

EDER NOVAES MOREIRA

**EPIDEMIOLOGIA COMPARATIVA DA FERRUGEM ASIÁTICA
(*Phakopsora pachyrhizi* Sydow) EM CULTIVARES DE SOJA DE
DIFERENTES GRUPOS DE MATURAÇÃO**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Fitopatologia, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2013

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e
Classificação da Biblioteca Central da UFV**

T

M838e
2013

Moreira, Eder Novaes, 1978-
Epidemiologia comparativa da ferrugem asiática (*Phakopsora pachyrhizi* Sydow) em cultivares de soja de
Diferentes grupos de maturação / Eder Novaes Moreira. –
Viçosa, MG, 2013.
xxii, 65f. : il. ; 29cm.

Orientador: Francisco Xavier Ribeiro do Vale.
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.
Inclui bibliografia.

1. Ferrugem-da-soja 2. Soja - Doenças e pragas.
3. Epidemiologia I. Universidade Federal de Viçosa.
Departamento de Fitopatologia. Programa de Pós-Graduação em
Fitopatologia. II. Título.

CDD 22. ed. 579.59

EDER NOVAES MOREIRA

**EPIDEMIOLOGIA COMPARATIVA DA FERRUGEM ASIÁTICA
(*Phakopsora pachyrhizi* Sydow) EM CULTIVARES DE SOJA
DE DIFERENTES GRUPOS DE MATURAÇÃO**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Fitopatologia, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

APROVADA: 28 de fevereiro de 2013.

Helcio Costa

Waldir Cintra de Jesus Junior

Luiz Antonio Maffi
(Coorientador)

Fabício Ávila Rodrigues
(Coorientador)

Francisco Xavier Ribeiro do Vale
(Orientador)

A curva do progresso de nossas vidas é traçada por constantes desafios, cada vez maiores. Por mais difíceis que sejam, não podemos deixar que a taxa (r) ou a velocidade com que as coisas acontecem, tirem o foco de nossos objetivos.

Portanto, devemos ter Deus em nossas ações e coração, também humildade, persistência, vontade de querer alcançar e vencê-los.

(Eder N. Moreira, 2013)

Não desamparados

*Em tudo somos atribulados, mas **não angustiados**; perplexos, mas **não desanimados**, perseguidos, mas **não desamparados**; abatidos, mas **não destruídos**;*

*(...) mas, ainda que o nosso homem exterior se corrompa, o interior, contudo, se renova de dia em dia. Porque a nossa **leve e momentânea** tribulação produz para nós um peso eterno de **glória** mui excelente;*

Não atentando nós nas coisas que se veem, mas nas que se não veem; porque as que se veem são temporais, e as que se não veem são eternas.

(II Coríntios 4:8-18)

À minha esposa **Patrícia Danielle Menezes Murila Moreira** (In
memoriam), pelo amor, companheirismo, apoio constante, carinho e
respeito... por fazer parte desta realização...

DEDICO

*A*os meus pais **Bernardo e Nilce**, pelo incentivo,
pela educação, pelas orações e, principalmente, pelo
exemplo de vida que me ensinaram o valor do
trabalho e da persistência.
Aos irmãos **Bernardo, Evander e Elce**, pelo
incentivo e pela amizade;
Aos meus avós **Américo e Luzia, Adelino e**
Otilia (In Memoriam), pelo carinho e apoio.

OFEREÇO

AGRADECIMENTOS

A DEUS, por permitir a vida e a inteligência e por me conceder a inquietude e o questionamento. Por conduzir com sabedoria o tempo de acontecimento das coisas (Ec. 3.1-8).

À Universidade Federal de Viçosa (UFV) e ao Departamento de Fitopatologia, pela oportunidade de realizar este curso e por proporcionarem condições de realizar este trabalho.

Ao meu orientador Professor Francisco Xavier Ribeiro do Vale, pela amizade, pela imensa paciência nestes últimos meses, pelas discussões que nos fazem pensar, pelo apoio e incentivo nos momentos difíceis, pela orientação deste trabalho e pelo seu exemplo de caráter, competência e profissionalismo.

Aos Professores Fabricio de Ávila Rodrigues e Luiz Antonio Maffia, pela amizade e colaboração para a realização deste trabalho.

Ao Professor Waldir Cintra de Jesus Jr. e ao Pesquisador Helcio Costa, pela colaboração e contribuição neste trabalho.

Ao Professor Pierce Anderson Paul, pela oportunidade de ter realizado o Doutorado-Sanduiche na Ohio State University – OARDC, pelas ideias na elaboração deste trabalho, pela orientação e ajuda nas análises estatísticas.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela bolsa de estudos concedida desde a iniciação científica.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), pelo apoio financeiro do projeto.

Aos Professores do Departamento de Fitopatologia da UFV, pela paciência, amizade e pelos valiosos ensinamentos transmitidos durante o curso.

Aos estagiários do Curso de Agronomia, os quais colaboraram no desenvolvimento dos experimentos em Viçosa Fernando, Pablo, Dida, Sileimar e Isaías.

A todos os funcionários do Departamento de Fitopatologia, em especial ao Sr. Antônio Macabeu, Mário, Camilo, Bruno e Nivaldo Sérgio, pelos conselhos e pela ajuda durante esse período.

À Fundação de Apoio à Pesquisa e Desenvolvimento Integrado Rio Verde, pela oportunidade de viabilizar a instalação dos experimentos durante as safras 2009/2010 e 2010/2011.

Aos meus amigos do Mato Grosso Poliana, Mauricio, Leonardo, Renata, Anderson, Jackson, Lussane, Evandro, Ligiane, Avanice, Ademir, Edson, Darcio, Juliana e Jaqueline e ao Pastor Neto, pela ajuda, amizade e pelo incentivo.

À família Menezes, em especial a Senhora Maria Lordes e Waldely, Celio Antero e Vilma, pelo apoio.

Ao meu amigo e Professor Ricardo Trezzi Casa, pelos primeiros passos na área de Fitopatologia, pelos ensinamentos e pelas oportunidades.

Aos meus colegas do Departamento de Fitopatologia Gisele, Eleonora, Cristian, Ueder, Rodrigo, Jaime, Braz e Alexandre, pela amizade e pelo incentivo.

A todos os meus colegas e amigos do Laboratório de Interação Planta-Patógeno, pelo companheirismo.

Ao meu amigo Henrique da S. Silveira Duarte, pela companhia nos momentos difíceis, pela sua paciência, pelas discussões científicas positivas e pelos ensinamentos durante o Doutorado-Sanduiche na Ohio State University.

Aos meus amigos nos EUA Liliam, Jason, Ethan, Andréia, Aninha e Guilherme, pela atenção, ajuda e pelo carinho no período que estive nos EUA.

