 13). Já a linhagem UFU 009 se sobressaiu em condições onde o desenvolvimento da ferrugem foi favorecido, logo ambientes desfavoráveis à resistência (Tabela 17).

De maneira geral, as linhagens UFU 001, 002, 006, 007, 009 e 0013 se destacaram em relação às demais.

Com relação ao teste comparativo entre testemunhas e linhagens, verificou-se que houve diferença significativa entre as linhagens para FRP_r e FRP_{AACPD} , a 5% de probabilidade, pelo teste de Dunnett (Tabelas 16 e 17). Entre as testemunhas, apenas a M-Soy 8008 diferenciou significativamente das linhagens. Nota-se que as linhagens UFU 001, 002, 006, 009 e 0013 diferiram da testemunha M-Soy 8008, tanto para a FRP_r , quanto para a FRP_{AACPD} , e apresentaram médias superiores a esta.

É válido ressaltar que a genealogia das linhagens UFU 001, 006, 009 e 0013 pode ter contribuído para o maior nível de RH das mesmas, uma vez que, entre os parentais, têm-se as cultivares IAC 100, cuja resistência parcial já foi relatada na literatura (JULIATTI, et al., 2005b; SANTOS, et al., 2007; SILVA; JULIATTI; SILVA, 2007), e as cultivares BRSMG Liderança e a MGBR-46 MGBR-46 Conquista, as quais em estudo sobre resistência parcial, apresentaram baixos valores de AACPD, indicando maior nível de resistência (JULIATTI et al., 2005a).

Estas informações corroboram para o ganho e progresso genético das linhagens para resistência horizontal à ferrugem asiática da soja.

3.6 - Análise do método AMMI

3.6.1 - Variável FRP_r

A análise AMMI combina, num único modelo, componentes aditivos para os efeitos principais (genótipos e ambientes) e componentes multiplicativos para os efeitos

da interação G x E. O desdobramento da SQ_{GxE} , correspondente aos quadrados dos valores singulares é apresentado na Tabela 18, juntamente com o teste F de Gollob, para determinar o número de componentes adequado para explicar a SQ_{GxE} .

TABELA 18. Teste F de Gollob para a variável FRP_r .

Eixo	Autovalor (λ_k^2)	Proporção explicada	Proporção Acumulada	GL	QM	F	Valor-p
1	2663,077	34,370	34,370	24	110,961	2,750	0
2	1655,388	21,365	55,735	22	75,244	1,865	0,012
3	1555,606	20,077	75,812	20	77,780	1,928	0,010
4	996,691	12,863	88,675	18	55,371	1,372	0,143
5	441,406	5,696	94,372	16	27,587	0,683	0,809
6	273,821	3,533	97,906	14	19,558	0,484	0,940
7	162,199	2,093	100	12	13,516	0,335	0,982

Pela Tabela 18, observa-se que o modelo AMMI com dois componentes explica 55,7% da variação devida à interação entre genótipos e ambientes. Esta tabela também apresenta os resultados do teste dos resíduos AMMI, correspondentes a cada um dos possíveis modelos AMMI. Sendo assim, é possível avaliar todos os modelos AMMI através do método de seleção proposto por Gollob (1968). Portanto, a escolha do modelo AMMI2 mostra-se adequada neste caso, pois utiliza-se apenas os dois primeiros componentes para obter as coordenadas dos genótipos e ambientes (Figura 3).

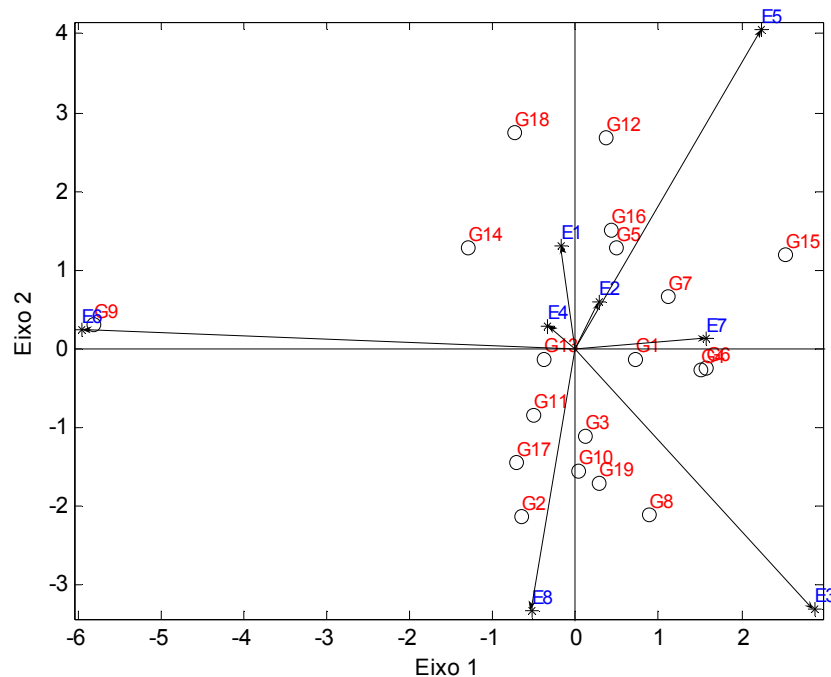


FIGURA 3 – Biplot para os dados referente à FRP_r , com 19 linhagens e 8 ambientes.

A Figura 3 ilustra o biplot resultante do conjunto de dados referentes à variável FRP_r , e a partir dele são feitas as devidas interpretações procurando identificar genótipos e ambientes que menos contribuem para a interação entre genótipos x ambientes. Conforme Araújo (2009), a estabilidade é avaliada inspecionando-se os pontos próximos da origem, correspondentes aos genótipos e ambientes mais estáveis. Logo, por este gráfico, nota-se que as linhagens mais estáveis foram as G1, G3, G4, G6, G7, G11 e G13. É válido ressaltar que, analisando genealogia desses materiais, as linhagens UFU 001, 006 e 0013 apresentam, entre os parentais, as cultivares BRSMG Liderança e MGBR-46 Conquista, o que pode ter contribuído para a estabilidade dessas linhagens com relação à resistência a ferrugem (JULIATTI et al., 2005a).

As linhagens UFU 001, 006, 007 e 0013 também se destacaram pelas metodologias de Eberhart; Russel e Annichiarico.

Entretanto, para fins de recomendação de cultivares, deseja-se alta performance na produtividade, a qual pode ser avaliada pelas médias de produtividade (DUARTE; VENKOVSKY, 1999). Neste estudo em questão, é desejável que as linhagens apresentem médias elevadas de FRP_r , ou seja, que tenham maiores níveis de resistência à ferrugem.

As estimativas das médias das linhagens e dos ambientes, com relação ao fator de resistência de “r”, são apresentadas na Tabela 19.

TABELA19. Médias das linhagens, ambientes e posição das médias em relação ao nível de resistência para a “r”.

Linhagem	Média	Posição	Ambiente	Média	Posição
G1 (UFU-001)	75,24	6	E1 - Uberlândia 07/08	66,70	6
G2 (UFU-002)	75,85	5	E2 - Uberaba 07/08	90,82	2
G3 (UFU-003)	74,62	7	E3 - Campo Alegre 07/08	81,87	4
G4 (UFU-004)	72,41	12	E4 - Senador Canedo 07/08	93,96	1
G5 (UFU-005)	72,83	11	E5 - Uberlândia 08/09	53,63	7
G6 (UFU -006)	78,02	2	E6 - Uberaba 08/09	31,10	8
G7 (UFU-007)	76,38	4	E7 - Campo Alegre 08/09	79,00	5
G8 (UFU-008)	69,98	17	E8 - Senador Canedo 08/09	87,97	3
G9 (UFU-009)	76,81	3			
G10 (UFU-0010)	73,82	9			
G11 (UFU-0011)	69,44	18			
G12 (UFU-0012)	71,22	15			
G13 (UFU-0013)	78,04	1			
G14 (UFU-0014)	71,96	14			
G15 (M-Soy 6101)	73,05	10			
G16 (Emgopa 316)	69,99	16			
G17 (Conquista)	72,09	13			
G18 (M-soy 8008)	63,17	19			
G19 (M-Soy 8000)	74,31	8			

Assim, entre essas linhagens destacam-se as UFU 0013, 006 e 007 que tiveram a primeira, segunda e a quarta maior média, respectivamente, em termos do fator de resistência de “r”, enquanto que as linhagens UFU 001, 003, 004, e 0011, que também são estáveis, tiveram algumas das piores médias. As demais linhagens tiveram adaptações específicas a determinados ambientes (coordenadas das linhagens estão próximas a coordenadas dos ambientes), ou seja, G9 adaptou-se especificamente ao ambiente E6 (Uberaba 08/09), G18, G12 e G 15 adaptaram-se ao ambiente E5 (Uberlândia 08/09), G2 ao ambiente E8 (Senador Canedo 08/09) e G8 ao ambientes E3(Campo Alegre 07/08). A associação da linhagem UFU 009 com o ambiente E6 pode estar relacionada com a adaptabilidade específica desse material para condições de alta pressão de doença (Tabela 5), fato este que contribuiu para a interação genótipo x ambiente.

Por outro lado, o ranqueamento dos genótipos num ambiente estável será de maior confiança para o melhorista. Assim, entre os ambientes, destacam-se E1(Uberlândia 07/08), E2 (Uberaba 07/08) e E4 (Senador Canedo 07/08), como ambientes estáveis (por estarem próximos da origem), enquanto que os demais locais demonstraram uma grande contribuição para a interação G x E.

3.6.2 - Variável FRP_{AACPD}

Na Tabela 20, é apresentado o teste F de Gollob para determinar o número de componentes adequado para explicar a SQ_{GxE} . O modelo AMMI com dois componentes explica 71,41% da soma de quadrados da interação entre genótipos e ambientes como resposta padrão.

TABELA 20. Teste F de Gollob para a variável FRP_{AACPD} para determinar o número de termos significativos para a interação G x E.

Autovalor (λ_k^2)	Proporção explicada	Proporção Acumulada	GL	QM	F	Valor-p
3658,705	46,540	46,540	24	152,446	5,607	0
1954,982	24,868	71,409	22	88,862	3,268	0
1146,860	14,588	85,998	20	57,343	2,109	0,004
600,268	7,635	93,639	18	33,348	1,226	0,238

270,233	3,437	97,071	16	16,889	0,621	0,866
158,726	2,019	99,090	14	11,337	0,417	0,968
71,497	0,909	100	12	5,958	0,219	0,997

Pelo biplot (Figura 4), referente à variável FRP_{AACPD} , nota-se que as linhagens que menos contribuíram para a interação foram as G13, G3, G5, G7, G1, G6 e G8, ou seja, são as mais estáveis. Entretanto, conforme Correia (2007), para fins de recomendação, deve-se considerar também a média de produtividade do genótipo, pois nem sempre o genótipo mais estável será o que apresenta maiores médias de produtividade. Neste caso específico, nem sempre o genótipo mais estável será o que apresenta maior nível de resistência à ferrugem. Entre as linhagens, destacaram-se a UFU 0013 e UFU 006 que tiveram a primeira e a terceira maior média, respectivamente, em termos do nível de resistência de “AACPD” (Tabela 21).

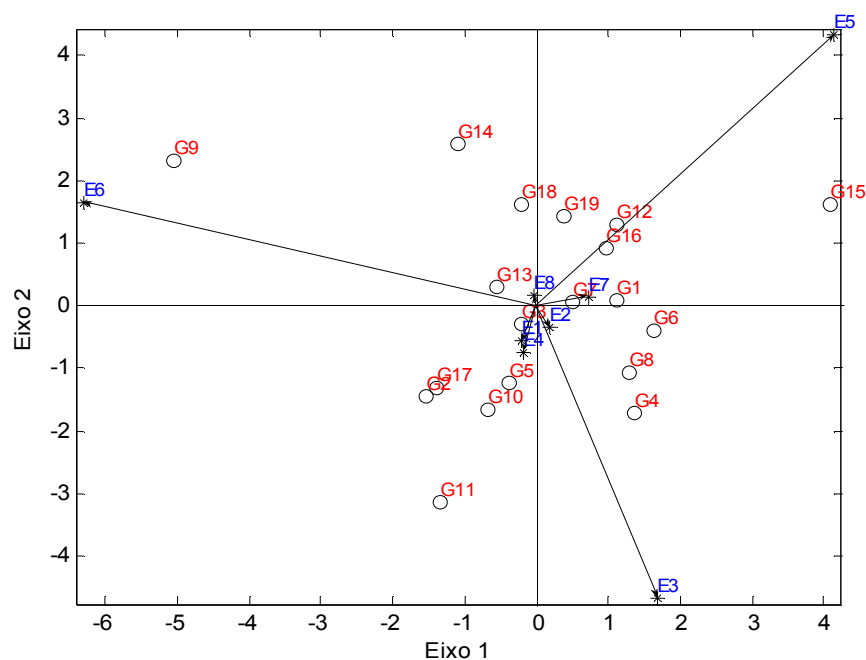


FIGURA 4 – Biplot para os dados referente à FRP_{AACPD} , com 19 linhagens e 8 ambientes.

Tabela 21. Médias das linhagens, ambientes e posição das médias em relação ao nível de resistência para a FRP_{AACPD} .

Linhagem	Média	Posição	Ambiente	Média	Posição
G1 (UFU-001)	81,12	4	E1 - Uberlândia 07/08	81,13	6

G2 (UFU-002)	81,12	5	E2 - Uberaba 07/08	95,80	1
G3 (UFU-003)	78,46	9	E3 - Campo Alegre 07/08	82,23	5
G4 (UFU-004)	77,11	14	E4 - Senador Canedo 07/08	93,85	2
G5 (UFU-005)	78,87	7	E5 - Uberlândia 08/09	54,31	7
G6 (UFU -006)	81,16	3	E6 - Uberaba 08/09	36,26	8
G7 (UFU-007)	79,63	6	E7 - Campo Alegre 08/09	86,66	4
G8 (UFU-008)	74,63	17	E8 - Senador Canedo 08/09	93,85	3
G9 (UFU-009)	81,25	2			
G10 (UFU-0010)	77,87	11			
G11 (UFU-0011)	73,12	18			
G12 (UFU-0012)	77,24	13			
G13 (UFU-0013)	82,51	1			
G14 (UFU-0014)	75,45	16			
G15 (M-Soy 6101)	77,43	12			
G16 (Emgopa 316)	75,93	15			
G17 (Conquista)	78,21	10			
G18 (M-soy 8008)	72,35	19			
G19 (M-Soy 8000)	78,80	8			

A análise visual do gráfico biplot permite avaliar que as linhagens apresentaram distribuição heterogênea e que existem pontos de maior proximidade com a origem, possibilitando a recomendação das linhagens conforme sua adaptabilidade a um conjunto de ambientes (Figura 4). Assim, G9 adaptou-se especificamente ao ambiente E6 (Uberaba 08/09), G15 adaptou-se ao ambiente E5 (Uberlândia 08/09) e G4 ao ambientes E3 (Campo Alegre 07/08). Os demais ambientes (E1 - Uberlândia 07/08; E2 - Uberaba 07/08; E4 - Senador Canedo 07/08; E7 - Campo Alegre 08/09 e E8 - Senador Canedo 08/09) contribuíram pouco para a interação e foram considerados estáveis.

A adaptabilidade específica da linhagem UFU 009 em Uberaba e na safra 08/09, ambiente com alta pressão de doença, mostra-se como uma interação positiva, uma vez que a linhagem apresentou a segunda maior média de FRP_{AACPD} . Logo, pode-se dizer que as linhagens UFU 006 e 0013 são de adaptabilidade geral e a UFU 009 de adaptabilidade específica, porém todas com altas médias de FRP_{AACPD} .

3.7 - Considerações finais

Para caracterizar cada linhagem quanto à expressão da resistência horizontal, fez-se uma analogia entre as médias das variáveis r e AACPD, as médias de produção das linhagens e os parâmetros de adaptabilidade e de estabilidade estimados pelas metodologias de Eberhart e Russell, Annicchiarico e AMMI (Tabela 22).

TABELA 22. Expressão da resistência à ferrugem com base nas variáveis, r e AACPD, de acordo as médias de r e AACPD, médias de produção, metodologia de Eberhart e Russell, Annicchiarico e AMMI.

	Expressão da Resistência à Ferrugem					
	Médias r	Médias AACPD	Médias Produção	Método Eberhart e Russell	Método de Annicchiarico	AMMI
UFU-001	+	+	-	+	+	-
UFU-002	-	-	-	+	-	-
UFU-003	+	-	-	+	-	-
UFU-004	-	-	-	-	-	-

UFU-005	+	-	-	-	-	-
UFU -006	+	+	+	+	+	+
UFU-007	+	+	-	+	+	+
UFU-008	-	-	-	-	-	-
UFU-009	+	+	+	+	+	+
UFU-0010	-	-	-	+	-	-
UFU-0011	-	-	-	-	-	-
UFU-0012	+	+	-	-	-	-
UFU-0013	+	+	-	+	+	+
UFU-0014	-	-	-	-	-	-
M-Soy 6101	+	+	-	-	-	-
Emgopa 316	+	+	-	-	-	-
MGBR-46	-	-	+	-	-	-
M-soy 8008	-	+	-	-	-	-
M-Soy 8000	+	+	-	+	-	-

+, -: expressão da resistência e não expressão da resistência, respectivamente.

As linhagens que se mostraram mais resistentes à ferrugem nos quatros locais e nos dois anos estudados, em geral, também foram as de melhor adaptabilidade e estabilidade, tanto para redução da taxa de progresso absoluta média da doença (“r”), quanto para redução da área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD), com destaque para: UFU 001, 006, 007, 009 e 0013. Ressalta-se que, em outros ambientes, o comportamento desses genótipos em relação á ferrugem pode ser diferente.

As linhagens UFU 004, 008, 0011 e 0014 mostraram-se mais suscetíveis e com pior previsibilidade de comportamento.