Aos meus amigos de Wooster e Smithville Daniela, Matheus, Misses Maasz, Phil, Janet Calhoun, Jhony Mera, David Salgado, Elizabeth, Maurício, Luciano, Liz, Edmilson, Felipe, Zélia e Jim Fish e aos Pastores Ivanildo e Daron, por terem me ajudado muito no período de Doutorado-Sanduíche.

Em especial à Senhora Celeste e ao seu esposo Alan e Bárbara, Noêmia, Deborah e Tomaz, pelos conselhos, pela ajuda e pelas orações.

Às minhas novas amigadas e aos meus colegas adquiridos nesta etapa da vida.

E a todas as pessoas aqui não mencionadas, por, de alguma forma, terem-me ajudado a tornar realidade esta formação.

BIOGRAFIA

EDER NOVAES MOREIRA, filho de Bernardo Moreira e Nilce Novaes Moreira, nasceu em 18 de agosto de 1978, na cidade de Registro, Estado de São Paulo.

Em março de 1995, iniciou a Escola Técnica Agrícola Estadual Professor Edson Galvão, Itapetininga, SP, recebendo a formação de Técnico em Agropecuária em 1997. Posteriormente, no período de 1998 a 2000, trabalhou na empresa Citrovita Agrícola Ltda. – Grupo Votorantim, atuando como inspetor citrícola de pragas e doenças.

Graduou-se engenheiro-agrônomo, pela Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC, em Lages, SC, no ano de 2006.

Durante a graduação foi bolsista do Programa Iniciação Científica do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

Em março de 2007, ingressou no Programa de Pós-Graduação, em nível de Mestrado, em Agronomia - concentração em Fitopatologia -, da Universidade de Passo Fundo (UPF), obtendo o título de *Master Scientiae* em fevereiro de 2009.

Em março de 2009, iniciou o Programa de Pós-Graduação, em nível de Doutorado, em Fitopatologia da Universidade Federal Viçosa, sob a orientação do Professor Francisco Xavier Ribeiro do Vale – nesse período foi contemplado com uma bolsa de doutorado-sanduíche para realizar atividades de pesquisa na Ohio State University – OARDC, Wooster – OHIO, sob a supervisão do professor Ph. D. Pierce Paul Anderson, trabalhando em

Epidemiologia e Análises Estatísticas, no período de fevereiro a agosto de 2012. Submeteu à defesa da Tese em 28 de fevereiro de 2013.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS.....	xi
LISTA DE FIGURAS.....	xii
RESUMO	xvii
ABSTRACT.....	xx
INTRODUÇÃO GERAL	1
REFERÊNCIAS	4
CAPÍTULO 1 EPIDEMIOLOGIA COMPARATIVA DA FERRUGEM ASIÁTICA (<i>Phakopsora pachyrhizi</i> Sydow) EM CULTIVARES DE SOJA DE DIFERENTES GRUPOS DE MATURAÇÃO	6
RESUMO 7	
1. INTRODUÇÃO.....	9
2. MATERIAL E MÉTODOS	11
2.1. Local de condução dos experimentos	11
2.2. Avaliação da severidade da FAS.....	12
2.3. Análise estatística dos dados	13
3. Resultados.....	15
3.1. Dados meteorológicos registrados durante a condução dos experimentos	15
3.2. Área abaixo da curva do progresso da FAS	16
3.3 Curvas do progresso da FAS e seleção do modelo	16
3.4. Y_{max} e a TAMIFAS.....	16

4. DISCUSSÃO.....	18
5. REFERÊNCIAS	21
6. TABELAS.....	24
7. FIGURAS.....	26
CAPÍTULO 2 DINÂMICA TEMPORAL DA FERRUGEM DA SOJA ASSOCIADA AO ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR	33
RESUMO	34
1. INTRODUÇÃO.....	36
2. MATERIAL E MÉTODOS	38
2.1.Local de condução dos experimentos	38
2.2. Avaliação da severidade da ferrugem da soja.....	39
2.3. Avaliação da área foliar e estimativa do índice de área foliar (IAF).....	40
2.4. Análises estatísticas dos dados.....	41
3. RESULTADOS	43
3.1. Dados meteorológicos registrados durante a condução dos experimentos	43
3.2. IAF e AACCIAFR.....	44
3.3. CPFAS e AACPFAS	44
3.4. Correlação entre a AACPFAR e a AACCIAFR	45
4. DISCUSSÃO.....	46
5. REFERÊNCIAS	50
6. TABELAS.....	56
7. FIGURAS.....	58
CONCLUSÕES GERAIS	65

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 1	EPIDEMIOLOGIA COMPARATIVA DA FERRUGEM ASIÁTICA (<i>Phakopsora pachyrhizi</i> Sydow) EM CULTIVARES DE SOJA DE DIFERENTES GRUPOS DE MATURAÇÃO.....	6
Tabela 1 - Datas de semeadura e cultivar usadas nos experimentos na área experimental da Fundação de Apoio à Pesquisa e ao Desenvolvimento Integrado Rio Verde, nas safras 2009/2010 e 2010/2011.....		24
Tabela 2 - Descrição dos estádios fenológicos da soja.....		25
CAPÍTULO 2	DINÂMICA TEMPORAL DA FERRUGEM DA SOJA ASSOCIADA AO ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR.....	33
Tabela 1 - Datas de semeadura e cultivar usadas nos experimentos na área experimental da Fundação de Apoio à Pesquisa e Desenvolvimento Integrado Rio Verde, nas safras 2009/2010 e 2010/2011.....		56
Tabela 2 - Descrição dos estádios fenológicos da soja.....		57

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 1 EPIDEMIOLOGIA COMPARATIVA DA FERRUGEM ASIÁTICA (*Phakopsora pachyrhizi* Sydow) EM CULTIVARES DE SOJA DE DIFERENTES GRUPOS DE MATURAÇÃO.....6

Figura 1 - Temperatura média noturna (°C) (A e B), precipitação pluvial (mm) e umidade relativa média diária noturna (%) (C e D) de 15/10/2009 a 30/04/2010 e de 15/10/2010 a 30/04/2011, nas safras 2009/2010 (A e C) e 2010/2011 (B e D).....26

Figura 2 - Área abaixo da curva do progresso da ferrugem asiática da soja (AACPFAS) nas plantas de três cultivares de soja (P98Y11RR, MSOY-8527RR e MSOY-9144RR) em quatro épocas de semeadura, nas safras 2009/2010 (A) e 2010/2011 (B). O intervalo de confiança está representado em cada barra ($P = 0,05$). Médias antecedidas por diferentes letras minúsculas entre cultivares dentro da mesma época de semeadura apresentam diferenças significativas; médias antecedidas por diferentes letras maiúsculas entre as épocas de semeadura entre cultivares apresentam diferenças significativas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.27

Figura 3 - Área abaixo da curva do progresso da ferrugem relativa (AACPFR) nas plantas de três cultivares de soja dos grupos de maturação (P98Y11RR, MSOY-8527RR e MSOY-9144RR) em quatro épocas de semeadura, nas safras