O maior índice pluviométrico, na safra 2008/9, no município de Uberaba favoreceu a evolução da curva de progresso da ferrugem, permitindo a expressão da RH e o destaque de linhagens, como a UFU 009.

A probabilidade de obtenção de linhagens superiores é função da freqüência alélica da população, significando que melhores linhagens são mais facilmente obtidas em populações básicas formadas através da recombinação de cultivares elites. De fato, as linhagens mais resistentes e adaptadas tiveram origem a partir de cruzamentos envolvendo parentais adaptados.

O método de Eberhart e Russel (1966), baseado na regressão linear, é indicado quando o objetivo é avaliar a adaptabilidade e a estabilidade e, simultaneamente, obter

informações adicionais sobre recomendações de genótipos para determinados ambientes.

O emprego do método de Annicchiarico, em combinação com o de Eberhart; Russell, para análise de adaptabilidade e estabilidade fenotípica em soja, pode agregar informação à análise de estabilidade para resistência à ferrugem da soja.

A análise AMMI permitiu explorar os efeitos positivos da interação GxE, sendo que genótipos de alta interação podem ter sua adaptação específica visualizada no gráfico. As adaptações específicas podem permitir ao melhorista um melhor aproveitamento de seus materiais de estudo, tanto na seleção, como na recomendação de cultivares. Tal fato foi observado para a linhagem UFU 009, que se adaptou especificamente ao ambiente E6 (Uberaba 08/09), apresentando altas médias do FRP em local com elevada pressão de doença.

A detecção de genótipos estáveis também é um fator de extrema importância na prática de um melhorista, e a análise AMMI pode ser uma ferramenta estatística auxiliadora nos programas de melhoramento e interpretações de seus resultados dos ensaios. Assim, destacaram-se as linhagens UFU 006 e 0013 como as mais estáveis e com altas médias de FRP_r e FRP_{AACPD} .

Foi considerado que a coerência na indicação das linhagens como de adaptabilidade geral, para ambientes favoráveis e para ambientes desfavoráveis, conjuntamente pelas metodologias utilizadas, é mais confiável do que apenas por uma metodologia isoladamente.

Com base nos resultados obtidos no presente estudo, verificou-se que as condições ambientais possibilitaram diferenciar a capacidade de adaptação e de estabilidade das linhagens de soja.

4 – CONCLUSÕES

Os métodos empregados permitiram identificar as linhagens mais estáveis e responsivas.

As linhagens que mostraram maior resistência parcial à ferrugem foram UFU 001 ((Liderança x UFV 16) x (UFU18 x Br 95015308)), 006 (Canário x MGBR-46 Conquista), 007(RC1 PI 416937 x IAC 8.2), 009 (RC2 (IAC 100 x Emgopa 302)) e 0013 ((FT 45.302 x Liderança) x (FT 4.2988 x MGBR-46 Conquista)).

A linhagem UFU 009 apresentou adaptação específica, podendo ser indicada para ambientes com alta pressão de doença.

REFERÊNCIAS

ANNICCHIARICO, P. Cultivar adaptation and recommendation from alfalfa trials in Northern Italy. **Journal of Genetics and Plant Breeding**, Rome, v. 46, p. 269-278, Set.1992.

_____. **Genotype x Environment Interactions - Challenges and Opportunities for Plant Breeding and Cultivar Recommendations**. Rome: FAO Corporate Document Repository, 2002. 126 p.

ARAÚJO, L. B. **Seleção e análise de modelos PARAFAC e Tucker e gráfico triplot com aplicação em interação tripla**. 2009. 111f. Tese (Doutorado em Estatística e Experimentação Agronômica) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009.

BALARDIN, R. S.; NAVARINI, L.; DALLAGNOLL, L. J. Epidemiologia da ferrugem da soja. In: JULIATTI, F.C., POLIZEL, A.C., HAMAWAKI, O.T. (Org.) In: **WORKSHOP BRASILEIRO SOBRE A FERRUGEM ASIÁTICA, 1.**, 2005, Uberlândia. Coletânea. Uberlândia: EDUFU, 2005. p. 39-50.

BRITO, A. H. **Controle genético e químico de doenças foliares e grãos ardidos em milho**. 2010. 88 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2010.

CARNEIRO, L. C. **Caracterização epidemiológica da resistência parcial e análise da tolerância de genótipos de soja à ferrugem asiática**. 2007. 75 p. Tese (Doutorado em Fitopatologia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.

CARPENTIERI-PÍPOLO, V.; GASTALDI, L. F.; PÍPOLO, A. E. Correlações fenotípicas entre caracteres quantitativos em soja. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 26, n. 1, p. 11-16, jan./mar. 2005.

CARVALHO, C. G. P.; et al. Interação genótipo x ambiente no desempenho produtivo da soja no Paraná. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 7, p. 989-1000, jul. 2002.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento – Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. **Nono levantamento de avaliação da safra 2009/2010 - Abril - 2007**. Disponível em: <www.conab.gov.br/conabweb/download/safra/7levsafra.pdf> Acesso em: 24 de ago. de 2010.

CORREIA, W. R. **Adaptabilidade e estabilidade de genótipos de soja em Minas Gerais**. 2007. 25 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia). Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2007.

CRUVINEL, A. R.; et al. Utilização da área abaixo da curva de progresso da doença relativa para estudos epidemiológicos da ferrugem asiática da soja. In: REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO CENTRAL DO BRASIL, 26., 2004, Ribeirão Preto. **Anais...** Londrina: Embrapa Soja, 2004. p.186.

CRUZ, C. D. **Programa GENES** - Aplicativo computacional em genética e estatística. Versão Windows 2007.0.0. 2007.

_____.; CASTOLDI, F. Decomposição da interação genótipos x ambientes em partes simples e complexa. **Revista Ceres**, São Paulo, v.38, p.422-430, 1991.

_____.; CARNEIRO, P.C.S. Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético. 2. ed. Viçosa: Editora UFV, 2006. v. 2, 585 p.

_____.; REGAZZI, A. J.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos Biométricos aplicados ao Melhoramento Genético**. 3. ed. Viçosa: UFV, 2004. v.1. 480 p.

DALLAGNOL, L. J.; BALARDIN, R. S.; UGALDE, M.G. Reação de cultivares de soja a ferrugem da soja (*Phakopsora pachyrhizi*). In: JORNADA ACADÊMICA INTEGRADA, 19., 2004, Santa Maria. **Anais...** Santa Maria: UFSM, 2004. (CD Rom).

DEL PONTE, E. M.; GODOY, C.V.; LI, X; YANG, X. B. Predicting severity of Asian soybean rust epidemics with empirical rainfall models. **Phytopathology**, St Paul, v.96, p.797-803, 2006.

DUARTE, J. B.; VENCOSKY, R. **Interação genótipos x ambientes**: uma introdução à análise AMMI. Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Genética, 1999. 60 p.

DUARTE, J.B. **Estudo da adaptabilidade e estabilidade genotípica em linhagens e cultivares de feijão mulatinho (*Phaseolus vulgaris* L.)**. 1988. 155f. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento) - Universidade Federal de Goiás. Goiânia, 1988.

EBERHART, S. A.; RUSSELL, W. A. Stability parameters for comparing varieties. **Crop Science**, Madison, v. 6, n. 3, p. 36-40, May/June. 1966.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Tecnologias de Produção de Soja - Região Central do Brasil - 2007**. Londrina: Embrapa Soja; Embrapa Cerrados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2006. 255 p. (Sistemas de Produção 11)

FEHR, W. P.; CAVINESS, C. E. **Stages of soybean development**. Agriculture and Home Economics Experiment Station and Cooperative Extension Service. Ames: Iowa State University, 1977. 11p. (Special Report 80)

FRY, W.E. Integrated control of potatoes late blight: effects of polygenic resistance and techniques of timing fungicide application. **Phytopathology**, St Paul, v. 68, p.1650-1655. 1977.

FURTADO, G. Q.; et al. Influência do estágio fenológico e da idade dos trifólios de soja na infecção de *Phakopsora pachyrhizi*. **Tropical Plant Pathology**, Lavras, v. 34, n. 2, 118-122, 2009.

GABRIEL, K. R. The biplot graphic of matrices with application to principal component analysis. **Biometrika**, London, v. 58, n. 3, p. 453-467, 1971.

GODOY, C.V.; et al. Eficiência do controle da ferrugem asiática da soja em função do momento de aplicação sob condições de epidemia em Londrina, PR. **Tropical Plant Pathology**, Lavras, v. 34, n.1, 56-61, 2009.

GOLLOB, H. F. A statistical model which combines features of factor analytic and analysis of variance techniques. **Psychometrika**, Toronto, v. 33, n. 1, p. 73-145, Jan. 1968.

JULIATTI, F. C., POLIZEL, A. C.; JULIATTI, F. C. 2004. **Manejo integrado de doenças da soja**. Uberlândia: Composer, 327p.

_____.; POLIZEL, A. C.; JULIATTI, F. C.; MOURA, E. A.; AZEVEDO, L. A. Uso da resistência parcial e efeito preventivo e curativo de fungicidas no controle da ferrugem asiática. In: Juliatti, F. C.; Polizel, A. C.; Hamawaki, O. T. (Org.). In: **Workshop Brasileiro Sobre a Ferrugem Asiática**, 1., 2005, Uberlândia. Coletânea. Uberlândia: EDUFU, 2005a. p. 115-133.

_____.; et al. Ferrugem da soja – Epidemiologia e manejo para uma doença reemergente. In: Luz, W.C.; Fernandes, J. M. C.; Prestes, A. M.; Picinini, E. C. **Revisão Anual de Patologia de Plantas**. Passo Fundo, v.13, p.351-395. 2005b.

_____.; et al. Eficiência dos fungicidas aprovados na RPSRCB no controle da ferrugem asiática da soja, em Uberaba –MG. Universidade Federal de Uberlândia, p.79-91. In: **Documentos...Embrapa-Soja**, Resultados dos ensaios cooperativos para o

controle da ferrugem asiática da soja, safra 2008-9. ISSN 2176-2937, versão eletrônica, Nov. 2009, (documento n. 317).

KEMPTON, R. A. The use of biplots in interpreting variety by environment interactions. **Journal of Agricultural Science**, Cambridge, Inglaterra, v. 103, p. 123-135, 1984.

LYNCH, M. C.; WALSH, B. **Genetics and analysis of quantitative traits**. Sunderland: Sinauer, 1998. 980p.

MACHADO, J. R. A.; et al. Adaptabilidade e estabilidade de genótipos de algodoeiro para características tecnológicas de fibra. **Revista Brasileira de Oleaginosas Fibrosas**, Campina Grande, v.7, p.673-683, 2003.

MAIA, M. C. C.; et al. AMMI bootstrap no estudo da interação genótipos por ambientes em soja. **Revista de Matemática e Estatística**, São Paulo, v. 24, p. 7-24, 2006.

MANDEL, J. **A new analysis of variance model for non-additive data**. Technometrics, Alexandria, v. 13, p. 1-18, 1971.

MELCHING, J.S., BROMFIELD, K.R. & KINGSOLVER, C.H. Infection, colonization and uredospore production on Wayne soybean by four cultures of *Phakopsora pachyrhizi*, the cause of soybean rust. **Phytopathology**, St Paul, v. 69, p.1262-1265. 1979.

MILES, M. R.; et al. International fungicide efficacy trials for the management of soybean rust. **Plant Disease**, Sain Paul, v. 91, p.1450-8. 2007.

MIRANDA, F. T. S. de. **Métodos de regressão e uni-multivariado para a redução do número de repetições em experimentos intermediários de um programa de melhoramento de soja**. 2004. 110f. Tese (Doutorado) Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo. Piracicaba, 2004.

MORAIS, L. K. **Adaptabilidade e estabilidade fenotípica em soja nos Estados de Mato Grosso e Mato Grosso do Sul**. 2005. 115 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos – UFG, Goiânia, 2005.

PIMENTEL GOMES, F. **Curso de estatística experimental**. 12. ed. São Paulo: Nobel, 1990. 467p.

REZENDE, D. F. **Performance e divergência genética em genótipos de soja de ciclo de maturação semiprecoce e médio/tardio em diferentes estados do Brasil**. 2009. 147 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia)-Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2009.

SANTOS, J. A.; et al. Caracteres epidemiológicos e uso da análise de agrupamento para resistência parcial à ferrugem da soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, p. 443-447. 2007.

SEDIYAMA, T.; et al. **Cultura da Soja**, Parte I. Viçosa: UFV, 1993. 97p.

SHANER, G.; FINNEY, R..F. The effects of nitrogen fertilization on the expression of slow-mildewing in know wheat. **Phytopathology**, St. Paul, v.70, p. 1183-86, 1977.

SILVA, V. A. S.; JULIATTI, F. C.; SILVA, L. A. S. Interação entre resistência genética parcial e fungicidas no controle da ferrugem asiática da soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, n. 9, p. 1261-8. 2007.

SOARES, R. M.; et al. Fungicidas no controle da ferrugem asiática (*Phakopsora pachyrhizi*) e a produtividade da soja. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 4, p. 1245-7. 2004.

STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM INSTITUTE. **SAS/STAT software: changes and enhancements through release**. v. 8, n. 02. Cary: SAS, 1999. 3 CD-ROM.

TANCREDI, F. D. **Genótipos de soja e ferrugem asiática (*Phakopsora pachyrhizi*): correlações, reação, adaptabilidade e estabilidade**. 2008. 171 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2008.

VENCOVSKY, R.; TORRES, R. A. A. Estabilidade geográfica e temporal de algumas cultivares de milho. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 16., Belo Horizonte, 1988. **Anais...** Belo Horizonte: EMBRAPA, CNPMS, 1988. p.294- 300.

XIE, C.; MOSJIDIS, J.A. Selection of stable cultivars using phenotypic variances. **Crop Science**, Madison, v.36, p.572-576, 1996.

ZOBEL, R. W.; WRIGHT, M. J.; GAUCH, H. G. Statistical analysis of a yield trial. **Agronomy Journal**, Madison, v. 80, p. 388-393, 1988.

CAPÍTULO 4

ADAPTABILIDADE E ESTABILIDADE DE LINHAGENS DE SOJA DE CICLO MÉDIO/TARDIO QUANTO À FERRUGEM.

RESUMO

MARTINS, JULIANA ARAÚJO SANTOS. **Adaptabilidade e estabilidade de linhagens de soja de ciclo médio/tardio quanto à ferrugem.** 2011. 49f. Tese (Doutorado em Agronomia/Fitotecnia) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia.¹

Esse trabalho foi realizado visando avaliar a adaptabilidade e estabilidade fenotípica de linhagens de soja de ciclo de maturação médio/tardio quanto à resistência parcial à ferrugem asiática. As linhagens foram avaliadas nos municípios de Uberlândia, MG, Uberaba, MG, Campo Alegre de Goiás, GO e Senador Canedo, GO, nas safras 2007/08 e 2008/09, utilizando-se o delineamento experimental de blocos casualizados com três repetições. A severidade da ferrugem asiática foi obtida pela estimativa visual dos folíolos. Com os dados de severidade foi estimada a taxa de progresso absoluta média da doença ($\bar{r}$), área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD) e também o fator de resistência parcial (FRP). Realizou-se análise de adaptabilidade e estabilidade das linhagens, pelo índice de confiança proposto por Annicchiarico, Eberhart e Russel e o método multivariado AMMI. As linhagens que apresentaram maior adaptabilidade e estabilidade de resistência à ferrugem foram: UFU 106 ((DM Vitória x FT 104) x (FT 107 x Liderança)), UFU 110 ((IAS 5 x Br 4) x UFV 16)) e UFU 114 (FT 50268M x UFV 18). As metodologias de adaptabilidade e estabilidade fenotípica estudadas foram concordantes e complementares quanto aos resultados apresentados. O maior tempo de exposição das linhagens de ciclo médio/tardio ao inóculo em campo pode dificultar a expressão da resistência parcial das linhagens.

Palavras-chave: *Phakopsora pachyrhizi*, taxa de progresso absoluta média da doença, fator de resistência parcial.

¹Orientador: Fernando Cézar Juliatti – UFU.

ABSTRACT

MARTINS, JULIANA ARAÚJO SANTOS. **Adaptability and stability of soybean advanced lines of medium/late cycle for rust resistance**. 2011. 49f. Thesis (Doctoral Program Agronomy/Crop Science) - Federal University of Uberlândia, Uberlândia.¹

This study was conducted in order to evaluate the phenotypic adaptability and stability of medium/late soybean strains to rust partial resistance. The inbred lines were evaluated at the locations of Uberlândia and Uberaba, MG, Campo Alegre de Goiás and Senador Canedo, Goiás, in 2007/08 and 2008/09, utilizing a randomized complete block design with three replications. Rust severity was obtained by visual assessment of the leaflets and was estimated through: the mean absolute rate of progress of the disease (r), the area under the disease progress curve (AUDPC) and the partial resistance factor (PRF). Adaptability and stability of the strains were estimated by the methods proposed by Annicchiarico, Eberhart and Russell, as well as by the AMMI method. The lines that showed the greatest adaptability and resistance to rust were: UFU 106 ((DM Vitória x FT 104) x (FT 107 x Liderança)), UFU 110 ((IAS 5 x Br 4) x UFV 16)) and UFU 114 (FT 50268M x UFV 18). The methods of phenotypic adaptability and stability used were consistent and complementary. The longer exposure of the lines of medium maturity to the inoculum in the field may hinder the expression of partial resistance of the strains.

Keywords: *Phakopsora pachyrhizi*, mean absolute rate of progress of the disease, partial resistance factor.

¹Major Adviser: Prof. Fernando César Juliatti – UFU.

1 – INTRODUÇÃO

A cultura da soja (*Glycine max* (L.) Merrill) representa um dos produtos mais importantes do agronegócio brasileiro. Segundo a Abiove (Associação Brasileira das Indústrias de Óleos Vegetais) (2010), o Brasil exportou 28,5 milhões de toneladas na safra 2009/2010, e a previsão é que seja exportado um recorde de 29,5 milhões de toneladas de soja na safra 2010/2011.