2009/2010 (A) e 2010/2011 (B). O intervalo de confiança está representado em cada barra ($P = 0,05$). Médias antecedidas por diferentes letras minúsculas entre cultivares dentro da mesma época de semeadura apresentam diferenças significativas; médias antecedidas por diferentes letras maiúsculas entre as épocas de semeadura, entre cultivares, apresentam diferenças significativas pelo teste de Tukey a de 5% de probabilidade de erro.28

Figura 4 - Taxa de progresso (r) da ferrugem asiática da soja, utilizando-se o modelo de Gompertz nas plantas de três cultivares de soja dos grupos de maturação (P98Y11RR, MSOY-8527RR e MSOY-9144RR) em quatro épocas de semeadura, nas safras 2009/2010 (A) e 2010/2011 (B). O intervalo de confiança está representado em cada barra ($P = 0,05$). Médias antecedidas por diferentes letras minúsculas entre cultivares dentro da mesma época de semeadura apresentam diferenças significativas; médias antecedidas por diferentes letras maiúsculas entre as épocas de semeadura, entre cultivares, apresentam diferenças significativas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.29

Figura 5 - Curvas de progresso da severidade da ferrugem asiática (modelo Gompertz) nas plantas de três cultivares de soja dos grupos de maturação (P98Y11RR, MSOY-8527RR e MSOY-9144RR) em quatro épocas de semeadura, nas safras 2009/2010 (A e B) e 2010/2011 (C e D). As barras representam o erro-padrão da média.30

Figura 6 - Severidade máxima (Y_{max}) da ferrugem asiática da soja nas plantas de três cultivares de soja dos grupos de maturação (P98Y11RR, MSOY-8527RR e MSOY-9144RR) em quatro épocas de semeadura, nas safras 2009/2010 (A) e 2010/2011 (B). O intervalo de confiança está representado em cada barra ($P = 0,05$). Médias antecedidas por diferentes letras minúsculas entre cultivares dentro da mesma época de semeadura apresentam diferenças significativas; médias antecedidas por diferentes letras maiúsculas entre as épocas de semeadura, entre cultivares, apresentam diferenças significativas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.....31

Figura 7 - Tempo para atingir a intensidade máxima da ferrugem asiática da soja (TAMIFAS) nas plantas de três cultivares de soja dos grupos de maturação (P98Y11RR, MSOY-8527RR e MSOY-9144RR) em quatro épocas de semeadura, nas safras 2009/2010 (A) e 2010/2011 (B). O intervalo de confiança está representado em cada barra ($P = 0,05$). Médias antecedidas por diferentes letras minúsculas entre cultivares dentro da mesma época de semeadura apresentam diferenças significativas; médias antecedidas por diferentes letras maiúsculas entre as épocas de semeadura, entre cultivares, apresentam diferenças significativas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.32

CAPÍTULO 2 DINÂMICA TEMPORAL DA FERRUGEM DA SOJA ASSOCIADA AO ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR.....33

Figura 1 - Temperatura média noturna ($^{\circ}\text{C}$) (A e B), precipitação pluvial (mm) e umidade relativa média diária noturna (%) (C e D) de 15/10/2009 a 30/04/2010 e de 15/10/2010 a 30/04/2011, nas safras 2009/2010 (A e C) e 2010/2011 (B e D).....58

Figura 2 - Duração do grupo das plantas das três cultivares de soja dos grupos de maturação precoce, médio e tardio em quatro épocas de semeadura, nas safras 2009/2010 (A) e 2010/2011 (B).	59
Figura 3 - Índice de área foliar (IAF) nas plantas das três cultivares de soja dos grupos de maturação precoce, médio e tardio em quatro épocas de semeadura, nas safras 2009/2010 (A e B) e 2010/2011 (C e D).	60
Figura 4 - Área abaixo da curva do crescimento do índice de área foliar relativa (AACCIAFR) nas plantas das três cultivares de soja dos grupos de maturação precoce, médio e tardio em quatro épocas de semeadura, nas safras 2009/2010 (A) e 2010/2011 (B).	61
Figura 5 - Curvas de progresso da severidade da ferrugem asiática ajustadas pelo modelo de Gompertz, nas plantas de três cultivares de soja dos grupos de maturação precoce, médio e tardio em quatro épocas de semeadura, nas safras 2009/2010 (A e B) e 2010/2011 (C e D).	62
Figura 6 - Área abaixo da curva do progresso da ferrugem relativa (AACPFRR) nas plantas de três cultivares de soja dos grupos de maturação (P98Y11RR, MSOY-8527RR e MSOY-9144RR) em quatro épocas de semeadura, nas safras 2009/2010 (A) e 2010/2011 (B). O intervalo de confiança está representado em cada barra ($P = 0,05$). Médias antecedidas por diferentes letras minúsculas entre cultivares dentro da mesma época de semeadura apresentam diferenças significativas; médias antecedidas por diferentes letras maiúsculas entre as épocas de semeadura e entre cultivares apresentam diferenças significativas, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.	63

Figura 7 - Correlação entre a área abaixo da curva do progresso da ferrugem relativa (AACPFRR) e a área abaixo da curva do crescimento do índice de área foliar relativa (AACCIAR) das cultivares de soja de grupo precoce (A), médio (B) e tardio (C) em quatro épocas de semeadura. Dados das safras 2009/2010 e 2010/2011.64

RESUMO

MOREIRA, Eder Novaes, D. Sc., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2013. **Epidemiologia comparativa da ferrugem asiática (*Phakopsora pachyrhizi* Sydow) em cultivares de soja de diferentes grupos de maturação**. Orientador: Francisco Xavier Ribeiro do Vale. Coorientadores: Fabrício de Ávila Rodrigues e Luiz Antonio Maffia.

Desde o primeiro relato na América do Sul em 2001, a ferrugem asiática da soja (FAS), causada pelo fungo *Phakopsora pachyrhizi*, tem causado danos significativas em todas as regiões de produtoras de soja no Brasil. O potencial da FAS em causar danos impulsionou pesquisas visando aspectos do uso de fungicidas como eficácia, número de aplicações, momento ideal para aplicação. Porém esses critérios desconsideram os aspectos epidemiológicos da FAS e atributos do crescimento das plantas de diferente cultivar, podendo comprometer o manejo da doença em condições de epidemias. Pouco se conhece sobre o comportamento epidemiológico da FAS em função dos diferentes grupos de maturação das cultivares disponíveis aos sojicultores, surgindo o interesse em desenvolver este trabalho, que teve como objetivos: 1) Comparar a dinâmica temporal da FAS em três cultivares de soja com diferentes grupos de maturação e também aquelas semeadas em quatro épocas, para entender o comportamento das epidemias, bem como estabelecer alternativas para maximizar o manejo da FAS. 2) Avaliar a associação do índice de área foliar (IAF) entre os diferentes cultivares de soja sob a dinâmica temporal da FAS. Foram realizados oito experimentos na área experimental da Fundação de Apoio à