A ferrugem asiática da soja possui alto potencial de dano à cultura, pois pode causar rápido amarelecimento e queda prematura das folhas, prejudicando a plena formação dos grãos. Quanto mais cedo ocorrer a desfolha, menor será o tamanho do grão e, conseqüentemente, maior a perda de rendimento e de qualidade (YANG et al., 1991).

A expressão da ferrugem na cultura da soja tem sido influenciada por limitações na aplicação adequada de agrotóxicos, manejo cultural voltado primordialmente para a produtividade, dificuldades econômicas na manutenção de uma correta adubação,

redução de ciclo e antecipação da semeadura aliado a redução significativa na rusticidade dos cultivares modernos altamente produtivos (BALARDIN et al., 2010).

Devido às grandes perdas na produtividade causadas por essa doença e ao aumento do custo de produção para o seu controle, grandes esforços têm sido empreendidos pela pesquisa para a obtenção de cultivares resistentes à *P. pachyrhizi*. No entanto, devido ao patógeno apresentar alta variabilidade, a obtenção dos mesmos tem sido difícil (OLIVEIRA et al., 2005).

O manejo integrado das doenças, que associa resistência genética ao controle químico menos agressivo e outras práticas culturais, tem sido parte de um discurso muito bem aceito por todos os segmentos das cadeias produtivas de alimentos. As vantagens de se oferecer uma cultivar resistente incluem, entre outras: ausência de custo extra no preço da semente, tecnologia ambientalmente saudável e redução de custos de produtos e de aplicações (JULIATTI et al., 2010).

Portanto, devido ao grande aumento dos prejuízos causados pela ferrugem asiática, tornou-se urgente o melhoramento genético para a obtenção de novos cultivares resistentes e com alta produtividade de grãos.

Atualmente, a avaliação dos genótipos quanto à ferrugem asiática é condição indispensável em programas de melhoramento genético de soja. O uso de germoplasmas resistentes é um importante passo para manutenção de genótipos com alta produtividade, redução do número de aplicações de fungicidas e melhores receitas ao produtor e sustentabilidade do agronegócio.

Desse modo, esse trabalho foi realizado visando avaliar a adaptabilidade e estabilidade fenotípica de linhagens de soja de ciclo de maturação médio/tardio, utilizando a severidade da ferrugem asiática para seleção, nas safras 2007/08 e 2008/09.

2 - MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos foram instalados nos anos agrícolas 2007/08 e 2008/09, nos municípios de Uberlândia e Uberaba no Estado de Minas Gerais e em Goiás, em Campo Alegre de Goiás e Senador Canedo. Os experimentos fizeram parte dos ensaios de Valor de Cultivo e Uso (VCU) do Programa de Melhoramento de soja da Universidade Federal de Uberlândia.

A caracterização dos ambientes testados nas safras agrícolas 2007/08 e 2008/2009 e os dados referentes à temperatura e precipitação pluviométrica média mensal, no período de novembro de 2007 a abril de 2008 e novembro de 2008 a abril de 2009, encontram-se na Tabela 1A, Figuras 2A e 3A, respectivamente.

2.1 - Instalação e condução dos ensaios

O preparo do solo foi similar para todos os ensaios, sendo a dessecação prévia feita de 7 a 12 dias antes da semeadura, de acordo com o grau de infestação e massa vegetativa, utilizando o herbicida Glyphosate, na dosagem de 1,5 a 2,0 kg.ha⁻¹.

Foram avaliadas 14 linhagens experimentais de soja de ciclo de maturação médio/tardio (LMP) com quatro testemunhas (Tabela 1). O material pertence ao Programa de Melhoramento Genético de soja da Universidade Federal de Uberlândia/UFU.

Estas linhagens receberam a sigla UFU e foram provenientes do método descendência de uma única vagem (SPD), ou seja, a partir da geração F2 até a geração F6 adotou-se o procedimento de retirada de uma vagem por planta e, posteriormente, a semeadura de 3 a 5 fileiras de 5,0 metros cada, contendo de 12 a 15 sementes por metro linear. As linhagens foram obtidas a partir de cruzamentos simples, duplos e retrocruzamentos com materiais RC1 x F1.

TABELA 1. Linhagens e cultivares avaliados de ciclo de maturação médio/tardio, com respectivas genealogias das linhagens, Uberlândia, 2010.

Genótipo (L)	Genealogia	Origem
UFU-101	DM 101 x Liderança	UFU
UFU-102	RC1 (PI 416937 x IAC 8.2)	UFU
UFU-103	(8411 x UFV 18) x (8400 x MGBR-46 Conquista)	UFU
UFU-104	DM 8800 x Tucano	UFU
UFU-105	Cristalina x MGBR-46 Conquista	UFU
UFU -106	(DM Vitória x FT 104) x (FT 107 x Liderança)	UFU
UFU-107	(IAC 8.2 x IAC 100)	UFU
UFU-108	RC3 (X27) x (FT 8015)	UFU
UFU-109	DM 97101 x Nobre	UFU
UFU-110	(IAS 5 x Br 4) x UFV 16	UFU
UFU-111	(Emg. 315 x FT 8015)	UFU
UFU-112	(DM Rainha x DM 118)	UFU
UFU-113	(9001 x MG/Br 9518863)	UFU
UFU-114	(FT 50268M x UFV 18)	UFU
GARANTIA	-	EMBRAPA
CHAPADÕES	-	CTPA
LUZIÂNIA	-	CTPA
M-SOY 8914	-	MONSOY

A adubação foi feita de acordo com a análise de solo de cada local e as recomendações para a cultura da soja, utilizando-se a formulação 2-28-20.

A inoculação das sementes foi realizada usando-se inoculante comercial contendo cepas de *Bradyrhizobium japonicum* diluído em água (800g 20L⁻¹), através de pulverização costal. O tratamento de semente foi feito via semente com inseticida Thiametoxan (300 ml 100 kg⁻¹ sementes) e fungicida Fludioxonil (100 ml 100 kg⁻¹ sementes).

As semeaduras foram realizadas manualmente na 1ª quinzena de novembro. Foi realizado um desbaste para adequação do estande desejado quando as plântulas apresentaram a primeira folha trifoliolada completamente desenvolvida, correspondendo ao estágio de desenvolvimento V2, segundo a escala de Fehr e Caviness (1977).

Durante a condução do experimento, foram promovidos o controle químico das pragas e o manual das plantas daninhas, na medida em que se fizeram necessários.

O controle da ferrugem asiática foi feito utilizando os fungicidas do grupo químico das estrobilurinas (azoxistrobina) – 300 mL do produto comercial por hectare, para um volume de calda de 200 L, na primeira aplicação. Na segunda aplicação, utilizou-se da mistura de triazol e estrobilurina (piraclostrobina + epoxiconazole), na dose de 500 mL por hectare, no mesmo volume de 200 L de calda. As aplicações foram realizadas nos estádios R₁ e R₅, para se avaliar o grau de confiabilidade da resistência parcial.

O delineamento experimental adotado foi o de blocos casualizados com três repetições. Cada parcela foi constituída de 4 linhas de soja com 5 m de comprimento, espaçadas de 0,50 metros entre si. A área útil para a coleta de dados compreendeu as duas fileiras centrais da parcela, eliminando-se 0,5 m de cada extremidade (4,0 m²).

2.2 - Características Avaliadas

2.2.1 – Severidade da ferrugem asiática:

A severidade da ferrugem asiática foi obtida pela estimativa visual dos folíolos do terço médio de 5 plantas em cada parcela, em todos os ambientes e nas duas safras. A amostragem consistiu na retirada de 1 trifólio/planta. Para determinação da porcentagem de severidade da doença, foi utilizada a escala diagramática proposta por

Juliatti et al., (2009) (Figura 1A). As avaliações de severidade da ferrugem foram realizadas aos 40, 60, 80 e 100 dias após a semeadura.

2.2.2 - Taxa de progresso absoluta média da doença (r):

Com os dados de severidade (porcentagem de área foliar infectada), foi estimada a taxa de progresso absoluta média da doença (r), conforme Silva; Juliatti; Silva, (2007). Quanto maior o valor de r, maior a susceptibilidade da cultivar à doença. A taxa de progresso representa a quantidade média diária de aumento na severidade da doença:

$$r = x/t$$

r : taxa de progresso absoluta média da doença;

t : número de dias após a emergência (dias);

x : severidade da doença na última avaliação (%);

2.2.3 - Área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD):

A área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD) foi usada para descrever a epidemia. Neste caso, baseando-se nas avaliações de severidade, pode-se estabelecer uma curva da doença quantificada “*versus*” tempo. Segundo Shaner; Finney, (1977), a área abaixo da curva de progressão de doença pode ser calculada pela fórmula:

$$AACPD = \sum_{i=1}^{n-1} [(Y_i + Y_{i+1})/2 \times (T_{i+1} - T_i)] \text{ onde:}$$

Y_i : severidade da doença na i-ésima observação;

Y_{i+1} : severidade da doença na época da avaliação i+1;

T_i : época da avaliação i, que geralmente se considera o número de dias após a semeadura;

T_{i+1} : época da avaliação i + 1;

n : número total de observações.

A AACPD foi padronizada dividindo-se o valor da área abaixo da curva de progresso pelo tempo ($T_n - T_1$) da epidemia (FRY, 1977). Todo o procedimento para

obtenção da AACPD foi realizado através do programa AVACPD, da Universidade Federal de Viçosa.

2.2.4 - Fator de Resistência Parcial para a taxa de progresso absoluta média da doença (FRP_r) e para a AACPD (FRP_{AACPD}):

Foram calculados também o Fator de Resistência Parcial para a taxa de progresso absoluta média da doença (FRP_r) e para a AACPD (FRP_{AACPD}). Este fator representa a porcentagem de resistência da linhagem em relação ao material mais susceptível, de acordo com cada variável. Neste caso, quanto maior o valor de r ou da AACPD, menor o Fator de Resistência, conforme as fórmulas:

$$c) \text{ FRP}_r = (1 - \frac{r_{ijk}}{Y_{ijk}}) * 100$$

em que:

FRP_r : Fator de Resistência Parcial para a taxa de progresso absoluta média da doença (r);

r_{ijk} : taxa de progresso absoluta média da doença do i-ésimo genótipo, j-ésimo ano e o k-ésimo local;

y_{ijk} : maior valor da taxa de progresso absoluta média da doença do i-ésimo genótipo, j-ésimo ano e o k-ésimo local (r_{ijk});

$$d) \text{ FRP}_{\text{AACPD}} = (1 - \frac{\text{AACPD}_{ijk}}{Z_{ijk}}) * 100$$

em que:

FRP_{AACPD} : Fator de Resistência Parcial para a AACPD;

AACPD_{ijk} : Área Abaixo da Curva de Progresso da Doença do i-ésimo genótipo, j-ésimo ano e o k-ésimo local;

Z_{ijk} : maior valor da AACPD do i-ésimo genótipo, j-ésimo ano e o k-ésimo local (Z_{ijk});

2.2.5 – Produtividade

A produtividade de grãos (PG), em kg.ha⁻¹, foi avaliada em Uberaba, Campo Alegre e Senador Canedo na safra 2007/08, e em Uberaba na safra 2008/09. Foi feita através da colheita da área útil, trilha das plantas de cada parcela e pesagem dos grãos. Os dados (gramas por parcela) foram transformados para kg.ha⁻¹, sendo esta produtividade corrigida para teor de umidade de 13%, conforme a fórmula:

$$PF = \frac{PI \times (100 - UI)}{100 - UF};$$

Em que:

PF: peso final da amostra (peso corrigido);

PI: peso inicial da amostra;

UI: umidade inicial da amostra;

UF: umidade final da amostra (13%).

2.3 - Análises Estatísticas

2.3.1 – Análises de Variância

As análises genético-estatísticas foram realizadas pelo pacote computacional GENES (CRUZ, 2007) e SAS (Statistical Analysis System) (SAS INSTITUTE INC., 1996).

Para a realização da análise conjunta de experimentos, é pressuposta a homogeneidade dos quadrados médios residuais relativos a todos os experimentos envolvidos na análise. Segundo Pimentel-Gomes (1990), se a relação entre o maior e o menor quadrado médio residual for menor do que sete, a análise conjunta poderá ser efetuada sem ajuste dos graus de liberdade. Nos casos em que a razão foi maior que 7, foi feita a transformação dos dados. Para a taxa de progresso absoluta média da doença (r), foi utilizada a transformação $\arccos \sqrt{x}$; para a AACPD: $\sqrt{x + 0,5}$; e para FRP_r e FRP_{AACPD} : $\arccos \sqrt{x/100}$.

Na análise de variância, foi utilizado o teste de F. Com o objetivo de verificar se existe a interação entre genótipos e ambientes, realizou-se uma análise de variância conjunta que envolveu o estudo de todos os genótipos em todos os ambientes. De acordo com o descrito por Annichiarico (2002), pode-se assumir que o efeito de genótipos seja fixo e o efeito dos ambientes como aleatório, obtendo o efeito genótipos x ambientes aleatório. Os dados serão representados pelo seguinte modelo matemático:

$$Y_{ijk} = \mu + G_i + A_j + GA_{ij} + B/A_{jk} + e_{ijk};$$

Em que:

Y_{ijk} : valor observado para a característica obtida no k-ésimo bloco, avaliada dentro do j-ésimo local para i-ésimo genótipo;

μ : média geral do caráter;

G_i : efeito da i-ésimo genótipo, sendo $i = 1, 2, \dots, 19/18$, considerado fixo;

A_j : efeito do j-ésimo local, sendo $j = 1, 2, 3$, considerado aleatório;

GA_{ij} : efeito da interação entre a i-ésimo genótipo e o j-ésimo local;

B/A_{jk} : efeito do k-ésimo bloco dentro do j-ésimo local;

e_{ijk} : efeito do erro experimental associado à observação de ordem ijk .

Em seguida, realizou-se a análise conjunta, sendo uma análise em um esquema fatorial triplo, envolvendo os locais em ambas as safras, 2007/2008 e 2008/2009, utilizando-se o seguinte modelo estatístico:

$$Y_{ijk} = \mu + G_i + A_j + L_k + GA_{ij} + GL_{ik} + AL_{jk} + GAL_{ijk} + (B/L)A_{jkm} + e_{ijk}$$

Em que:

Y_{ijk} : é a observação do i-ésimo genótipo no bloco j e na repetição k;

μ : é a da média geral do caráter;

G_i : efeito da i-ésimo genótipo, sendo $i = 1, 2, \dots, 19/18$ considerado fixo;

A_j : efeito do j-ésimo ano, sendo $j = 1$ e 2 considerado aleatório;

L_K : efeito do k-ésimo local, sendo $k = 1, 2, 3$ considerado aleatório;

GA_{ij} : efeito da interação entre a i-ésimo genótipo e o j-ésimo ano;

GL_{ik} : efeito da interação entre a i-ésimo genótipo e o k-ésimo local;

AL_{jk} : efeito da interação entre o j-ésimo ano e k-ésimo local;

GAL_{ijk} : efeito da interação entre i-ésimo genótipo, j-ésimo ano e o k-ésimo local;

$(B/L)A_{jkm}$: efeito m-ésimo bloco dentro da k-ésimo local dentro do j-ésimo ano;
 e_{ijk} : erro experimental.

Verificada a existência da significância do teste F, as médias foram comparadas pelo teste de Scott Knott, ao nível de 5% de probabilidade, através do programa GENES (CRUZ, 2007).

2.3.2 – Correlação de Pearson

Com os valores de severidade da ferrugem asiática e valores de precipitação média dos locais durante a condução dos ensaios, foram submetidos ao programa Genes (CRUZ, 2007) para o cálculo das correlações simples de Pearson.

2.3.3 - Análise de adaptabilidade e estabilidade

Realizou-se análise de adaptabilidade e estabilidade das linhagens pelo índice de confiança proposto por Annicchiarico (1992), Eberhart e Russel (1966) e método multivariado AMMI (Additive Main Effects and Multiplicative Interaction) (MANDEL, 1971; KEMPTON, 1984; ZOBEL; WRIGHT; GAUCH, 1988).

Nas avaliações de adaptabilidade e estabilidade, o genótipo ideal é aquele que apresenta alta produção média (ANNICCHIARICO, 1992). Entretanto, neste trabalho, para as metodologias de Annichiarico (1992) e AMMI, utilizou-se as variáveis FRP_r e FRP_{AACPD} . O Fator de Resistência Parcial (FRP) representa a resistência da linhagem à ferrugem, ou seja, quanto maior o valor de FRP, melhor o material. Contudo, para o método de Eberhart, Russel (1966), foram utilizadas as variáveis originais, r e a AACPD.

2.3.3.1 - Método Proposto por Annichiarico

Annicchiarico (1992) propõe que a estabilidade seja medida pela superioridade do genótipo em relação à média de cada ambiente. Este método baseia-se na estimação de um índice de confiança ou de recomendação de um determinado genótipo mostrar comportamento relativamente superior.

Obtém-se o índice considerando:

Y_{ij} : média do genótipo i no ambiente j ;

$\bar{Y}_j$: média do j -ésimo ambiente.

Os valores percentuais, para cada genótipo, são obtidos como a seguir:

$$Z_{ij} : \frac{100 Y_{ij}}{F_j}$$

A partir dos valores percentuais, obtêm-se as medidas de adaptabilidade e estabilidade dadas por:

$$\omega_i : \hat{\mu}_i - Z_{(1-\alpha)} \hat{\sigma}_{zi}$$

em que:

ω_i : representa o índice de confiança.