Pesquisa e Desenvolvimento Integrado de Rio Verde, localizado no Município de Lucas do Rio Verde, MT. Utilizaram-se três cultivares de soja com diferentes grupos de maturação, todas suscetíveis à FAS, a saber: P98Y11RR (grupo precoce; 95-110 dias), MSOY-8527RR (grupo médio; 111-120 dias) e MSOY-9144RR (grupo tardio; maior que 121 dias). Os resultados demonstraram que as curvas do progresso da FAS para diferente cultivar apresentaram diferente comportamento epidemiológico. Com exceção da quarta época de semeadura, a área abaixo da curva do progresso da ferrugem relativa (AACPFR) foi maior nas plantas da cultivar precoce do que nas demais. Para a cultivar do grupo médio, a AACPFR foi menor do que para a cultivar do grupo precoce em todas as épocas de semeadura, em ambas as safras. Os maiores valores da taxa de progresso (r_{Gomp}) foram observados nas cultivares precoces, independentemente da época de semeadura, com valores de 0,0654; 0,0659; 0,0782; e 0,0891, respectivamente, nas épocas de semeadura de outubro, novembro, dezembro e janeiro. No entanto, os menores valores de r_{Gomp} foram observados na cultivar de grupo tardio, independentemente da época de semeadura, com valores de 0,0368; 0,0431; 0,0473; e 0,0563, respectivamente, para a épocas de semeadura de outubro, novembro, dezembro e janeiro. Tanto os valores de severidade máxima (y_{max}) e tempo para atingir a máxima intensidade da FAS (TAMIFAS) reforçam que os cultivares precoces apresentaram maiores valores. Em relação à TAMIFAS, os cultivares precoces atingem mais rapidamente o índice de área foliar absoluta. Em relação à associação do IAF e à dinâmica temporal da FAS, observou-se o encurtamento do grupo das cultivares nas diferentes épocas. O IAF variou entre as cultivares P98Y11RR (grupo precoce), MSOY-8527RR (grupo médio) e MSOY-9144RR (grupo tardio), nas diferentes épocas de semeadura, afetando a dinâmica temporal da FAS. Os maiores valores de IAF ocorreram nas plantas referentes à semeadura na época 1. A área abaixo da curva de crescimento IAF relativa (AACCIAFR) foi maior nas plantas da cultivar tardia do que nas demais cultivares. O fato de que AACPFR se manteve constante entre as épocas de semeadura para a cultivar tardia sugere que o IAF teve forte influência no progresso da FAS nas plantas das cultivares precoces do que nas plantas das cultivares média

e tardia. Isso confirma que nas cultivares precoces a proporção de área foliar doente em relação à área foliar sadia é reduzida rapidamente pelo fato de a FAS atingir a área foliar e, conseqüentemente, o IAF, em comparação com cultivares médias e tardias que apresentaram maiores IAF. Portanto, assumindo uma mesma intensidade, a FAS, nas três cultivares (precoce, médio e tardio), a cultivar precoce alcançará mais rapidamente a área foliar sadia, ou seja, essas cultivares apresentaram maior dependência do tecido foliar verde, em comparação com as cultivares médias e tardias, devido às diferenças nas proporções da área foliar sadia e da área foliar doente que compõem o IAF total.

ABSTRACT

MOREIRA, Eder Novaes, D. Sc., Universidade Federal de Viçosa, February, 2013. **Comparative epidemiology of soybean rust (*Phakopsora pachyrhizi* Sydow) in soybean cultivars of different maturity groups.** Adviser: Francisco Xavier Ribeiro do Vale. Co-Advisers: Fabrício de Ávila Rodrigues and Luiz Antonio Maffia.

Since the first report in South America in 2001, Asian soybean rust (ASR), caused by the fungus *Phakopsora pachyrhizi*, has caused significant loss in all regions of soybean production in Brazil. The potential of ASR in causing losses spurred research aimed aspects of the use of fungicides such as efficacy, number of applications, ideal time to apply, but these criteria do not consider the epidemiological aspects of ASR and attributes the growth of plants of different cultivars may thus compromising disease management under conditions of severe epidemics. Little is known about the epidemiological behavior of ASR for different maturity groups of cultivars available to soybean farmers, the rising interest in developing this work, which aimed to: 1. Compare the temporal dynamics of ASR in three soybean cultivars with different maturity groups, seeded four times, to better understand the behavior of epidemics and thus establish alternatives for the best management of ASR. 2. Evaluate the association of leaf area index (LAI) between different soybean cultivars under the temporal dynamics of ASR. Eight experiments were performed at the site of the Foundation for Research Support and Integrated Development of Rio Verde, located in the city of Lucas do Rio Verde - MT. We used three soybean cultivars with

different maturity cycles, all susceptible to ASR, which were: P98Y11RR (early maturity, 95-110 days), MSoy-8527RR (medium cycle; 111-120 days) and MSoy-9144RR (late cycle; greater than 121 days). The results show that the ASR progress curves for different cultivars showed different epidemiological behavior. With the exception of the fourth season of sowing, the area under the curve of progress on the rust (AUCPRR), was higher for plants early cultivar than in other cultivars. For medium maturity cultivar, the AUCPRR was lower than for early-maturing cultivar in all sowing dates in two seasons. The highest values of progress rate (r_{gomp}) were observed for the early cultivars, irrespective of sowing dates, with values of 0.0654, 0.0659, 0.0782 and 0.0891, respectively, for the sowing dates. October, November, December and January. On the other hand, the lowest values were observed for r_{Gomp} late-maturing cultivar, irrespective of sowing dates, with values of 0.0368, 0.0431, 0.0473 and 0.0563, respectively, for sowing times October, November, December and January. Both values y_{max} and TAMIF reinforce that early cultivars have higher values. Regarding TAMIF the early cultivars reach faster the leaf area index LAI absoluta. The association LAI and temporal dynamics of ASR was observed shortening of the cycle of cultivars in different seasons. The LAI P98Y11RR varied among cultivars (early cycle) MSoy-8527RR (cycle medium) and MSoy-9144RR (late cycle) at different sowing times, affecting the temporal dynamics of ASR. The highest values of LAI occurred for plants relating to sowing dates 1. The area under the curve of growth on LAI (AUCGLAIR) was higher for plants that grow later in other cultivars. The fact that AUCGLAIR remained constant between sowing dates for late cultivars suggests that the LAI had a strong influence on the progress of ASR in early cultivars of plants than the plants of medium and late cultivars. Confirming that the earliness of the proportion of diseased leaf area compared to healthy leaf area is reduced rapidly, because of the ASR achieve leaf area and hence the LAI when compared to middle and late cultivars that have higher LAI. Therefore, assuming the same intensity ASR, in the three cultivars (early, mid and late), the cultivar early achieve faster healthy leaf area, ie, these cultivars have a higher dependence on green leaf tissue, when compared to the middle and late cultivars because of the

differences in the proportions of healthy leaf area and leaf area comprising the sick LAI total.