Os maiores valores de ω_i serão obtidos pelos genótipos que apresentarem maior média percentual ($\hat{\mu}_i$) e menor desvio $\hat{\sigma}_{zi}$. Estas estatísticas serão obtidas como descrito a seguir:

Média relativa

$$\hat{\mu}_{i(g)} = \frac{\sum_{j=1}^a Z_{ij}}{a}, \text{ em que:}$$

$\hat{\mu}_{i(g)}$: média relativa do genótipo, considerando todos os ambientes (a = número de ambientes);

$$\hat{\mu}_{i(f)} : \frac{\sum_{j=1}^f Z_{ij}}{f}, \text{ em que:}$$

$\hat{\mu}_{i(f)}$: média relativa do genótipo, considerando apenas os ambientes favoráveis (f : número de ambientes favoráveis);

$$\hat{\mu}_{i(d)} = \frac{\sum_{j=1}^d Z_{ij}}{d}, \text{ em que:}$$

$\hat{\mu}_{i(d)}$: média relativa do genótipo, considerando apenas os ambientes desfavoráveis (d = número de ambientes desfavoráveis).

• Desvio relativo

Os desvios são obtidos:

$\hat{\sigma}_{zi(g)}$: desvio-padrão dos valores Z_{ij} , do i-ésimo genótipo, considerando seu comportamento em todos os ambientes;

$\hat{\sigma}_{zi(f)}$: desvio-padrão dos valores Z_{ij} , do i-ésimo genótipo, considerando seu comportamento apenas nos ambientes favoráveis; e

$\hat{\sigma}_{zi(d)}$: desvio-padrão dos valores Z_{ij} , do i-ésimo genótipo, considerando

seu comportamento apenas nos ambientes desfavoráveis.

• Índice de recomendação

Os índices são obtidos através das expressões:

$\omega_{i(g)} : \hat{\mu}_{i(g)} - Z_{(1-\alpha)} \hat{\sigma}_{zi(g)}$: considerando todos os ambientes;

$\omega_{i(f)} : \hat{\mu}_{i(f)} - Z_{(1-\alpha)} \hat{\sigma}_{zi(f)}$: considerando apenas os ambientes favoráveis;

$\omega_{i(d)} : \hat{\mu}_{i(d)} - Z_{(1-\alpha)} \hat{\sigma}_{zi(d)}$: considerando apenas os ambientes desfavoráveis;

sendo:

$Z_{(1-\alpha)}$: percentil da função de distribuição normal padrão, para o qual a função de distribuição acumulada atinge o valor $1 - \alpha$.

2.3.3.2 – Método proposto por Eberhart e Russell

O método de Eberhart e Russell (1966) baseia-se na regressão linear e considera desejáveis os genótipos com alta produção média, coeficientes unitários de regressão e desvios da regressão praticamente nulos. Entretanto, neste trabalho, considerou-se como genótipo ideal aquele que apresentou média inferior à média geral, coeficiente de regressão de pequeno valor ou próximo de zero, tendo em vista que o objetivo principal não foi verificar a produção, mas sim o nível de infecção causado pela ferrugem asiática em genótipos de soja.

A estabilidade é estimada pela variância dos desvios da regressão enquanto a adaptabilidade é obtida pela média e pelo coeficiente de regressão. Os parâmetros de adaptabilidade e estabilidade podem ser estimados a partir do seguinte modelo de regressão:

$$Y_{ij} = \mu_i + \beta_i I_j + \delta_{ij} + \varepsilon_{ij}$$

Y_{ij} : média do genótipo i no ambiente j ;

μ_i : média geral do genótipo i ;

β_i : coeficiente de regressão linear, que mede a resposta genótipo i à variação do ambiente;

I_j : índice ambiental;

δ_{ij} : desvio da regressão; e

ε_{ij} : erro padrão médio.

Os estimadores indicativos da estabilidade e adaptabilidade são determinados como se segue:

$$\hat{\sigma}_{di}^2 = \frac{\sum_j \hat{\delta}_{ij}^2}{(a-2)} = \frac{QMD_i - QMR}{r}$$

em que:

$$QMD_i = \frac{r}{a-2} \left[\sum_j Y_{ij}^2 - \frac{Y_i^2}{a} - \frac{(\sum_j Y_{ij} I_j)^2}{\sum_j I_j^2} \right] \text{ (válido para qualquer } i \text{)}$$

$$\hat{\beta}_{0i} : \bar{Y}_i, \text{ e } \hat{V}(\hat{\beta}_{0i}) = \frac{1}{a} \hat{\sigma}_e^2$$

$$\hat{\beta}_{1i} : \frac{\sum_j Y_{ij} I_j}{\sum_j I_j^2} \text{ e } \hat{V}(\hat{\beta}_{1i}) = \frac{1}{\sum_j I_j^2} \hat{\sigma}_e^2$$

sendo:

$$\hat{\sigma}_e^2 = \frac{QMR}{r}$$

A hipótese $H_0: \beta_{1i} = 1$ versus $H_a: \beta_{1i} \neq 1$ é avaliada pela estatística t, dada por:

$$t = \frac{\hat{\beta}_{1i} - 1}{\sqrt{\hat{V}(\hat{\beta}_{1i})}}$$

Segundo Cruz; Regazzi; Carneiro, (2004), algumas vezes pode ocorrer que muitos genótipos com médias superiores apresentem s_{di}^2 estatisticamente diferente de zero. Porém, pode ser necessária a seleção de alguns genótipos do grupo em que a estabilidade é baixa. Nesses casos, uma medida auxiliar de comparação entre genótipos é o coeficiente de determinação $R_{i,i}^2$, dado pela equação a seguir:

$$R_{i,i}^2 = [(SQR.Linear)_i / SQ(A/G_i)] \times 100$$

sendo:

(SQR.linear)_i: soma de quadrados da regressão linear do genótipo “i”;

SQ(A/G_i): soma de quadrados de ambientes dentro do genótipo “i”.

Neste método, para cada genótipo é computada uma regressão linear simples da variável dependente, em relação a um índice ambiental (diferença entre a média de cada ambiente e a de todos os ambientes), cujos valores podem ser positivos ou negativos. Os

negativos indicam os ambientes desfavoráveis, evidenciando áreas de cultivo cujo índice tecnológico empregado é baixo ou regiões com condições edáficas e climáticas adversas. Os positivos indicam os ambientes favoráveis, associados à regiões com condições climáticas e edáficas apropriadas à aptidão da cultura ou áreas de cultivo onde se emprega alta tecnologia de produção.

No entanto, neste trabalho, considerou-se como ambiente favorável (índices positivos) aquele onde o desenvolvimento da ferrugem foi favorecido e ambiente desfavorável onde a ferrugem não apresentou um bom desenvolvimento (índices negativos).

2.3.3.3 - Método AMMI

O modelo AMMI pressupõe componentes aditivos para os efeitos principais de genótipos e componentes multiplicativos para o efeito de interação. Então, a resposta média sobre b blocos do i -ésimo genótipo no j -ésimo ambiente é representada por:

$$Y_{ij} = \mu + g_i + e_j + \sum_{k=1}^q \lambda_k \alpha_{ik} \gamma_{jk} + \rho_{ij} + s_{ij}$$

Sendo que:

Y_{ij} : é a resposta média do i -ésimo genótipo no j -ésimo ambiente, com $i = 1, 2, \dots, g$ e $j = 1, 2, \dots, e$;

μ : é uma constante, geralmente a média;

g_i : é o efeito do i -ésimo genótipo;

e_j : é o efeito do j -ésimo ambiente;

λ_k : é a raiz quadrada do k -ésimo autovalor da matriz $(GE)(GE)^t$ (ou $(GE)^t(GE)$), com $k = 1, 2, \dots, q$ e onde $q < p$ determina uma aproximação de mínimos quadrados para a matriz GE pelos q primeiros termos da decomposição por valores singulares (DVS) e $p = \min\{g - 1, e - 1\}$;

α_{ik} : é o i -ésimo elemento do vetor coluna α_k associado a λ_k ;

γ_{jk} : é o j -ésimo elemento do vetor linha γ_k associado a λ_k ;

ρ_{ij} : é o resíduo adicional;

ε_{ij} : é o erro experimental associado ao i-ésimo genótipo no j-ésimo ambiente, assumido ser independente e $\varepsilon_{ij} \sim N(0, \frac{\sigma^2}{b})$;

A matriz GE é a interação entre genótipos x ambientes (matriz de resíduos), em que cada elemento $(ge)_{ij}$ da matriz GE é encontrado pela seguinte relação:

$$(ge)_{ij} = Y_{ij} - \bar{Y}_{i.} - \bar{Y}_{.j} + \bar{Y}_{..}$$

em que:

Y_{ij} : é a média das repetições do genótipo i no ambiente j, com $i = 1, 2, \dots, g$ e $j = 1, 2, \dots, e$;

$\bar{Y}_{i.}$: é a média do genótipo i;

$\bar{Y}_{.j}$: é a média do ambiente j;

$\bar{Y}_{..}$: é a média geral do experimento.

Um dos procedimentos na determinação dos graus de liberdade associados à parcela da $SQ_{G \times E}$ é obtido pelo teste F, avaliando-se a significância de cada componente em relação ao QM (erro médio). Isso resulta num quadro de análise de variância semelhante ao tradicional, com desdobramento da fonte de variação interação (GxE). Dessa forma, o ponto de parada que determinará a seleção dos modelos ($AMMI_0, AMMI_1, \dots, AMMI_8$) foi obtido com base na significância do teste F_{Gollob} para os sucessivos termos da interação, por esse critério ser de fácil aplicação, requerendo uma aritmética trivial (GOLLOB, 1968). Neste método, o cálculo dos graus de liberdade são dados por: $GI_{PCAn} = g + e - 1 - 2n$, onde “g” é o número de genótipos, “e” é o número de ambientes e “n” o número de eixos ou componentes principais da matriz de interação. Pelo teste F (GOLLOB, 1968), o ponto de parada para seleção do modelo é o n-ésimo componente principal da interação (CPI) que for significativo pelo teste F.

Os resultados da análise são apresentados graficamente em *biplot* (GABRIEL, 1971). Para os casos em que o modelo engloba apenas o primeiro eixo da análise de componentes principais da interação ACPI (CPI1), é construído um *biplot* $AMMI_1$, que utiliza o eixo das abscissas para representar os efeitos principais (médias de genótipos e de ambientes) e o das ordenadas para expressar os escores de genótipos e ambientes referentes ao CPI 1. Para os demais casos (modelos que englobam mais de um eixo da

ACPI), é utilizado o *biplot* AMMI2, que representa somente efeitos de interação referentes aos dois primeiros eixos da ACPI: CPI 1 vs. CPI 2.

A interpretação de um *biplot* quanto à interação G x E é feita observando-se a magnitude e o sinal dos escores de genótipos e ambientes para o(s) eixo(s) que representam a interação. Assim, os escores baixos (próximos de zero) são próprios de genótipos e ambientes que contribuem pouco para a interação, caracterizando-os como estáveis. Num *biplot* AMMI1, a estabilidade é avaliada inspecionando-se as ordenadas (CPI 1). Logo, os pontos situados na faixa horizontal em torno de zero em relação ao CPI 1 correspondem aos genótipos e ambientes mais estáveis. Num *biplot* AMMI2, genótipos e ambientes estáveis são aqueles cujos pontos situam-se próximo à origem, ou seja, com escores praticamente nulos para os dois eixos da interação (CPI1 e CPI2) (DUARTE; VENCOSKY, 1999).

2.3.4 - Teste de Dunnett

Foi realizado o teste de Dunnett para comparação das médias de FRP_r e FRP_{AACPD} entre as linhagens avaliadas. Este procedimento tem por finalidade realizar testes comparativos de médias de tratamentos e testemunhas. O valor da diferença mínima significativa é dado por:

$$DMS = td \sqrt{\frac{2QMR}{r}}$$

em que:

QMR: é o quadrado médio do resíduo;

r: é o número de repetições;

td: é o valor tabelado estabelecido em função de alfa e os graus de liberdade para tratamentos e resíduos.

3 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 – Ferrugem asiática

A análise de variância conjunta dos dados é apresentada na Tabela 2. Por esta tabela, percebe-se que a interação genótipos x anos x locais não apresentou significância, no entanto, os efeitos das interações genótipos x ambientes foram significativos, a 1 % de probabilidade, pelo teste F, para área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD) e para taxa de progresso absoluta média da doença (r).

TABELA 2. Análise de variância conjunta para AACPD e r de linhagens de soja de ciclo de maturação médio/tardio, nas safras 2007/08 e 2008/09, obtidas em ensaios conduzidos nos municípios de Uberlândia, MG; Uberaba, MG; Campo Alegre de Goiás, GO; e Senador Canedo. Uberlândia, MG, 2011.

F.V.	Quadrado Médio		
	G.L.	AACPD	r
(Blocos/Locais) Anos	16	55520.59	0.02
Genótipos (G)	17	36784.20 ^{ns}	0.02 ^{ns}
Anos (A)	1	2664950.17 ^{ns}	0.73 ^{ns}
Locais (L)	3	5251173.62 ^{ns}	1.27 ^{ns}
G x A	17	23392.55 ^{ns}	0.02*
G x L	51	49521.75**	0.02**
A x L	3	6192276.44**	2.23**
G x A x L	51	19245.79 ^{ns}	0.01 ^{ns}
Resíduo	272	15348.25	0.01
Média		403.5	0,27
C.V. (%)		17,76	10,06

***, Significativo, a 1% e 5% de probabilidade, pelo teste de F;^{ns} Não significativo e CV(%) coeficiente de variação.

Foram observadas diferenças significativas ($P < 0,01$) para a interação anos x locais (Tabelas 5 e 7). A grande magnitude das interações associadas com anos, segundo Allard e Bradshaw (1964), sugere que os fatores imprevisíveis de anos (temperatura, umidade relativa, pluviosidade) contribuíram de forma mais evidente que os fatores previsíveis de locais (tipo de solo, topografia) para a interação G x E. Neste sentido, as avaliações envolvendo mais de um ano foram importantes para melhor estimar as respostas dos genótipos com os ambientes (ALLIPRANDINI et al., 1994; 1998).

Para todas as análises de variância, os coeficientes de variação (CV) foram considerados médios ($10\% < CV < 20\%$), com boa precisão experimental no controle das causas de variação de ordem sistemática dos ambientes experimentais (CARVALHO et al., 2002; PRADO et al., 2001; FERREIRA, 2006).

A interação, genótipo x ambiente, evidencia a necessidade de avaliação dos genótipos em vários ambientes para que se tenha maior segurança na recomendação dos melhores genótipos (MACHADO et al, 2003).

De acordo com Moraes (2005), as linhagens sofreram influências diferenciadas dos ambientes, dificultando, uma recomendação única de cultivares para toda a região em estudo. O comportamento diferencial entre as linhagens pode estar relacionado tanto

com a resistência, quanto com suscetibilidade à ferrugem asiática. Rocha (1998), em um estudo sobre interação genótipos x locais em soja, cita a ocorrência do cancro da haste da soja, causado pelo fungo *Diaporthe phaseolorum* f.sp. *meridionalis*, sob infestação natural em dois locais, como uma das causas que contribuíram para a interação G x L. Njiti et al. (1998) também reportaram à existência de correlação significativa entre os efeitos de interações G x E e os danos causados pela podridão vermelha das raízes (PVR), *Fusarium solani*, diminuindo a produtividade de genótipos de soja.

Logo, espera-se que determinada linhagem seja mais resistente ou mais suscetível em relação às demais, ou ainda, que em determinado local de avaliação tenha ocorrido maior ou menor agressividade do patógeno aos genótipos. Neste caso, recomenda-se estabelecer um estudo detalhado do efeito da interação. Métodos de detecção da estabilidade e adaptabilidade de genótipos são os mais indicados.

TABELA 3. Médias da taxa de progresso absoluta média da doença (r), de linhagens de soja de ciclo de maturação médio/tardio, em função da safra e local de cultivo. Uberlândia, MG, 2011.

Local de Cultivo	Ano - Safra	
	2007/08	2008/09
Uberlândia	0,36 bA	0,32 bA
Uberaba	0,07 aA	0,58 cB
Campo Alegre	0,37 bA	0,24 bA
Senador Canedo	0,10 aA	0,11 aA

Médias seguidas de mesma letra minúscula, na coluna, e maiúscula, na horizontal, não diferem entre si, pelo teste Scott Knott, a 5% de probabilidade.

Pelos dados médios de r em função da safra x local de cultivo (Tabela 3), observa-se que as condições edafoclimáticas, em Uberlândia e Campo Alegre, foram propícias à ferrugem nas duas safras avaliadas, enquanto que, em Senador Canedo, as condições mantiveram-se desfavoráveis à ferrugem em ambas as safras. Em Uberaba, as

condições climáticas variaram de um ano para outro (Figuras 2A e 3A), influenciando significativamente no desenvolvimento da doença e conseqüentemente nas médias de r ; observou-se menores médias em 2007/08 (Figura 2A) e as maiores em 2008/09 (Figura 3A). Para Tschanz (1984), chuvas regulares favorecem o desenvolvimento da doença. Em períodos de pouca precipitação pluviométrica, o início da doença foi mais tardio, com conseqüente redução da taxa de desenvolvimento. Já em locais com pluviosidade freqüente, a doença ocorreu precocemente e teve evolução rápida.

A chuva é um fator importante para a ocorrência e o desenvolvimento de doenças em plantas, pois eleva a umidade do ar, proporciona o molhamento foliar e influencia na dispersão dos esporos (KOGA, 2008). Estudos conduzidos na Tailândia por Kawuki et al. (2003) demonstraram que reduções de 10-15% na produção, devido à ferrugem asiática, ocorreram em estações secas, comparadas com 100% de perdas ocorridas durante estações chuvosas. Fato também corroborado com a aplicação de modelos para avaliação de risco e previsão de epidemias da ferrugem (DEL PONTE et al., 2006).

De acordo com as médias de r (Tabela 4), em função das linhagens e dos locais de cultivo, verifica-se que não houve diferença estatística significativa entre as linhagens em Uberaba e Campo Alegre. Em Uberlândia, a linhagem UFU 101 se destacou pelo seu pior desempenho, as demais linhagens não diferiram significativamente. No geral, as linhagens apresentaram as menores médias em Senador Canedo, sendo que as linhagens UFU 102, 103, 104, 105, 106, 107, 109, 110, 111 e as testemunhas Chapadões, Luziânia e M-Soy 8914 se destacaram em relação às demais. Neste local, a linhagem UFU 113 se destacou estatisticamente, demonstrando maior susceptibilidade à ferrugem.