INTRODUÇÃO GERAL

O desafio da agricultura é atender à crescente demanda por alimentos, resultante do aumento contínuo da população humana. No entanto, a demanda por alimentos pode ser alcançada pelo incremento da área cultivada e da produtividade agrícola, mas a fronteira agrícola está chegando ao seu limite de expansão.

O agronegócio é individualmente o principal setor da economia brasileira e responde por mais de 25% do produto interno bruto (PIB), 42% das exportações totais e 35% dos empregos brasileiros (MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, 2011).

A soja (*Glycine max* (L.) Merrill) é considerada a cultura de maior área cultivada no Brasil, estimada em 27,64 milhões de hectares na safra 2012/2013. A produção brasileira de grãos desta leguminosa tem crescido a cada ano. Um exemplo foi a safra 2010/2011, que atingiu 83,42 milhões de toneladas, correspondendo a 29% da produção mundial, o que posicionou o Brasil como o segundo produtor do mundo. A produtividade média da soja no Brasil cresceu nas últimas décadas, atingindo 3,11 t/ha na safra 2011 (CONAB, 2013). Esses incrementos de área cultivada e de produtividade se deve à região de Matopiba, a mais nova fronteira agrícola brasileira – área composta por territórios pertencentes aos Estados do Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia, que apresentou, na última safra, uma evolução na área cultivada de 16,1% (CONAB, 2013).

O potencial de rendimento da cultura da soja pode ser afetado por diversos fatores, entre os quais se destacam a fertilidade do solo, a

disponibilidade hídrica durante a safra, a população de plantas, a época de semeadura, o potencial produtivo da cultivar, a ocorrência de plantas invasoras, a infestação de pragas e as doenças (CASA; REIS, 2004).

Entre as doenças que ocorrem na cultura da soja, a ferrugem asiática da soja (FAS), causada pelo fungo *Phakopsora pachyrhizi* Sydow, é considerada a doença de maior potencial destrutivo, podendo ocasionar danos que variam de 10 a 90% nas diversas regiões geográficas onde foi relatada (SINCLAIR; HARTMAN, 1999; YORINORI et al., 2005). No Brasil, foram relatados danos atribuídos à FAS de 70% na safra 2001/2002 (YORINORI; MOREL, 2002). Na mesma safra na região de Chapadão do Sul, MS, foram registros danos de até 100% (ANDRADE; ANDRADE, 2002).

Pesquisas de base epidemiológica tiveram novo impulso após a identificação da FAS no continente americano em 2001. As técnicas de modelagem aliada ao avanço computacional nas últimas décadas têm sido a pedra fundamental no desenvolvimento de modelos para ferrugem asiática da soja, dos quais tem demonstrando resultados satisfatórios em outros países. Esses estudos permitem entender e reconhecer padrões, identificar e correlacionar taxas de progresso e parâmetros epidemiológicos. No entanto, essa linha de pesquisa nas condições do Brasil ainda é pouco explorada.

Pouca atenção tem sido dada na comparação de epidemias entre cultivares com diferentes características fisiológicas, as quais podem ter efeito sob as epidemias. Nesse sentido, a epidemiologia comparativa busca reconhecer diferenças ou similaridades entre os padrões epidemiológicos, que contribui para a compreensão dos mecanismos que governam o aumento da intensidade de doença numa população, permitindo estabelecer estratégias de manejo (BERGAMIN FILHO; AMORIM, 1996; VALE et al., 2004).

Na análise da dinâmica temporal das doenças, utiliza-se a curva do progresso da doença que é a representação matemática da evolução da epidemia ao longo do tempo. Interpretar o formato dessas curvas e determinar os seus componentes epidemiológicos são fundamentais para entender a dinâmica espaço-temporal de uma epidemia (KRANZ, 1988;

BERGAMIN FILHO, 2006; KRANZ, 2002; MADDEN et al., 2007; JESUS JUNIOR et al., 2004).

A principal forma de manejo da FAS é através do uso de fungicidas, para minimizar os danos. No entanto, essa doença gera outros problemas ao agricultor, entre os quais se destacam o aumento no custo de produção, dificuldade no gerenciamento de aplicações de fungicidas em condições adversas e aumento no número de aplicações de fungicidas com consequentes impactos negativos ao meio ambiente. Ademais, os critérios para aplicações de fungicidas desconsideram os aspectos epidemiológicos da doença e atributos de crescimento da diferente cultivar. Portanto, a compreensão das epidemias, nos diferentes cultivares e grupos de maturação, são cruciais para o estabelecimento do manejo da doença.

O objetivo deste trabalho foi comparar a dinâmica temporal da FAS em três cultivares de soja com diferentes grupos de maturação, semeadas em quatro épocas, em associação com o índice de área foliar.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, P. J. M.; ANDRADE, D. F. A. **Ferrugem asiática**: uma ameaça à sojicultura brasileira. Dourados, MS: Embrapa Agropecuária Oeste Convênio Fundação Chapadão 2002.11 p. (Circular Técnica, 11).

AGÊNCIA BRASIL. **Brasil assumirá liderança na produção mundial de soja, prevê Ministério da Agricultura**. Brasília: Ministério da Agricultura. Brasília. Disponível em: <<http://agenciabrasil.ebc.com.br/arquivo/node/382722>>. Acesso em: 5 dez. 2011.

BERGAMIN FILHO, A.; AMORIM, L. **Doenças de plantas tropicais**: Epidemiologia e controle econômico. São Paulo: Agronômica Ceres, 1996.

BERGAMIN FILHO, A. Epidemiologia comparativa: ferrugem da soja e outras doenças. In: ZAMBOLIM, L. **Ferrugem asiática da soja**. Viçosa, MG: UFV, 2006. cap. 2, p. 15-32.

CASA, R. T.; REIS, E. M. Doenças relacionadas à germinação, emergência e estabelecimento de plântulas de soja em semeadura direta. In: REIS, E. M. **Doenças na cultura da soja**. Passo Fundo, RS: Aldeia Norte Editora, 2004. p. 21-31.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Safras-grãos**. Brasília, DF. Disponível em: <www.conab.gov.br/conbweb/download/safra>. Acesso em: 26 jan. 2013.

JESUS JUNIOR, W. C.; POZZA, E. A.; VALE, F. X. R.; MORAAGUILERA, G. Análise temporal de epidemias. In: VALE, F. X. R.; JESUS JUNIOR, W. C.; ZAMBOLIM, L. (Ed.). **Epidemiologia aplicada ao manejo de doenças de plantas**. Belo Horizonte, MG: Perfil, 2004. p. 125-192.

KRANZ, J. The methodology of comparative epidemiology. In: KRANZ, J.; ROTEM, J. (Ed.). **Experimental techniques in plant disease epidemiology**. Heidelberg: Springer-Verlag, 1988. p. 279-290.