TABELA 4. Médias da taxa de progresso absoluta média da doença (r), de linhagens de soja de ciclo de maturação médio/tardio, em 4 ambientes. Uberlândia, MG, 2011.

Genótipos	Uberlândia	Uberaba	Campo Alegre	Senador Canedo	Média Genótipos
-----------	------------	---------	--------------	----------------	-----------------

UFU-101	0,58 b	0,31 a	0,33 a	0,18 b	0,35
UFU-102	0,31 a	0,29 a	0,26 a	0,04 a	0,23
UFU-103	0,34 a	0,34 a	0,26 a	0,06 a	0,25
UFU-104	0,31 a	0,31 a	0,31 a	0,11 a	0,26
UFU-105	0,38 a	0,35 a	0,28 a	0,11 a	0,28
UFU -106	0,33 a	0,32 a	0,29 a	0,07 a	0,25
UFU-107	0,36 a	0,33 a	0,38 a	0,03 a	0,27
UFU-108	0,32 a	0,32 a	0,30 a	0,16 b	0,27
UFU-109	0,33 a	0,31 a	0,34 a	0,05 a	0,26
UFU-110	0,28 a	0,34 a	0,31 a	0,07 a	0,25
UFU-111	0,35 a	0,35 a	0,32 a	0,11 a	0,28
UFU-112	0,27 a	0,39 a	0,34 a	0,14 b	0,29
UFU-113	0,21 a	0,29 a	0,35 a	0,29 c	0,28
UFU-114	0,32 a	0,31 a	0,27 a	0,14 b	0,26
Garantia	0,35 a	0,30 a	0,34 a	0,17 b	0,29
Chapadões	0,30 a	0,31 a	0,34 a	0,03 a	0,24
Luziânia	0,32 a	0,35 a	0,31 a	0,06 a	0,26
M-Soy 8914	0,35 a	0,35 a	0,23 a	0,09 a	0,25
Média Locais	0,33	0,33	0,31	0,11	0,27

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem

entre si, pelo teste Scott Knott, a 5% de probabilidade.

No geral, o que se pode observar é que em Uberlândia, Uberaba e Campo Alegre, quando se excluiu o fator anos (safras), as médias de r foram altas e muito próximas, dificultando assim a seleção de linhagens resistentes à ferrugem. Como se trata de materiais de ciclo médio a tardio, os danos podem ter sido piores, devido à multiplicação do fungo nos primeiros plantios, dificultando assim a expressão da RH. A taxa de desenvolvimento da ferrugem em cultivares suscetíveis está intimamente relacionada ao crescimento e à maturidade da planta de soja. Genótipos de soja de ciclos tardios são tão suscetíveis quanto os precoces, quando comparados no mesmo estágio de desenvolvimento e sob pressão de inóculo similar (TSCHANZ; WANG, 1985; KOGA, 2008).

Tomando-se como referência a Tabela 5, Uberlândia e Campo Alegre mantiveram médias altas da doença. Em Uberaba, houve uma diferença pronunciada em relação à AACPD; na safra 2007/08 a doença apresentou um baixo desenvolvimento, o

que pode ser confirmado quando se analisa as condições climáticas deste ano, ou seja, entre os demais fatores, nota-se índices pluviométricos mais baixos, quando comparados com os de 2008/09 (Figuras 2A e 3A). Em 2008/09, as condições climáticas favoreceram a ferrugem, e este local se diferenciou significativamente com a maior média de AACPD. Já em Senador Canedo, as condições edafoclimáticas não favoreceram o desenvolvimento da ferrugem em ambas as safras.

TABELA 5. Médias AACPD, em linhagens de soja de ciclo de maturação médio/tardio, em função da safra e local de cultivo. Uberlândia, MG, 2011.

Local de Cultivo	Ano - Safra	
	2007/08	2008/09
Uberlândia	632,52 cA	613,44 cA
Uberaba	72,85 aA	933,33 dB
Campo Alegre	486,89 bB	272,55 bA
Senador Canedo	107,55 aA	108,82 aA

Médias seguidas de mesma letra minúscula, na coluna, e maiúscula, na horizontal, não diferem entre si, pelo teste Scott Knott, a 5% de probabilidade.

Del Ponte et al. (2006) fizeram um estudo utilizando a quantidade e distribuição de chuvas na previsão de severidade dessa doença. A pesquisa mostrou uma grande relação entre a quantidade e a distribuição de chuva com a severidade final da ferrugem. Os pesquisadores observaram ainda que a temperatura correlacionou-se pouco com a severidade da ferrugem asiática.

Com relação às médias da AACPD (Tabela 6), as linhagens apresentaram desempenho semelhante em Uberaba. Nos demais locais, as linhagens diferiram significativamente. No geral, as linhagens UFU 106, 110 e 114 obtiveram as menores médias de AACPD.

TABELA 6. Médias da AACPD, de linhagens de soja de ciclo de maturação médio/tardio. Uberlândia, MG, 2011.

Genótipos	Uberlândia	Uberaba	Campo Alegre	Senador Canedo	Média Genótipos
UFU-101	833,00 c	479,67 a	364,33 b	175,33 b	463,08
UFU-102	739,67 b	427,00 a	286,33 a	40,30 a	373,33
UFU-103	632,00 b	582,67 a	305,00 a	55,67 a	393,83
UFU-104	543,33 a	487,33 a	413,33 b	113,33 b	389,33
UFU-105	714,67 b	575,33 a	315,00 a	114,33 b	429,83
UFU -106	509,00 a	447,00 a	365,33 a	66,33 a	346,92
UFU-107	662,67 b	557,00 a	548,33 b	30,33 a	449,58
UFU-108	589,33 a	458,00 a	381,67 b	162,33 b	397,83
UFU-109	545,00 a	483,00 a	424,67 b	51,33 a	376,00
UFU-110	422,33 a	476,67 a	387,67 b	66,67 a	338,33
UFU-111	633,33 b	506,67 a	394,67 b	109,00 b	410,92
UFU-112	477,33 a	666,67 a	393,33 b	142,67 b	420,00
UFU-113	459,67 a	390,67 a	427,67 b	290,40 c	392,10
UFU-114	509,33 a	431,67 a	300,67 a	138,33 b	345,00
Garantia	650,33 b	455,00 a	429,00 b	173,67 b	427,00
Chapadões	633,33 b	474,00 a	454,33 b	33,33 a	398,75
Luziânia	855,33 c	580,00 a	378,33 b	63,33 a	469,25
M-Soy 8914	804,00 c	577,33 a	265,33 a	120,67 b	441,83
Média Locais	622,98	503,09	379,72	108,19	403,50

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si, pelo teste Scott Knott, a 5% de probabilidade.

Analisando os materiais mais susceptíveis, ou seja, aqueles que apresentaram maiores médias de AACPD, têm-se a linhagem UFU 101 e as testemunhas Luziânia e M-Soy 8914 em Uberlândia, e a linhagem UFU 113 em Senador Canedo.

No geral, as linhagens apresentaram uma variação de comportamento em relação aos locais de cultivo, tanto para a r , quanto para a AACPD. Este fato pode dificultar a recomendação de cultivares resistentes para toda a região, pois não se pode, nessas circunstâncias, fazer uma recomendação uniforme para todos os locais (SILVA, DUARTE, 2006). Ainda, segundo Juliatti et al. (2005), em razão de certos tipos de doenças ocorrerem com maior intensidade em determinadas regiões ou condições ambientais, a seleção de uma variedade resistente para determinado local pode não ser satisfatória para outra área de adaptação da soja.

Porém, cabe ressaltar que as linhagens UFU 106 e 110 apresentaram médias baixas tanto para r , quanto para a AACPD, e que as linhagens UFU 101 e 113 se destacaram com relação à susceptibilidade.

3.1.1 – Correlação de Pearson

Para verificar a associação entre as variáveis severidade da ferrugem asiática e precipitação média dos locais durante a condução dos ensaios, foi calculado o coeficiente de correlação linear de Pearson (r), tendo encontrado um $r = -0,20$ (negativa baixa e não significativa).

3.2 - Produtividade

Pela análise de variância para produtividade de grãos, safra 2007/08, nos municípios de Uberaba, MG; Campo Alegre, GO e Senador Canedo, GO, verificou-se que não houve diferenças significativas para interação genótipos x ambientes, mostrando que não apresentou efeito no grupo de linhagens como um todo (Tabela 7). Houve efeito isolado somente dos locais de cultivo. Porém, foi feito o desdobramento das médias dentro de cada ambiente, por se tratar de uma característica de interesse para esse estudo.

Foi realizada também a análise de variância para produtividade de grãos na safra 2008/09, no município de Uberaba, MG. Neste local, não foi possível detectar diferenças significativas entre as linhagens para produção de grãos (Tabela 8).

Segundo Polizel (2007), a não ocorrência de variabilidade entre os materiais pode ser atribuída a seleção, em todas as safras, dos melhores materiais, realizada em função da produtividade, portanto os materiais que apresentaram baixas produtividades foram eliminados de uma safra para outra. Gieco (1997), estudando o efeito de anos em três populações de soja, concluiu que a seleção baseada na média de três anos foi mais eficiente que a seleção praticada em um determinado ano. O mesmo autor verificou que a aplicação de altas intensidades de seleção, em um determinado ano, pode representar a perda de muitos genótipos promissores.

Allipandrini et al., (1994) avaliando os efeitos da interação genótipo x ambiente sobre a produtividade de soja no Estado do Paraná, também obtiveram a não

significância da interação genótipo x ambiente e ressaltaram a importância de se conduzir os ensaios em diversos locais quando necessitar abreviar o período de avaliação.

TABELA 7. Análise de variância da safra 2007/08, para produtividade de grãos (kg.ha^{-1}), de linhagens de soja de ciclo de maturação médio/tardio, obtidas em ensaios conduzidos nos municípios de Uberaba, MG; Campo Alegre de Goiás, GO; e Senador Canedo. Uberlândia, MG, 2011.

F.V.	Quadrado Médio	
	G.L.	Produtividade
Blocos/Locais	6	661250,12
Blocos x Locais	4	177299,54
Genótipos (G)	17	635030,84 ^{ns}
Locais (L)	2	8220174,54**
G x L	34	369337,9 ^{ns}
G/L	51	457902,21 ^{ns}
G/Campo Alegre	17	216803,04 ^{ns}
G/Senador Canedo	17	551418,68 ^{ns}
G/Uberaba	17	605484,92 ^{ns}
Resíduo*	102	435750,57
Média		2625,66
C.V. (%)		25,14

*,** Significativo, a 1 e 5 % de probabilidade, pelo teste de F, respectivamente. ^{ns}: não significativo e CV(%): coeficiente de variação obtido da análise individual.

TABELA 8. Análise de variância da safra 2008/09, para produtividade de grãos (kg.ha^{-1}), de linhagens de soja de ciclo de maturação médio/tardio, obtidas em ensaio conduzido no município de Uberaba, MG. Uberlândia, MG, 2011.

F.V.	Quadrado Médio	
	G.L.	Produtividade
Blocos	2	342457,03
Genótipos (G)	17	349331,37 ^{ns}
Resíduo	34	250373,54
Média		2523,75 kg.ha^{-1}
C.V. (%)		19,82

^{ns}: não significativo a 1 e 5 % de probabilidade, pelo teste de F; CV(%): coeficiente de variação.

Com relação à média geral de produtividade na safra 2007/08 (Tabela 9), Uberaba foi o ambiente que apresentou maior produtividade entre as linhagens, com média alcançada de 3040 kg.ha⁻¹. O que de fato se confirma quando se analisa as médias da taxa de progresso absoluta média da doença e da AACPD (Tabelas 3 e 5), em relação aos demais locais, Uberaba foi onde se constatou as mais baixas médias. Ou seja, condições edafoclimáticas favoráveis à ferrugem podem ter propiciado piores rendimentos aos ambientes com menores médias de produtividade. De acordo com Moraes (2005), os genótipos podem sofrer influências diferenciadas dos ambientes, dificultando uma recomendação única para toda a região em estudo.

Rezende (2009) avaliou estes mesmos materiais em diversos locais e em mais de uma safra, concluindo que as linhagens UFU 101, 106, 111, 112 e a testemunha Garantia foram os materiais mais produtivos.

A cada ano, novas tecnologias são lançadas e, em função da não disponibilidade de cultivares resistentes até o momento, os melhores resultados de controle têm sido alcançados por meio de técnicas combinadas. Assim, destaca-se a importância da elaboração de novos trabalhos buscando compreender melhor o comportamento das cultivares frente à ocorrência da ferrugem asiática nas diferentes combinações de técnicas de cultivo.

TABELA 9. Médias de produtividade de grãos (kg.ha⁻¹), de linhagens de soja de ciclo de maturação médio/tardio, obtidas em ensaios conduzidos nos municípios de Uberaba, MG; Campo Alegre de Goiás, GO; e Senador Canedo, na safras 2007/08. Uberlândia, MG, 2011.

Genótipos	Ano - Safra 2007/08			Média Genótipos
	Campo Alegre	Senador Canedo	Uberaba	
UFU-101	2720,0	2617,5	3508,3	2948,60 a
UFU-102	2638,8	2212,5	3658,3	2836,53 a
UFU-103	2606,5	1785,0	2929,2	2440,23 a
UFU-104	2626,3	2726,7	2941,7	2764,90 a
UFU-105	2755,7	1925,8	3162,5	2614,67 a
UFU -106	2558,7	2550,8	3083,3	2730,93 a
UFU-107	2388,0	1906,7	2750,0	2348,23 a
UFU-108	2848,9	2625,8	3220,8	2898,50 a
UFU-109	1978,5	1151,7	2987,5	2039,23 a

UFU-110	2382,6	2551,7	2254,2	2396,17 a
UFU-111	2589,3	3006,7	2829,2	2808,40 a
UFU-112	2548,2	2605,0	3229,2	2794,13 a
UFU-113	2313,6	2353,3	1933,3	2200,07 a
UFU-114	2603,8	2131,7	2662,5	2466,00 a
Garantia	3173,1	2316,7	3466,7	2985,50 a
Chapadões	2559,8	2082,5	3116,7	2586,33 a
Luziânia	2833,3	2069,2	3550,0	2817,50 a
M-Soy 8914	2163,3	2157,5	3437,5	2586,10 a
Média Locais	2571,6 b	2265,4 c	3040,1 a	2625,70

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si, pelo teste Scott Knott, a 5% de probabilidade.

As médias de produtividade das linhagens não variaram significativamente em Uberaba, na safra 2008/09. Neste ano, as condições edafoclimáticas foram favoráveis ao desenvolvimento da ferrugem (Figura 2A), com isso foram verificados piores rendimentos de produtividade.

3.3 - Análise de adaptabilidade e estabilidade

Na classificação dos ambientes quanto a favoráveis e desfavoráveis, foi observado o mesmo resultado pelos métodos de Eberhart e Russell (1966) e Annicchiarico (1992). De acordo com o índice ambiental, das variáveis r e AACPD (Tabelas 10 e 11), os ambientes 1 (Uberlândia 07/08), 3 (Campo Alegre 07/08), 5 (Uberlândia 08/09) e 6 (Uberaba 08/09) foram favoráveis (índices positivos) ao desenvolvimento da ferrugem. Já os ambientes 2 (Uberaba 07/08), 4 (Senador Canedo 07/08), 7 (Campo Alegre 08/09) e 8 (Senador Canedo 08/09) foram desfavoráveis (índices negativos).

Entre os ambientes desfavoráveis, o ambiente 2 (Uberaba 2007/08) apresentou as menores médias de r e AACPD, como apresentado anteriormente também pelas Tabelas 5 e 7, ou seja, as condições edafoclimáticas não propiciaram o desenvolvimento da ferrugem. O que não aconteceu na safra seguinte, que foi altamente favorável ao

desenvolvimento da doença. Este fato se deve, em grande parte, às condições climáticas que foram propícias ao desenvolvimento da ferrugem na safra 2008/09, tanto para o ambiente 5 (Uberlândia 08/09), como para o 6 (Uberaba 08/09) (Figuras 2A). Shanmugasundaram; Yan; Wang (2004) destacam que variações ambientais, seja pelo ano agrícola, época de semeadura ou local, influenciam demasiadamente nos danos decorrentes da ferrugem, mais até do que as concentrações dos inóculos, que podem não refletir a severidade da doença.

Os ambientes 4 e 8, referentes ao município de Senador Canedo, safras 2007/08 e 2008/09, mantiveram o mesmo comportamento, desfavoráveis à doença. Este resultado se confirma quando se observam as médias das linhagens para as duas variáveis, r e AACPD (Tabelas 3 e 4).

TABELA 10. Classificação dos oito ambientes, de acordo com a taxa de progresso absoluta média da doença (r), utilizando o índice ambiental segundo os métodos propostos por Eberhart e Russell (1966) e Annicchiarico (1992). Safra 2007/08 e 2008/2009. Uberlândia, MG, 2011.

Ambiente/Safra	Média	Índice (Ij)	Classe
1- Uberlândia 07/08	0,3559	0,0879	Favorável
2- Uberaba 07/08	0,0726	-0,1954	Desfavorável
3- Campo Alegre 07/08	0,3746	0,1066	Favorável
4- Senador Canedo 07/08	0,1041	-0,1640	Desfavorável
5- Uberlândia 08/09	0,3109	0,0429	Favorável
6- Uberaba 08/09	0,5778	0,3097	Favorável
7- Campo Alegre 08/09	0,2398	-0,0282	Desfavorável
8- Senador Canedo 08/09	0,1085	-0,1595	Desfavorável

TABELA 11. Classificação dos oito ambientes, de acordo com a AACPD, utilizando o índice ambiental segundo os métodos propostos por Eberhart e Russell (1966) e Annicchiarico (1992). Safra 2007/08 e 2008/2009. Uberlândia, MG, 2011.

Ambiente/Safra	Média	Índice (Ij)	Classe
1- Uberlândia 07/08	632,5185	229,0227	Favorável
2- Uberaba 07/08	72,8519	-330,6440	Desfavorável
3- Campo Alegre 07/08	486,8889	83,3931	Favorável
4- Senador Canedo 07/08	107,5556	-295,9403	Desfavorável
5- Uberlândia 08/09	613,4444	209,9486	Favorável
6- Uberaba 08/09	933,3333	529,8375	Favorável
7- Campo Alegre 08/09	272,5556	-130,9403	Desfavorável
8- Senador Canedo 08/09	108,8185	-294,6773	Desfavorável

3.4 - Análise segundo Eberhart e Russell

As estimativas das médias da taxa de progresso absoluta média da ferrugem (r), os coeficientes de regressão e de determinação e o desvio de regressão de cada genótipo encontram-se na Tabela 12. As linhagens UFU 102, 103, 104, 106, 109, 110, 114 e as testemunhas Chapadões, Luziânia e M-Soy 8914 foram as de maior adaptabilidade, por possuírem valores médios de r inferiores à média geral.

TABELA 12. Estimativas das médias para a Taxa de progresso absoluta média da ferrugem (r) e dos parâmetros de adaptabilidade e estabilidade, segundo Eberhart e Russell (1966). Uberlândia, MG, 2011.

Linhagens	Taxa de progresso absoluta média da doença (r)			
	Média (β_0)	β_{1i}	σ^2d	R ² (%)
UFU-101	0,3496	1,0371ns	0,0125**	71,45
UFU-102	0,2254	1,0193ns	-0,0011ns	96,58
UFU-103	0,2492	1,2289*	-0,0011ns	97,58

UFU-104	0,2592	0,9956ns	-0,0015ns	97,51
UFU-105	0,2808	1,0986ns	0,0006ns	93,38
UFU -106	0,2513	0,9883ns	0,0009ns	91,01
UFU-107	0,2750	1,2618*	0,0029*	91,27
UFU-108	0,2742	0,8479ns	-0,0013ns	95,83
UFU-109	0,2563	1,1116ns	-0,0011ns	97,07
UFU-110	0,2467	0,9515ns	0,0017ns	88,43
UFU-111	0,2813	0,9293ns	-0,0001ns	92,86
UFU-112	0,2867	0,9687ns	0,0029*	86,00
UFU-113	0,2838	0,4965**	0,0121**	37,06
UFU-114	0,2571	0,8487ns	-0,0016ns	96,78
Garantia	0,2896	0,8757ns	0,0001ns	91,36
Chapadões	0,2450	1,1018ns	0,0021ns	90,30
Luziânia	0,2600	1,1467ns	-0,0016ns	98,19
M-Soy 8914	0,2537	1,0919ns	0,0029*	88,55
Média	0,2680			
$\sigma^2 (\beta_0)$	0,0003			
$\sigma^2 (\beta_{1i})$	0,0115			

*,** Significativo, a 5 e 1% de probabilidade, pelo teste de F, respectivamente ^{ns}: não significativo

A linhagem UFU 113 demonstrou ampla capacidade de adaptação à ambientes desfavoráveis, pelo coeficiente de regressão estatisticamente inferior à unidade $\beta_{1i} < 1,0$ ($\beta_{1i} = 0,49$). No entanto, apresentou média maior que a média geral. Por outro lado, a linhagem UFU 103 mostrou maior capacidade de adaptação à ambientes favoráveis à ferrugem, uma vez que apresentou coeficiente de regressão significativamente superior a unidade ($\beta_{1i} = 1,23$).

No entanto, considerando-se o desvio de regressão todas as linhagens, exceto UFU 101, 107, 113 e M-Soy 8914, tiveram elevada estabilidade de comportamento, pois não diferiram estatisticamente de zero.

Nota-se, neste aspecto, que as linhagens UFU 102, 104, 106, 109, 110, 114 e as testemunhas Chapadões e Luziânia apresentaram adaptabilidade e estabilidade geral e poderão ser recomendadas para ambientes sem especificidade em relação à ferrugem, ou seja, ambientes que favoreçam ou não o desenvolvimento da doença. Já a linhagem UFU 103 apresentou média menor que a geral e adaptabilidade específica a ambientes favoráveis à ferrugem. Pereira et al. (2008), em estudo sobre adaptabilidade e estabilidade de genótipos de soja avaliados para resistência ao oídio, concluíram que os

genótipos com melhores níveis de resistência, em geral, também foram os de melhor adaptabilidade e estabilidade.

Para a AACPD (Tabela 13), considerando-se a média como parâmetro de indicação de linhagens a ambientes gerais, destacam-se as seguintes linhagens como promissoras, ou seja, as que apresentaram média inferior à geral: UFU 102, 103, 104, 106, 108, 109, 110, 113, 114 e a testemunha Chapadões.

Com relação ao coeficiente de regressão, as linhagens UFU 110, 113 e 114 se destacam pela ampla capacidade de adaptação e seriam indicadas a ambientes desfavoráveis à ferrugem, pois apresentaram $\beta_{li} < 1,0$, significativo, a 5% de probabilidade, pelo teste de t. A linhagem UFU 103 apresentou $\beta_{li} > 1,0$, e apresentou média menor que a média geral, indicando sua adaptabilidade a ambientes favoráveis à ferrugem.

Considerando-se o σ^2d , a maioria das linhagens demonstrou alta previsibilidade de comportamento, contudo as linhagens UFU 101, 102, 107, 112 e 113 e a testemunha M-Soy 8914 apresentaram menor estabilidade de comportamento com relação à resistência à ferrugem.

Quanto ao R^2 , as linhagens apresentaram elevados valores, limitando assim o seu uso como indicador de alta previsibilidade de comportamento, em função do $\sigma^2d = 0$ para a maioria dos casos.

Portanto, considerando as linhagens que apresentaram médias de AACPD inferiores a geral, as linhagens UFU 104, 106, 108, 109 e a testemunha Chapadões seriam recomendadas como fontes ideais de resistência à ferrugem, pois demonstraram adaptabilidade e estabilidade geral, ou seja, poderiam ser recomendadas para qualquer um dos ambientes estudados. Já as linhagens UFU 110 e 114 apresentaram adaptabilidade específica e podem se sobressair em ambientes desfavoráveis à ferrugem. A linhagem UFU 103 demonstrou adaptabilidade a ambientes com alta pressão de doença (favoráveis).

TABELA 13. Estimativas das médias da AACPD e dos parâmetros de adaptabilidade e estabilidade, segundo Eberhart e Russell (1966). Uberlândia, MG, 2011.

Linhagens	AACPD			
	Média (β_0)	β_{1i}	σ^2d	R ² (%)
UFU-101	463,0833	1,048 ^{ns}	9099,8068*	89,82
UFU-102	373,3250	1,0408 ^{ns}	6857,7358*	91,17
UFU-103	393,8333	1,2367**	-1087,5533ns	97,75
UFU-104	389,3333	0,9366ns	-2246,653ns	97,22
UFU-105	429,8333	1,1779*	85,1102ns	96,82
UFU -106	346,9167	0,856ns	1896,2862ns	92,27
UFU-107	449,5833	1,2017*	6332,896*	93,51
UFU-108	397,8333	0,8502ns	-3709,6683ns	98,32
UFU-109	376,0000	1,0097ns	-2071,7958ns	97,45
UFU-110	338,3333	0,8113*	3798,1941ns	89,40
UFU-111	410,9167	0,9308ns	-1969,2191ns	96,92
UFU-112	420,0000	1,052**	18316,6131**	84,36
UFU-113	392,1000	0,5495**	6982,1326*	74,02
UFU-114	345,0000	0,7833*	-4330,4676ns	98,89
Garantia	427,0000	0,8834ns	114,8371ns	94,46
Chapadões	398,7500	1,0682ns	1800,0807ns	94,96
Luziânia	469,2500	1,3292**	943,7309ns	97,08
M-Soy 8914	441,8333	1,2349*	9307,9272*	92,35
Média	403,50			
$\sigma^2 (\beta_0)$	639,51			
$\sigma^2 (\beta_{1i})$	0,01			

*** Significativo, a 5 e 1%, respectivamente.

^{ns} Não significativo.

3.5 - Análise segundo Annichiaricco

As estimativas dos índices foram apresentadas para cada tipo de ambiente usado na recomendação das cultivares: amplo ou geral, favorável e desfavorável (Tabela 10).

Na classificação dos ambientes quanto a favoráveis e desfavoráveis, foi observado o mesmo resultado obtido pelo método de Eberhart e Russell (1966). Sendo que, pela metodologia de Eberhart e Russell, os ambientes foram classificados como favoráveis ou desfavoráveis ao desenvolvimento da ferrugem. No entanto, para esta metodologia, foram utilizados como variáveis os Fatores de Resistência Parcial para a taxa de progresso absoluta média da doença (FRP_T) e para a área abaixo da curva de progresso da doença (FRP_{AACPD}). Logo, pelo método de Annichiaricco, os ambientes

foram classificados como favoráveis ou desfavoráveis ao fator de resistência parcial. Assim, conforme Tabelas 10 e 11, nos ambientes que foram favoráveis à ferrugem, foram desfavoráveis ao fator de resistência, e vice e versa.

Dentre as linhagens avaliadas, a UFU 102, 103, 106, 109, 110 e as testemunhas Chapadões, Luziânia e M-Soy 8914 apresentaram índice de recomendação para ambientes favoráveis acima de 100 (Tabela 14), ou seja, ambientes que favoreceram o fator de resistência (2- Uberaba 07/08; 4- Senador Canedo 07/08; 7- Campo Alegre 08/09 e 8- Senador Canedo 08/09), segundo índice ambiental (Tabela 10).

As linhagens UFU 102, 104, 108, 109, 110, 113 e 114 apresentaram índice de recomendação acima de 100 para ambientes desfavoráveis (Tabela 14), sendo classificadas como adaptadas às condições favoráveis ao desenvolvimento da ferrugem (1 e 5 – Uberlândia 07/08 e 08/09); 3 – Campo Alegre 07/08; 6 – Uberaba 08/09) (Tabela 10). Nota-se que a linhagem UFU 113 apresentou maior índice de recomendação para esses ambientes.

Como cultivares de ampla distribuição para indicação, destacaram-se as linhagens UFU 102 e 110, que apresentaram médias altas de FRP_r e também índices de adaptabilidade e estabilidade acima de 100 em todos os ambientes (Tabela 14). Esse resultado indica a possibilidade de indicação dessas linhagens para qualquer um dos ambientes avaliados.

TABELA 14. Adaptabilidade e estabilidade fenotípica do Fator de Resistência Parcial para “r” (FRP_r) de linhagens de soja de ciclo de maturação médio/tardio, conduzidos em diferentes localidades, nos anos agrícolas 2007/2008 e 2008/2009, pelo método de Annicchiarico. Uberlândia, MG, 2011

Linhagens	FRP_r Média	Índice de recomendação para ambientes (ω_i)		
		Geral	Desfavorável	Favorável
UFU-101	55,19 ^(a)	76,65	64,63	90,85
UFU-102	71,08	107,24	107,45	107,22
UFU-103	68,10	96,07	86,55	107,79

UFU-104	66,70	100,30	101,32	99,43
UFU-105	63,94	92,04	85,91	98,99
UFU -106	67,79	100,87	98,88	102,81
UFU-107	64,72	90,42	82,63	98,64
UFU-108	64,89	98,38	102,84	94,58
UFU-109	67,12	99,77	100,03	100,05
UFU-110	68,38	101,98	103,65	100,35
UFU-111	63,92	95,48	95,70	95,57
UFU-112	63,27	88,72	88,84	89,85
UFU-113	63,63	95,27	117,93	77,66
UFU-114	67,04	101,89	106,08	98,05
Garantia	62,86	94,44	99,71	89,77
Chapadões	68,57	100,32	97,24	103,69
Luziânia	66,67	95,83	90,08	102,75
M-Soy 8914	67,42	96,14	88,92	104,00

^(a) média significativamente diferente da cultivar testemunha M-Soy 8008, pelo teste de Dunnet, a 5% de probabilidade.

Com base nos parâmetros estimados pelo método de Annicchiarico (1992) para a variável FRP_{AACPD} (Tabela 15), verificou-se que as linhagens UFU 106, 109 e 110 são linhagens de ampla distribuição para indicação, pois apresentaram alto valor de FRP_{AACPD} e índice de recomendação para ambientes acima de 100, em todos os ambientes. Sendo que a UFU 110 se destacou em relação às demais.

As linhagens UFU 102 e 103 mostraram-se mais adaptadas às condições dos ambientes favoráveis à resistência à ferrugem, ou seja, ambientes onde o desenvolvimento da ferrugem foi desfavorável. Entre as linhagens adaptadas aos ambientes desfavoráveis, a UFU 113 se destacou.

Observando-se os valores de ω_i e FRP_{AACPD} , as linhagens UFU 106, 109, 110 e 114 foram consideradas de adaptabilidade geral.

TABELA 15. Adaptabilidade e estabilidade fenotípica do Fator de Resistência Parcial para AACPD (FRP_{AACPD}) de linhagens de soja de ciclo de maturação médio/tardio, conduzidas em diferentes localidades nos anos agrícolas

2007/2008 e 2008/2009, pelo método de Annicchiarico. Uberlândia, MG, 2011.

Linhagens	FRP _{AACPD} Média	Índice de recomendação para ambientes (ω)		
		Geral	Desfavorável	Favorável
UFU-101	69,93	91,03	86,88	95,94
UFU-102	75,76	99,70	96,69	103,71
UFU-103	74,43	94,90	87,73	103,83
UFU-104	74,72	100,32	102,70	98,42
UFU-105	72,09	92,91	86,86	99,97
UFU -106	77,47 ^(a)	103,76	106,63	101,59
UFU-107	70,81	90,73	84,75	97,27
UFU-108	74,17	99,91	103,31	97,43
UFU-109	75,58	101,21	101,77	100,58
UFU-110	78,03 ^(a)	104,52	109,94	100,44
UFU-111	73,32	98,26	98,59	98,21
UFU-112	72,73	91,51	89,40	95,54
UFU-113	74,54	99,78	112,95	89,84
UFU-114	77,60 ^(a)	104,78	112,21	99,26
Garantia	72,27	96,81	100,24	93,77
Chapadões	74,11	98,11	94,81	101,86
Luziânia	69,53	87,15	76,51	102,00
M-Soy 8914	71,31	90,11	81,46	100,49

^(a) média significativamente diferente da cultivar testemunha M-Soy 8008, pelo teste de Dunnet, a 5% de probabilidade.

Com relação ao teste comparativo entre testemunhas e linhagens, verificou-se que houve diferença significativa entre as linhagens para FRP_r e FRP_{AACPD}, a 5% de probabilidade, pelo teste de Dunnett (Tabelas 14 e 15). Entre as testemunhas, a cultivar Luziânia diferenciou significativamente da linhagem UFU 101 para a variável FRP_r. Nota-se que, para a variável FRP_{AACPD}, as linhagens UFU 106, 110 e 114 diferiram da testemunha Luziânia e apresentaram médias superiores a esta.

3.6 - Método de AMMI

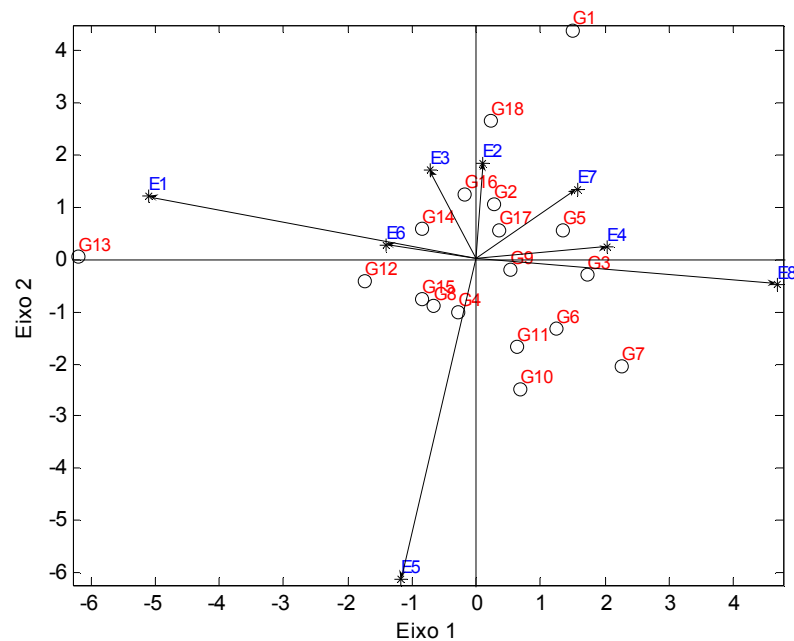
3.6.1 - Variável FRP_r

O desdobramento da $SQ_{G \times E}$, correspondente aos quadrados dos valores singulares, é apresentado na Tabela 16. Nesta tabela, também é apresentado o teste F de Gollob para determinar o número de componentes adequado para explicar a $SQ_{G \times E}$.

TABELA 16. Teste F de Gollob para a variável FRPr para determinar o número de termos significativos para a interação G x E. Uberlândia, MG, 2011.

Eixo	Autovalor (λ_k^2)	Proporção explicada	Proporção Acumulada	GL	QM	F	Valor-p
1	3330,391	45,493	45,493	22	151,381	3,836	0
2	1790,525	24,458	69,952	20	89,526	2,268	0,002
3	1044,550	14,268	84,221	18	58,030	1,470	0,099
4	506,075	6,913	91,134	16	31,629	0,801	0,683
5	353,005	4,822	95,956	14	25,214	0,639	0,831
6	207,715	2,837	98,793	12	17,309	0,438	0,946
7	88,305	1,206	100	10	8,830	0,223	0,993

Pela Tabela 16, observa-se que o modelo AMMI com dois componentes explica 69,9% da soma de quadrados da interação entre genótipos e ambientes. Portanto, a escolha do modelo AMMI2, um biplot de duas dimensões, mostra-se adequada, neste caso, pois utiliza apenas os dois primeiros componentes para obter as coordenadas dos genótipos e ambientes. O biplot referente a variável FRPr é apresentado na Figura 1.