KRANZ, J. **Comparative epidemiology of plant diseases**. Berlin: Springer-Verlag, 2002. 206 p.

MADDEN, L. V.; HUGHES, G.; VAN DEN BOSCH, F. **The study of plant disease epidemics**. St. Paul: Press, APS, 2007.

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

VALE, F. X. R.; JESUS JUNIOR, W. C.; ZAMBOLIM, L. **Epidemiologia aplicada ao manejo de doenças de plantas**. Belo Horizonte: Perfil, 2004. 531 p.

YORINORI, J. T.; MOREL, W. P. **Ferrugem da soja** (*Phakopsora pachyrhizi*): Alerta. Londrina, PR: EMBRAPA, Centro Nacional de Pesquisa de Soja, 2002. 4 p.

YORINORI, J. T.; PAIVA, M. W.; FREDERICK, R. D.; COSTAMILAN, L. M.; BERTAGNOLLI, P. F.; GODOY, C. V.; NUNES JUNIOR, J. Epidemics of soybean rust (*Phakopsora pachyrhizi*) in Brazil and Paraguay from 2001 to 2003. **Plant Disease**, v. 89, p. 675-677, 2005.

CAPÍTULO 1

EPIDEMIOLOGIA COMPARATIVA DA FERRUGEM ASIÁTICA (*Phakopsora pachyrhizi* Sydow) EM CULTIVARES DE SOJA DE DIFERENTES GRUPOS DE MATURAÇÃO

RESUMO

Desde o primeiro relato na América do Sul em 2001, a ferrugem asiática da soja (FAS), causada pelo fungo *Phakopsora pachyrhizi*, tem causado danos significativas em todas as regiões de produtoras de soja no Brasil. O potencial da FAS em causar danos impulsionou pesquisas visando a aspectos no uso de fungicidas como eficácia, número de aplicações, momento ideal para aplicação. Porém, esses critérios desconsideram os aspectos epidemiológicos da FAS e atributos do crescimento das plantas de diferente cultivar, podendo, assim, comprometer o manejo da doença em condições de epidemias severas. Pouco se conhece sobre o comportamento epidemiológico da FAS em função dos diferentes grupos de maturação das cultivares disponíveis aos sojicultores. Os experimentos foram conduzidos em Lucas do Rio Verde, MT, Brasil, durante as safras 2009/2010 e 2010/2011, para avaliar os efeitos de maturidade de cultivar e datas de semeadura, os quais afetam o IAF e o desenvolvimento FAS. O delineamento experimental foi de blocos casualizados com quatro repetições e arranjo de parcelas subdivididas. As parcelas corresponderam às épocas de semeadura (20 de outubro, 19 de novembro, 15 de dezembro e 5 de janeiro) e as subparcelas, às diferentes cultivares (grupo precoce, grupo médio e grupo tardio). Para comparar as epidemias de FAS, foram usadas três cultivares e quatro épocas de semeadura. De acordo com os resultados, verifica-se que o atraso da época de semeadura aumenta o risco de epidemias de FAS. Os maiores valores de taxa de progresso (r_{Gomp}) foram observados na cultivar precoce, nas quatro épocas de semeadura, com

valores de 0,0654; 0,0659; 0,0782; e 0,0891, respectivamente, para cada época de semeadura. No entanto, os menores valores de r_{Gomp} foram observados na cultivar de grupo tardio, com valores de 0,0368; 0,0431; 0,0473; e 0,0563, respectivamente, nas épocas de semeadura de outubro, novembro, dezembro e janeiro. Tanto os valores de y_{max} e TAMIFAS reforçam que as cultivares precoces apresentam maiores riscos de epidemias e danos.

1. INTRODUÇÃO

A FAS, causada pelo fungo *Phakopsora pachyrhizi* Sydow, é considerada a doença de maior potencial destrutivo na cultura da soja, podendo ocasionar danos de 10 a 90% nas regiões em que foi relatada (SINCLAIR; HARTMAN, 1999). No Brasil, relataram-se danos atribuídos à FAS de 70% na safra 2001/2002 (YORINORI; MOREL, 2002). Na mesma safra na região de Chapadão do Sul, MS, foram registrados danos de até 100% (ANDRADE; ANDRADE, 2002). O potencial da FAS em causar danos impulsionou pesquisas visando a aspectos do uso de fungicidas, como eficácia, número de aplicações e momento ideal para aplicação; porém, esses critérios desconsideram os aspectos epidemiológicos da FAS e atributos do crescimento das plantas de diferentes cultivares, podendo, assim, comprometer o manejo da doença em condições de epidemias. Pouco se conhece sobre o comportamento epidemiológico da FAS em razão dos diferentes grupos de maturação das cultivares disponíveis aos sojicultores.

No patossistema *P. pachyrhizi*, a comparação de epidemias é uma linha de pesquisa pouco explorada no Brasil. Na maioria das vezes, os trabalhos são realizados individualmente em cada patossistema, em épocas diferentes, usando inoculação e em locais onde a doença não apresenta condições de favorabilidade para ocorrer epidemias. A epidemiologia comparativa é, portanto, um instrumento de pesquisa que pode buscar semelhanças e diferenças entre os padrões temporais das epidemias, contribuir para a compreensão dos mecanismos que estão envolvidos, como

a maior intensidade das doenças, e permitir o estabelecimento de estratégias eficientes de manejo (BERGAMIN FILHO; AMORIM, 1996; VALE et al., 2004). Além disso, é possível definir modelos e princípios gerais para grande número de fenômenos epidemiológicos, servindo para aferir hipótese e teorias e sustentando-as ou refutando-as, em razão dos resultados (KRANZ, 1988).

A comparação de epidemias pode nos fornecer informações e melhor entendimento das relações entre elas e o padrão temporal da doença e, conseqüentemente, contribuir para um manejo adequado (CAMPBELL; MADDEN, 1990).

Na análise da dinâmica temporal das doenças, utiliza-se a curva do progresso da doença, que é a representação matemática da evolução da epidemia ao longo do tempo. Interpretar o formato dessas curvas e determinar os seus componentes, como a taxa aparente de infecção (r), a quantidade inicial da doença (Y_0), a quantidade máxima da doença (Y_{max}), a área abaixo da curva do progresso da doença (AACPD), a duração da assíntota (DA), a duração da epidemia (DE), o tempo da fase ascendente da curva (TFC), o tempo para o aparecimento dos primeiros sintomas da doença e o tempo que o hospedeiro permanece doente são fundamentais para entender a dinâmica espaço-temporal de uma epidemia (KRANZ, 1988; JESUS JUNIOR et al., 2004; KRANZ, 2002; MADDEN et al., 2007).

O objetivo deste trabalho foi comparar a dinâmica temporal da FAS em três cultivares de soja com diferentes grupos de maturação, semeadas em quatro épocas, para entender o comportamento das epidemias e, conseqüentemente, estabelecer alternativas para o adequado manejo da FAS. Para tal, buscou-se comparar os componentes epidemiológicos entre as diferentes cultivares nas épocas de semeadura em condições favoráveis à ocorrência de epidemias da FAS.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Local de condução dos experimentos

Os experimentos foram realizados na área experimental da Fundação de Apoio à Pesquisa e Desenvolvimento Integrado de Rio Verde, localizado no Município de Lucas do Rio Verde, MT (latitude 12° 59' S, longitude 55° 57' W e altitude de 390 m), nas safras de 2009/2010 e 2010/2011. Nessa região, em todas as safras de soja ocorrem epidemias da FAS. Foram utilizadas três cultivares de soja com diferentes grupos de maturação, todas suscetíveis à FAS, sendo: P98Y11RR (grupo precoce; 95-110 dias), MSOY-8527RR (grupo médio; 111-120 dias) e MSOY-9144RR (grupo tardio; maior que 121 dias). Essas cultivares foram cultivadas em quatro épocas de semeadura (Tabela 1), para obter diferentes intensidades da ferrugem, conforme os estádios fenológicos das plantas. Para a escolha das cultivares, usou-se como critério a representatividade da área de cultivo no Estado do Mato Grosso, na safra 2009/2010.

Utilizou-se o delineamento experimental em blocos ao acaso no esquema de parcela subdividida com quatro repetições. As parcelas principais corresponderam às quatro épocas de semeadura e as subparcelas, as três cultivares, totalizando 48 subparcelas. Cada unidade experimental constava de uma parcela de 12 linhas de 20 m de comprimento, espaçadas de 0,50 m entre elas. Em todas as épocas de semeadura foi usada uma semeadora mecânica de quatro linhas, juntamente com a adubadeira, em que se aplicaram 500 kg/ha de N-P-K 0-20-30, de acordo com a análise química do solo. Para o controle de insetos, o inseticida tiametoxana +

lambda-cialotrina (0,25 L i.a./ha) foi pulverizado nas plantas no estágio reprodutivo R1 e novamente no estágio R5 (RITCHIE et al., 1982). Para o controle de pragas do sistema radicular na fase inicial do grupo da soja, as sementes foram tratadas com o inseticida tiametoxana na dose de 120 mL p.c./100 kg de sementes. Em seguida, as sementes foram tratadas com o inoculante líquido de *Bradyrhizobium japonicum*, na dosagem de 200 mL p.c./100 kg de sementes. Para o controle de plantas daninhas, realizou-se uma aplicação de glifosato na dose de 1,5 L/ha, quando as plantas se encontravam no estágio V1. Os demais tratos culturais foram os recomendados para a cultura da soja (TECNOLOGIAS, 2008). Foram utilizadas as densidades de semeadura de 26, 24 e 22 sementes/m², respectivamente, nas cultivares P98Y11RR, MSOY8527RR e MSOY9144RR.

Durante o ciclo da soja foram registrados e armazenados os dados climáticos com uma Estação Meteorológica Automática (EMA) (S-1220 - ISIS, Squitter do Brasil), a qual foi instalada dentro das unidades experimentais, quando as plantas de soja estavam no estágio V4. Os dados foram registrados a cada de 15 min, nas seguintes variáveis climáticas: temperatura do ar, umidade relativa do ar, precipitação pluvial e duração do molhamento foliar. Os valores da duração do molhamento foliar foram registrados por três sensores posicionados no dossel das plantas, em diferentes alturas e ajustados periodicamente, conforme o desenvolvimento das plantas.

2.2. Avaliação da severidade da FAS

As avaliações da severidade ocorreram a intervalos de sete dias em plantas entre os estádios V6 e R6, segundo a escala fenológica desenvolvida por Ritchie et al. (1982) e adaptada por Yorinori (1996) (Tabela 2). Foram coletadas cinco plantas por unidade experimental, selecionadas aleatoriamente, das quais foram destacados os trifólios e esses observados em microscópio estereoscópico no aumento de 20 ×. Para quantificação da severidade da FAS, obtiveram-se o número total de folíolos avaliados (NTF) de cada amostra e o número de folíolos com sintomas da FAS (NFS).

Desses folíolos sintomáticos, foi realizado o somatório das áreas com sintomas da FAS, dividindo-o, em seguida, esse somatório de áreas sintomáticas pela área total dos folíolos (ATF) de cada amostra, obtendo a severidade da FAS.

As curvas do progresso da FAS foram plotadas utilizando-se valores de severidade ao longo do tempo. As epidemias foram comparadas de acordo com as seguintes variáveis: tempo para atingir a máxima intensidade da FAS (TAMIFAS), taxa do progresso (r) da FAS, severidade máxima da FAS ($Y_{\max}$), área abaixo da curva do progresso da FAS (AACPFAS) e área abaixo da curva do progresso da ferrugem relativa (AACPFR).

A AACPFR foi calculada pela integração dos valores de severidade das plantas referentes às repetições de cada tratamento (SHANER; FINNEY, 1977) e dividindo-a pela duração do período de avaliação (FRY, 1978), sendo:

$$AACPFR = \frac{\left[\sum_i^{n-1} \left(\frac{y_i + y_{i+1}}{2} \right) \cdot (t_{i+1} - t_i) \right]}{n}$$

em que:

(y_i e y_{i+1}) = valores de severidade observados entre duas avaliações consecutivas;

($t_{i+1} - t_i$) = intervalo de tempo entre as avaliações; e

n = duração do período de avaliação.

2.3. Análise estatística dos dados

As curvas de progresso da FAS foram comparadas entre cada cultivar e a época de semeadura com base nas variáveis TAMIFAS, r , $Y_{\max}$, AACPFAS e AACPFR. Para essas variáveis, foram estimados os valores do intervalo de confiança no nível de 5% de probabilidade. Adicionalmente, procedeu-se à análise de regressão não linear, testando os modelos Logístico e de Gompertz (CAMPBELL; MADDEN, 1990). Os critérios utilizados para seleção do modelo ao qual os dados melhor se ajustaram foram o menor quadrado médio do resíduo (QMR), a análise de resíduos

para certificar a independência e a homogeneidade dos erros e o maior coeficiente de determinação (R^2) (JESUS JUNIOR et al., 2004; MADDEN et al., 2007). As análises estatísticas foram realizadas utilizando-se os programas SAS versão 9.0 (SAS Institute Inc., 2001) e MINITAB Statistical Software Release 15 (MINITAB INC., 2007).