FIG

URA 1 – Biplot para os dados referente à FRP_r, com 18 linhagens e 8 ambientes.

De acordo com Araújo (2009), a estabilidade é avaliada inspecionando-se os pontos próximos da origem, correspondentes aos genótipos e ambientes mais estáveis. Logo, por este gráfico, nota-se que todas as linhagens, com exceção das 101, 107, 110, 113 e 118, são estáveis e contribuíram pouco para a interação. No entanto, buscaram-se para as linhagens em questão, além de estabilidade, os melhores níveis de resistência à ferrugem. As estimativas das médias das linhagens e dos ambientes, com relação ao fator de resistência parcial de “r”, são apresentadas na Tabela 17.

TABELA 17. Médias das linhagens, ambientes e posição das médias em relação ao FRP_r. Uberlândia, MG, 2011.

Linhagem	Média	Posição	Ambiente	Média	Posição
G1 (UFU-101)	55,19	18	E1 - Uberlândia 07/08	54,37	6
G2 (UFU-102)	71,08	1	E2 - Uberaba 07/08	90,66	1
G3 (UFU-103)	68,10	4	E3 - Campo Alegre 07/08	51,97	7
G4 (UFU-104)	66,70	9	E4 - Senador Canedo 07/08	86,66	2
G5 (UFU-105)	63,94	13	E5 - Uberlândia 08/09	60,14	5
G6 (UFU -106)	67,79	5	E6 - Uberaba 08/09	25,93	8
G7 (UFU-107)	64,72	12	E7 - Campo Alegre 08/09	69,25	4
G8 (UFU-108)	64,89	11	E8 - Senador Canedo 08/09	86,05	3
G9 (UFU-109)	67,12	7			
G10 (UFU-110)	68,38	3			
G11 (UFU-111)	63,92	14			
G12 (UFU-112)	63,27	16			
G13 (UFU-113)	63,63	15			
G14 (UFU-114)	67,04	8			
G15 (Garantia)	62,86	17			
G16 (Chapadões)	68,57	2			
G17 (Luziânia)	66,67	10			
G18 (M-Soy 8914)	67,42	6			

Destacam-se as linhagens UFU 102, 103, 106, 110 e a cultivar Chapadões no que concerne às maiores médias de FRP_r. Sendo que a linhagem UFU 110, apesar de ter obtido a terceira maior média, mostrou-se mais adaptada ao ambiente E5 (Uberlândia 08/09), o qual apresentou elevada pressão de doença. Isso revela a possibilidade de indicação desse material para ambientes com alta pressão de ferrugem.

As linhagens UFU 113 e 107 tiveram adaptações específicas (coordenadas das linhagens estão próximas às coordenadas dos ambientes) aos ambientes E1 (Uberlândia 08/09) e E8 (Senador Canedo 08/09), respectivamente. A linhagem UFU 101 não se adaptou especificamente a nenhum ambiente. No entanto, esses materiais não apresentaram boas médias do fator de resistência.

O ranqueamento dos genótipos em ambientes estáveis é de maior confiança para o melhorista. Logo, pode-se inferir que Uberaba e Campo Alegre, nas duas safras agrícolas, e Senador Canedo (safra 07/08) proporcionaram melhores condições para adaptabilidade dos materiais, ou seja, favoreceram o fator de resistência parcial.

3.6.2 - Variável FRP_{AACPD}

Na Tabela 18, é apresentado o teste F de Gollob para determinar o número de componentes adequado para explicar a soma de quadrados da interação genótipo x ambiente (SQ_{GxE}). O modelo AMMI, com dois componentes, explica 78,3% da SQ_{GxE} .

TABELA 18. Teste F de Gollob para a variável FRP_{AACPD} para determinar o número de termos significativos para a interação G x E. Uberlândia, MG, 2011.

Eixo	Autovalor (λ_k^2)	Proporção explicada	Proporção Acumulada	GL	QM	F	Valor-p
1	2397,026	46,994	46,994	22	108,955	5,050	0
2	1085,444	21,280	68,274	20	54,272	2,515	0,001
3	778,540	15,263	83,538	18	43,252	2,004	0,002
4	379,866	7,447	90,985	16	23,741	1,100	0,354
5	345,360	6,770	97,756	14	24,668	1,143	0,319
6	76,136	1,492	99,249	12	6,344	0,294	0,989
7	38,294	0,750	100	10	3,829	0,177	0,997

Visualizando o biplot (Figura 2) referente à variável FRP_{AACPD} , nota-se que as linhagens de maior estabilidade foram as UFU 111, 108, 114, 106, 104, 109 e as cultivares Garantia (G15) e Chapadões (G16). Entretanto, conforme Correia (2007), para fins de recomendação, deve-se considerar também a média de produtividade do genótipo, pois nem sempre o genótipo mais estável será o que apresenta maiores médias de produtividade. Especificamente no caso desse estudo, nem sempre o genótipo mais estável será o que apresenta maior nível de resistência à ferrugem. Entre as linhagens estáveis e com maiores níveis de resistência, destacam-se a 114 e 106 que tiveram a segunda e a terceira maior média, respectivamente, em termos do fator de resistência parcial de AACPD (Tabela 19).

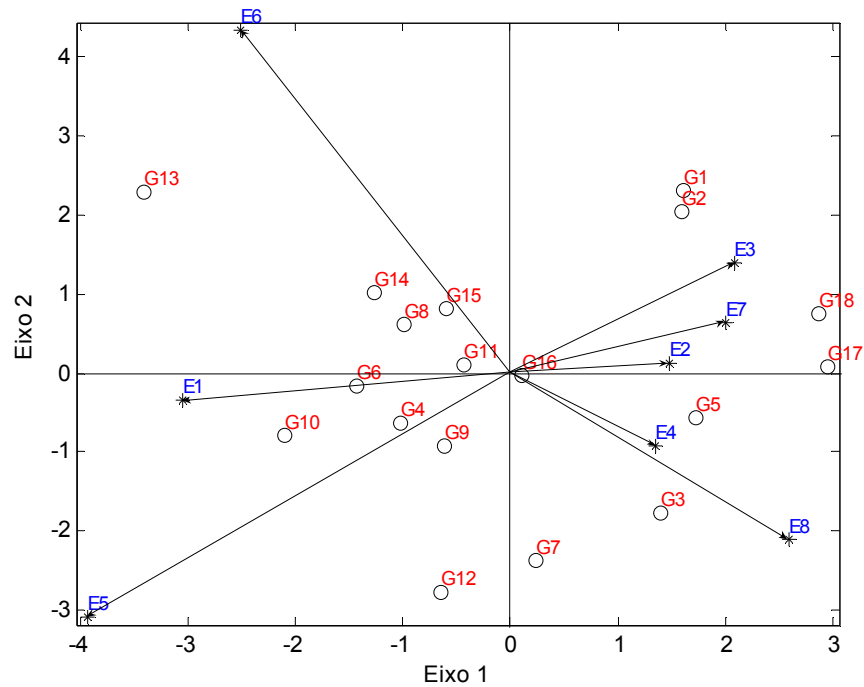


FIGURA 2. Biplot para os dados referente ao FRP_{AACPD} de 18 linhagens e 8 ambientes.

TABELA 19. Médias das linhagens, ambientes e posição das médias em relação ao nível de resistência para a “ FRP_{AACPD} ”. Uberlândia, MG, 2011.

Linhagem	Média	Posição	Ambiente	Média	Posição
G1 (UFU-01)	69,93	17	E1 - Uberlândia 07/08	58,93	7
G2 (UFU-02)	75,76	4	E2 - Uberaba 07/08	95,27	1
G3 (UFU-03)	74,43	8	E3 - Campo Alegre 07/08	68,38	5
G4 (UFU-04)	74,72	6	E4 - Senador Canedo 07/08	93,01	2
G5 (UFU-05)	72,09	14	E5 - Uberlândia 08/09	60,17	6
G6 (UFU -06)	77,47	3	E6 - Uberaba 08/09	39,39	8
G7 (UFU-07)	70,81	16	E7 - Campo Alegre 08/09	82,30	4
G8 (UFU-08)	74,17	9	E8 - Senador Canedo 08/09	92,93	3
G9 (UFU-09)	75,58	5			
G10 (UFU-010)	78,03	1			
G11 (UFU-011)	73,32	11			
G12 (UFU-012)	72,73	12			
G13 (UFU-013)	74,54	7			
G14 (UFU-014)	77,60	2			
G15 (Garantia)	72,27	13			
G16 (Chapadões)	74,11	10			
G17 (Luziânia)	69,53	18			
G18 (M-Soy 8914)	71,31	15			

A análise visual do gráfico *biplot* permite avaliar que as linhagens apresentaram distribuição heterogênea e que existem pontos de maior proximidade com a origem, possibilitando a recomendação das linhagens conforme sua adaptabilidade a um conjunto de ambientes (Figura 2). Assim, a adaptabilidade específica da linhagem UFU 110 em Uberlândia, na safra 07/08, ambiente com alta pressão de doença, mostra-se como uma interação positiva, uma vez que a linhagem apresentou a maior média de FRP_{AACPD} .

Nota-se por esse gráfico, que os ambientes tiveram uma grande contribuição para a interação $G \times E$, pois apresentaram pontos distantes da origem. Logo, a recomendação generalizada dos locais é dificultada. No entanto, pode-se concluir que, entre as linhagens com FRP_{AACPD} altos, a UFU 106 e 114 são de adaptabilidade geral e a UFU 110 de adaptabilidade específica.

3.7 - Considerações Finais

Para caracterizar cada linhagem quanto à expressão da resistência horizontal, fez-se uma analogia entre as médias das variáveis r e AACPD, as médias de produção das linhagens e os parâmetros de adaptabilidade e de estabilidade estimados pelas metodologias de Eberhart e Russell (1966), Annicchiarico (1992) e AMMI (Tabela 20).

TABELA 20. Expressão da resistência à ferrugem de 18 linhagens de ciclo médio/tardio com base nas médias de r e AACPD, médias de produção, metodologia de Eberhart e Russell, Annicchiarico e AMMI. Uberlândia, MG, 2011.

	Expressão da Resistência à Ferrugem					
	Médias r	Médias AACPD	Médias Produção	Método Eberhart e Russell	Método de Annicchiarico	AMMI
UFU-101	-	-	+	-	-	-
UFU-102	+	+	-	-	+	-
UFU-103	+	-	-	+	-	-
UFU-104	+	-	-	+	-	-
UFU-105	+	+	-	-	-	-
UFU-106	+	+	-	+	+	+
UFU-107	+	-	+	-	-	-
UFU-108	-	-	-	-	-	-
UFU-109	+	-	-	+	+	-
UFU-110	+	+	-	+	+	+
UFU-111	+	-	-	-	-	-
UFU-112	-	-	-	-	-	-
UFU-113	-	-	-	-	-	-
UFU-114	+	+	-	+	+	+
Garantia	-	-	-	-	-	-
Chapadões	+	+	-	+	-	-
Luziânia	+	+	-	-	-	-
M-Soy 8914	-	-	+	-	-	-

+, -: expressão da resistência e não expressão da resistência, respectivamente.

As linhagens que se mostraram mais resistentes à ferrugem nos quatros locais e nos dois anos estudados, em geral, também foram os de melhor adaptabilidade e estabilidade, tanto para “r”, quanto para AACPD, com destaque para: UFU 106, 110 e 114. Essas linhagens mostraram-se promissoras, podendo contribuir de alguma forma para o desenvolvimento de cultivares resistentes à ferrugem asiática em programas de melhoramento, havendo necessidade de mais estudos.

As linhagens UFU 108, 111, 112 e 113 e a cultivar Garantia apresentaram os piores desempenhos com relação à estabilidade da resistência.

Devido ao seu maior tempo de exposição no campo, as linhagens de ciclo médio/tardio podem sofrer maiores danos com a ferrugem, uma vez que com o ciclo prolongado da cultura, o fungo continua multiplicando e aumentando a pressão de inóculo em campo, dificultando assim a expressão da resistência parcial.

A interação genótipo x ambiente assume papel fundamental na manifestação fenotípica, devendo, portanto, ser estimada e considerada na indicação de cultivares e no programa de melhoramento genético (Prado et al., 2001).

Conforme Cruz e Carneiro (2006), a identificação de cultivares que apresentam ampla adaptabilidade e boa estabilidade é uma das mais usadas para atenuar os efeitos da interação genótipo x ambiente.

As metodologias de adaptabilidade e estabilidade fenotípica estudadas foram concordantes e complementares quanto aos resultados apresentados.

4 – CONCLUSÕES

Os métodos empregados permitiram identificar as linhagens mais estáveis e responsivas.

As linhagens que apresentaram maior adaptabilidade e estabilidade de resistência à ferrugem foram: UFU 106 ((DM Vitória x FT 104) x (FT 107 x Liderança)), UFU 110 ((IAS 5 x Br 4) x UFV 16)) e UFU 114 (FT 50268M x UFV 18).

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE ÓLEOS VEGETAIS. **Exportações do Complexo Soja**. Disponível em: <<http://www.abiove.com.br/export.html>> Acesso em: 29 de out. de 2010.
- ALLARD, R.W.; BRADSHAW, A.D. Implications of genotype-environmental interactions in applied plant breeding. **Crop Science**, Madison, v.4, n.5, p.503-508, 1964.
- ALLIPRANDINI, L. F.; et al. Efeitos da interação genótipo x ambiente sobre a produtividade da soja no Estado do Paraná. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 29, n. 9, p.1433-1444, set. 1994.
- _____. et al. Análise de adaptação e estabilidade de genótipos de soja no Estado do Paraná. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.33, n.9, p.1321-1328, 1998.
- ANNICHIARICO, P. **Genotype x Environment Interactions - Challenges and Opportunities for Plant Breeding and Cultivar Recommendations**. Rome: FAO Corporate Document Repository, 2002. 126p.
- _____. Cultivar adaptation and recommendation from alfalfa trials in Northern Italy. **Journal of Genetics and Plant Breeding**, Rome, v. 46, p. 269-278, Setp.1992.
- ARAÚJO, L. B. **Seleção e análise de modelos PARAFAC e Tucker e gráfico triplot com aplicação em interação tripla**. 2009. 111f. Tese (Doutorado em Estatística e Experimentação Agronômica) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba. 2009.
- BALARDIN, R. S.; et al. 2010. O Custo das Doenças e as Vantagens de seu Controle. In: Sillon, M.; Muñoz, R. (Org.). Las enfermedades del cultivo de soja y su importancia en los países del Mercosur.
- CRUZ, C. D. **Programa GENES** - Aplicativo computacional em genética e estatística. Versão Windows 2007.0.0. 2007.
- _____. CARNEIRO, P. C. S. Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético. 2 ed. Viçosa: Editora UFV, 2006. 585 p. v. 2
- _____.; REGAZZI, A. J.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos Biométricos aplicados ao Melhoramento Genético**. 3. ed. Viçosa: UFV, 2004. 480 p. v.1.
- DEL PONTE, E. M.; et al. Predicting severity of Asian soybean rust epidemics with empirical rainfall models. **Phytopathology**, St Paul, v. 96, p.797-803, 2006
- DUARTE, J. B.; VENCOVSKY, R. **Interação genótipos x ambientes: uma introdução à análise AMMI**. Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Genética, 1999. 60 p.

EBERHART, S. A.; RUSSELL, W. A. Stability parameters for comparing varieties. **Crop Science**, Madison, v. 6, n. 3, p. 36-40, May/June. 1966.

FEHR, W. P.; CAVINESS, C. E. **Stages of soybean development**. Agriculture and Home Economics Experiment Station and Cooperative Extension Service. Ames: Iowa State University, 1977. 11p. (Special Report 80).

FERREIRA, P. V. 2006. Melhoramento de plantas visando à resistência a doenças. In: **Melhoramento de plantas: resistência às doenças e aos insetos-praga**. Maceió: Edufal, 2006. v. 6, cap. 1, p. 477-515.

GABRIEL, K. R. The biplot graphic of matrices with application to principal component analysis. **Biometrika**, London, v. 58, n. 3, p. 453-467, 1971.

GIECO, J.O. **Interação genótipos x ambientes e implicações para o melhoramento da soja**. Piracicaba, 1997. 98 f. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo. Piracicaba. 1997.

GOLLOB, H. F. A statistical model which combines features of factor analytic and analysis of variance techniques. **Psychometrika**, Toronto, v. 33, n. 1, p. 73-145, Jan. 1968.

JULIATTI, F. C.; et al. 2005. Ferrugem da soja – Epidemiologia e manejo para uma doença reemergente. In: Luz, W.C.; Fernandes, J.M.C.; Prestes, A.M.; Picinini, E.C. **Revisão Anual de Patologia de Plantas**. Passo Fundo, 13:351-395.

_____.; et al. Eficiência dos fungicidas aprovados na RPSRCB no controle da ferrugem asiática da soja, em Uberaba –MG. Universidade Federal de Uberlândia, p.79-91. In: **Documentos...** Embrapa-Soja, Resultados dos ensaios cooperativos para o controle da ferrugem asiática da soja, safra 2008-9. ISSN 2176-2937, versão eletrônica, Nov. 2009, (documento n. 317).

JULIATTI, F. C.; BALARDIN, R. S.; MARTINS, J. A. S.; REZENDE, A. A.; LENTZ, G. 2010. **Resistência genética da soja à *Phakopsora pachyrhizi* e uso de fungicidas no manejo sustentável da doença**. In: Luz, W.C.; Fernandes, J.M.C.; Prestes, A.M.; Picinini, E.C. **Revisão Anual de Patologia de Plantas**. Passo Fundo, v. 18, p.77-118. 2010.

KAWUKI, R. S.; ADIPALA, E.; TUKAMUHABWA, P. Yield loss associated with soya bean rust (*Phakopsora pachyrhizi* Syd.) in Uganda. **Journal of Phytopathology**, Hamburg, v.151, p.7-12, 2003.

KEMPTON, R. A. The use of biplots in interpreting variety by environment interactions. **Journal of Agricultural Science**, Cambridge, Inglaterra, v. 103, p. 123-135, 1984.

KOGA, L. J. **Ferrugem Asiática da Soja: resistência, controle químico e tolerância**. Londrina. 2008. 92f. Tese (Doutorado). Universidade Estadual de Londrina. Londrina, 2008.

MACHADO, J. R. A.; et al. Adaptabilidade e estabilidade de genótipos de algodoeiro para características tecnológicas de fibra. **Revista Brasileira de Oleaginosas Fibrosas**, Campina Grande, v.7, p.673-683, 2003.

MANDEL, J. **A new analysis of variance model for non-additive data**. Technometrics, Alexandria, v. 13, p. 1-18, 1971.

MORAIS, L. K. **Adaptabilidade e estabilidade fenotípica em soja nos Estados de Mato Grosso e Mato Grosso do Sul**. 2005. 115 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos – UFG, Goiânia, 2005.

NJITI, V. N.; et al. Relationship between soybean sudden death syndrome disease measures and yield components in F6-derived lines. **Crop Science**, Madison, v.38, n.3, p.673-678, 1998.

PEREIRA, D. G.; et al. Adaptabilidade e estabilidade de genótipos de soja avaliados para resistência ao oídio. **Ciencia Rural**, Santa Maria, v. 38, n. 7, Oct. 2008.

PRADO, E. E. do et al. Adaptabilidade e estabilidade de cultivares de soja em cinco épocas de plantio no cerrado de Rondônia. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v. 36, n. 4, p. 625-635, abr. 2001.

POLIZEL, A. N. **Adaptabilidade e estabilidade de genótipos de soja no estado do Mato Grosso e reação de 111 genótipos à ferrugem asiática**. 2007. 170f. Tese (Doutorado em Genética e Bioquímica)-Instituto de Genética e Bioquímica, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia. 2007.

REZENDE, D. F. **Performance e divergência genética em genótipos de soja de ciclo de maturação semiprecoce e médio/tardio em diferentes estados do Brasil**. 2009. 147 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia)-Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia. 2009.

ROCHA, M.M. **Interação genótipos x locais em linhagens experimentais de soja com diferentes ciclos de maturação.**, 1998. 98f. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1998.

SHANMUGASUNDARAM, S.; YAN, M. R.; WANG, T. C. Breeding for soybean rust resistance in Taiwan. In: WORLD SOYBEAN RESEARCH CONFERENCE, 7. 2004, Foz do Iguaçu, **Proceedings**...Londrina: EMBRAPA SOJA, p. 456-462. 2004.

SILVA, W.C.J.; DUARTE, J.B. Métodos estatísticos para estudo de adaptabilidade e estabilidade fenotípica em soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.41, p.23-30, 2006.

STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM INSTITUTE. **SAS/STAT software: changes and enhancements through release 8.02**. Cary: SAS, 1999. (CD-ROM).

TSCHANZ, A. T. (1984) Soybean rust epidemiology: Final Report. **Asian Vegetable Research and Development Center**, Shanhua, Taiwan.

TSCHANZ, A.T.; WANG, T.C. Interrelationship between soybean development, resistance, and *Phakopsora pachyrhizi*. In: INTERNATIONAL CONGRESS OF THE SOCIETY FOR THE ADVANCED OF BREEDING RESEARCH IN ASIA AND OCEANIA, 5., 1985. Bangkok. **Proceedings...** Bangkok: Society for the Advanced of Breeding Research in Asia and Oceania, 1985. p.14-20.

YANG, X. B.; et al. Development of yield loss models in relation to reductions of components of soybean infected with *Phakopsora pachyrhizi*. **Journal of Phytopathology**, Hamburg, v. 81, n. , p. 1420-1426. 1991.

ZOBEL, R. W.; WRIGHT, M. J.; GAUCH, H. G. Statistical analysis of a yield trial. **Agronomy Journal**, Madison, v. 80, p. 388-393, 1988.

CONSIDERAÇÕES GERAIS

O controle genético da resistência à ferrugem asiática foi estudado a partir dos cruzamentos Caiapônia x IAC 100 e Luziânia x Potenza. Demonstrou-se que é um caráter governado por 2 a 23 genes, com predominância dos efeitos dominantes no controle. A estimativa da herdabilidade no sentido restrito, acima de 70 % para o cruzamento Caiapônia x IAC 100 e amplo acima de 60 %, para o cruzamento Luziânia x Potenza, mostrou que há possibilidade de sucesso na seleção de indivíduos resistentes já nas gerações iniciais.

Verificou-se a adaptabilidade e estabilidade fenotípica de linhagens de soja de ciclos de maturação semiprecoce e médio /tardio, utilizando a severidade da ferrugem asiática como parâmetro de seleção para resistência parcial. As linhagens de ciclo semiprecoce que se mostraram mais resistentes à ferrugem nos quatros locais e nos dois anos estudados, em geral, também foram as de melhor adaptabilidade e estabilidade, tanto para redução da taxa de progresso absoluta média da doença (“r”), quanto para redução da área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD), com destaque para: UFU 001 ((Liderança x UFV 16) x (UFU18 x Br 95015308)), 006 (Canário x MGBR-46 Conquista), 007(RC1 PI 416937 x IAC 8.2), 009 (RC2 (IAC 100 x Emgopa 302)) e 0013 ((FT 45.302 x Liderança) x (FT 4.2988 x MGBR-46 Conquista)). A linhagem UFU 009 apresentou adaptação específica, podendo ser indicada para ambientes com alta pressão de doença. Entre as linhagens de ciclo médio/tardio que apresentaram maior adaptabilidade e estabilidade de resistência à ferrugem foram: UFU 106 ((DM Vitória x FT 104) x (FT 107 x Liderança)), UFU 110 ((IAS 5 x Br 4) x UFV 16)) e UFU 114 (FT 50268M x UFV 18).

Conclui-se que os métodos empregados permitiram identificar as linhagens mais estáveis e responsivas.

ANEXOS

TABELA 1A - Caracterização dos ambientes testados nas safras agrícolas 2007/08 e 2008/2009. Uberlândia, 2011.

Local/Estado	Altitude (m)	Latitude (S)	Longitude (W)	Tipo solo	Época plantio
Uberlândia (MG)	872m	18° 55' 23''	48° 17' 19''	LVD ¹	Novembro
Uberaba (MG)	780 m	19° 44' 13''	47° 57' 27''	LVD ¹	Novembro
Campo Alegre (GO)	960 m	17° 25' 51,3''	47° 50' 24,2''	LVAD ²	Novembro
Senador Canedo (GO)	759 m	16° 43' 36.2''	49° 07' 9,2''	LVD ¹	Novembro

¹ Latossolo Vermelho Distrófico

² Latossolo Vermelho – Amarelo Distrófico

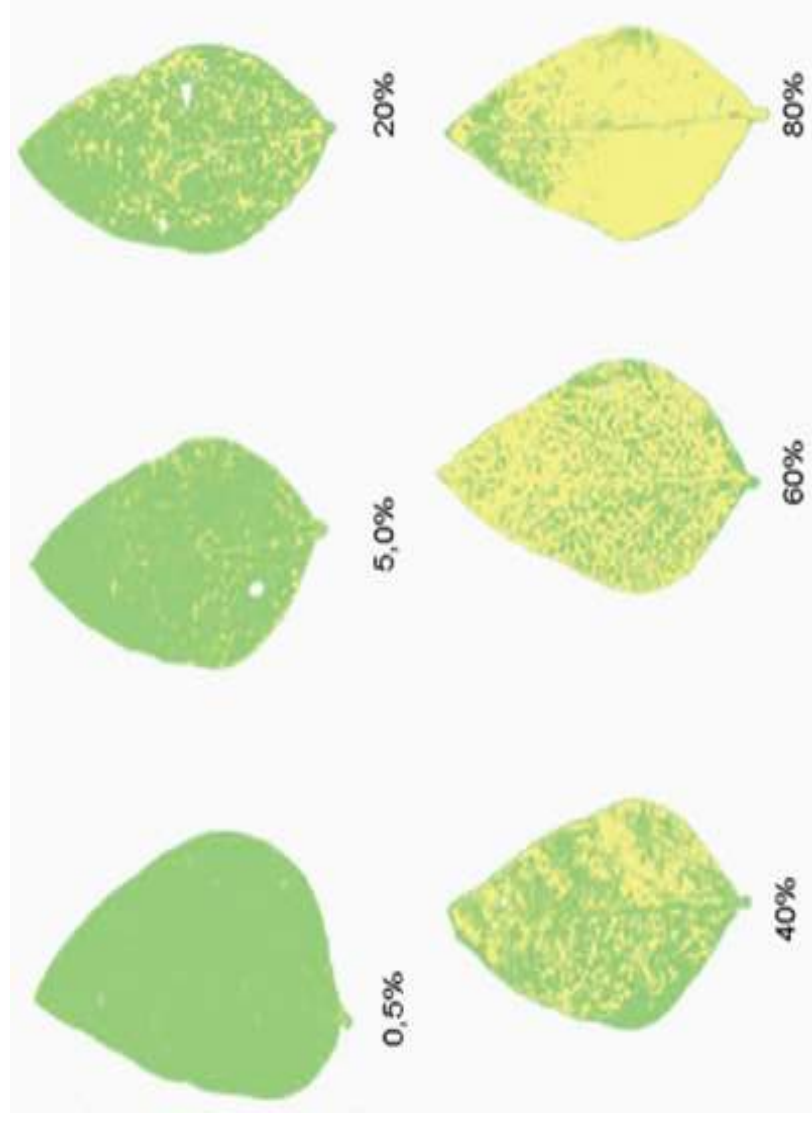


FIGURA 1A. Escala diagramática para avaliar a severidade da ferrugem da soja (JULIATTI et al., 2009).

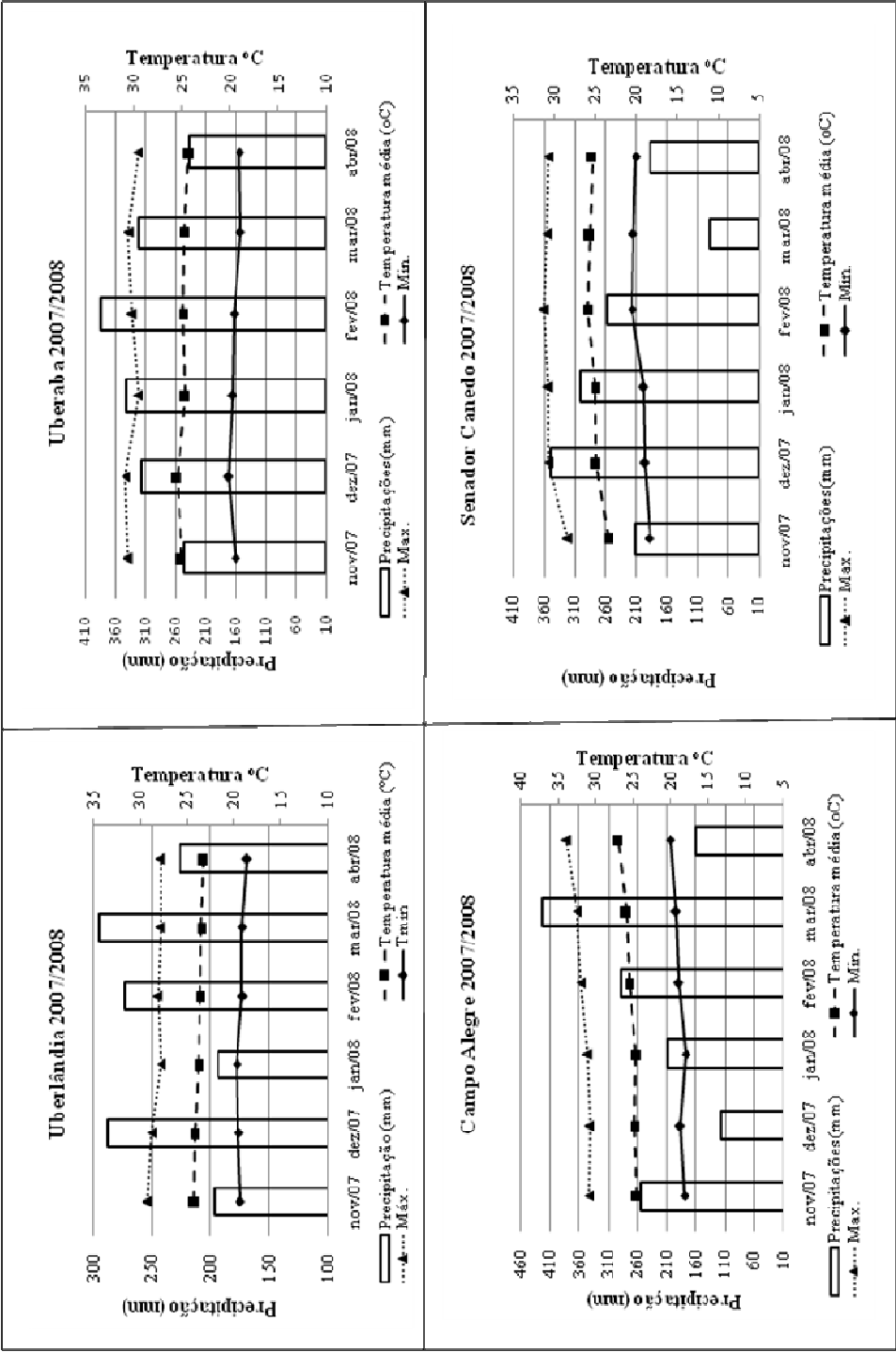


FIGURA 2A - Temperatura e precipitação pluviométrica média mensal no período de novembro de 2007 a abril de 2008. Uberlândia, 2011.

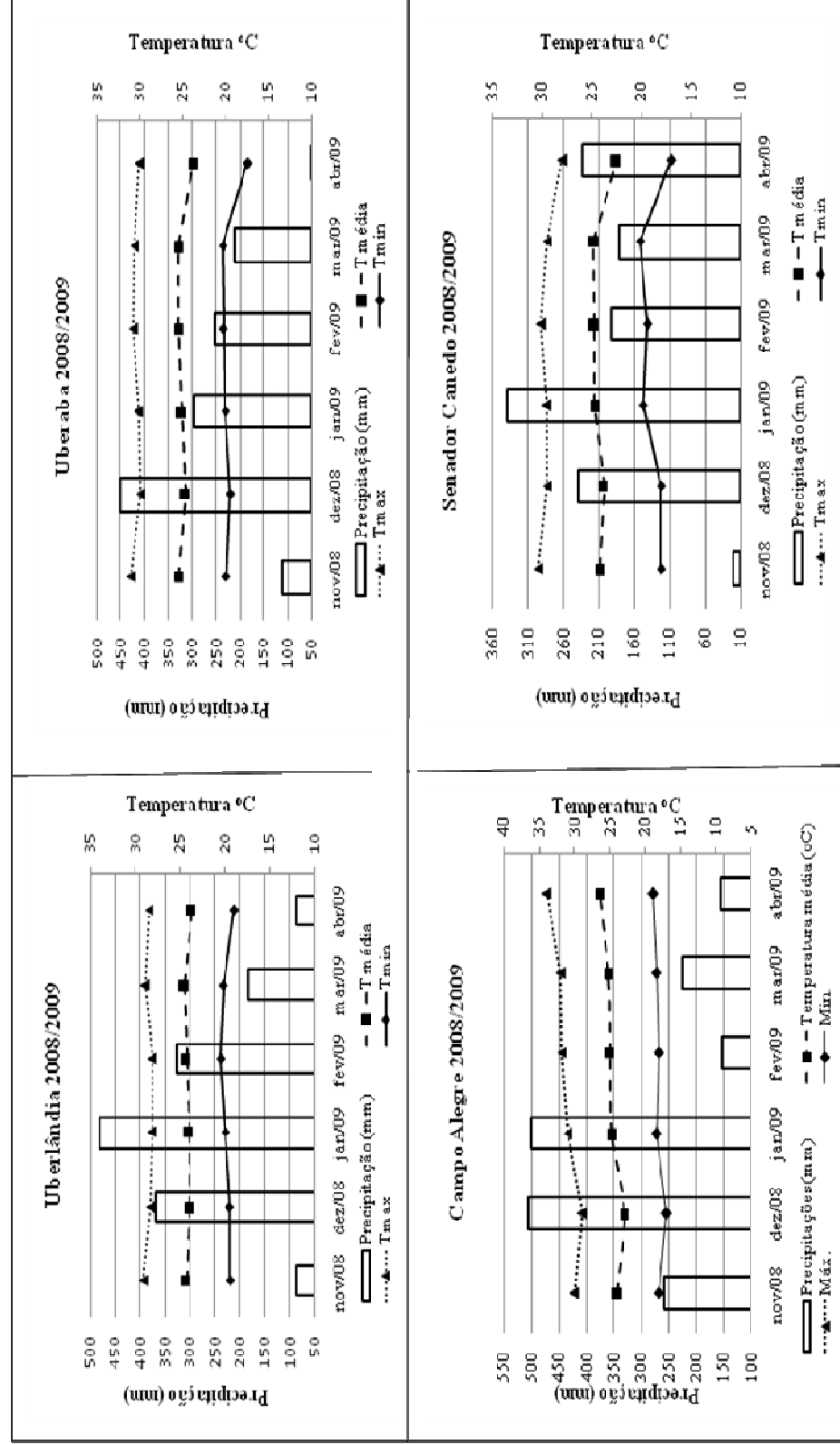


FIGURA 3A - Temperatura e precipitação pluviométrica média mensal no período de novembro de 2008 a abril de 2009. Uberlândia, 2011.