3. RESULTADOS

3.1. Dados meteorológicos registrados durante a condução dos experimentos

As condições climáticas nas duas safras, na região de Lucas do Rio Verde, MT, foram favoráveis ao desenvolvimento da cultura da soja, bem como para o desenvolvimento da FAS. Na safra 2009/2010, as temperaturas noturnas foram favoráveis ao desenvolvimento de epidemias da FAS, as quais variaram de 22,1 a 29,8 °C, com temperatura média noturna de 26,1 °C (Figura 1A). A umidade relativa noturna do ar variou de 65,3 a 99,85%, com umidade média noturna de 89,7% (Figura 1A). O valor acumulado de precipitação foi de 1.464,8 mm (Figura 1A). Nos experimentos da safra 2010/2011, as temperaturas noturnas durante as epidemias da FAS variaram de 21,7 a 29,3 °C, com temperatura média noturna de 26,8 °C (Figura 1B). A umidade relativa noturna do ar variou de 56,3 a 100%, com umidade média noturna de 87,8% (Figura 1B). O valor acumulado de precipitação foi de 1.604,5 mm (Figura 1B). As exigências médias de precipitação para as semeaduras no início de outubro foram atingidas nas duas safras. Considerando-se as temperaturas registradas entre outubro de 2009 e maio de 2010 e de outubro de 2010 a maio de 2011 (Figura 1), houve favorabilidade para a ocorrência de epidemias de FAS.

3.2. Área abaixo da curva do progresso da FAS

A FAS ocorreu na primeira época de semeadura em plantas nos estádios de pleno florescimento (R2) para a cultivar P98Y11RR; R3 para a cultivar MSOY8527RR e R4 (formação de vagens) para a cultivar MSOY9144RR. Considerando os grupos das cultivares, a AACPFAS apresentou diferenças significativas dentro de cada época de semeadura (Figura 2). Analisando AACPFR, a quarta época de semeadura foi maior nas plantas da cultivar precoce do que nas demais cultivares (Figura 3). Para a cultivar de grupo médio, a AACPFR foi significativamente menor do que para a cultivar do grupo precoce, em todas as épocas de semeadura nas duas safras (Figura 3).

3.3. Curvas do progresso da FAS e seleção do modelo

O modelo de Gompertz foi apropriado para descrever as curvas de progresso da FAS, o qual foi escolhido com base nos maiores valores de R^2 e na análise de resíduos. Os maiores valores de r_{Gomp} foram observados na cultivar precoce, independentemente da época de semeadura, com valores de 0,0654; 0,0659; 0,0782; e 0,0891, respectivamente, nas épocas de semeadura de outubro, novembro, dezembro e janeiro (Figuras 4 e 5). No entanto, os menores valores de r_{Gomp} foram observados na cultivar de grupo tardio, independentemente da época de semeadura, com valores de 0,0368; 0,0431; 0,0473; e 0,0563, respectivamente, para as épocas de semeadura de outubro, novembro, dezembro e janeiro (Figuras 4 e 5).

3.4. Y_{max} e a TAMIFAS

Os maiores valores de Y_{max} foram observados na cultivar P98Y11RR (precoce), independentemente das épocas de semeadura (Figura 6). Entretanto, os menores valores de Y_{max} foram observados na cultivar MSOY-9144RR (tardia), independentemente das épocas de semeadura (Figura 6).

Para a cultivar P98Y11RR (precoce), $Y_{\max}$ foi, em média, 23,4% maior, diferindo das demais cultivares, independentemente das épocas de semeadura. Foram observados valores médios de $Y_{\max}$ de 86,74% na cultivar P98Y11RR (precoce), de 71,05% na cultivar MSOY-8527RR (médio) e de 62,70% na cultivar MSOY-9144RR (tardia). Com relação a TAMIFAS, os menores valores foram observados na cultivar P98Y11RR (precoce), independentemente da safra e da época de semeadura. Os maiores valores do TAMIFAS foram observados na cultivar MSOY-9144RR, independentemente da safra e da época de semeadura (Figura 7). Os valores médios das diferenças entre a cultivar precoce e a tardia foram de 17, 19, 23, 20 dias, respectivamente nas épocas de semeadura de outubro, novembro, dezembro e janeiro (Figura 7).

4. DISCUSSÃO

O padrão epidemiológico da FAS entre as cultivares de soja com diferentes grupos de maturação foi diferente.

As condições climáticas durante as safras 2009/2010 e 2010/2011 foram favoráveis para o desenvolvimento da cultura e da FAS. Segundo Marchetti et al. (1976), para iniciar o processo de infecção o fungo necessita de períodos de molhamento foliar entre 6 e 10 h, com temperaturas que variam de 15 a 30 °C, durante esse período. Yang et al. (1990), comparando épocas de semeadura em diversas estações do ano, verificaram que as condições climáticas têm grande influência no desenvolvimento da doença. As precipitações tiveram distribuição regular nas épocas de semeadura. Segundo Del Ponte et al. (2006), há forte associação entre a severidade final da ferrugem e o número de dias e a quantidade de chuva (mm) no período de 30 dias após a detecção da doença em 35 casos de epidemias, observados em três anos, em mais de 20 locais, nas diferentes regiões produtoras de soja do país. Portanto, o grupo de maturação da cultivar associado a precipitações pode contribuir para o desenvolvimento de epidemias.

As curvas de progresso da FAS nas diferentes cultivares apresentaram diferentes comportamento epidemiológico. A variável AACPFAS não foi explicativa para as diferenças entre as epidemias, quando o objetivo é comparar diferentes AACPFAS. Isso se deve ao fato, por exemplo, de que se podem ter dois valores de AACPD iguais e, no entanto, de o período de tempo (dias) da epidemia ou severidade final ser diferente.

Para contornar tal limitação, a AACPFR possibilitou retirar o efeito do tempo entre as cultivares e as épocas de semeadura para realizar as comparações. Analisando a AACPFR, com exceção da quarta época de semeadura nas duas safras, a cultivar precoce teve os maiores incrementos de severidade no tempo quando comparada com as cultivares de grupo médio e tardio. Essa observação está de acordo com Yorinori (2002), o qual relatou que o progresso da FAS é mais lento nas cultivares tardias do que nas precoces. Esse autor também afirmou que o progresso da FAS é mais lento na fase vegetativa, atingindo o máximo de severidade na fase de enchimento das vagens, pois não há emissão de novos trifólios. Essa afirmação é confirmada neste trabalho, através dos altos valores de taxa de progresso do modelo de Gompertz para a cultivar precoce. Após a terceira época de semeadura, observou-se que as curvas de progresso não atingiram a fase de estabilização. Isso provavelmente tenha ocorrido por causa de a desfolha ter acontecido antes de a severidade alcançar o valor máximo, caracterizando-se como curvas sem padrão assintótico e tornando evidente apenas a fase exponencial do desenvolvimento da doença. A desfolha mais rápida nas plantas da cultivar precoce foi o que permitiu a realização de menor número de avaliações da severidade, em comparação com as demais cultivares. A severidade da FAS nas últimas avaliações pode ter sido subestimada, uma vez que a última avaliação foi realizada com número menor de trifólios restantes no terço superior das plantas, em que a severidade foi sempre menor.

A partir da terceira época de semeadura, observou-se que para a cultivar do grupo médio houve incremento nos valores da taxa de progresso semelhantes aos da cultivar precoce em razão, possivelmente, do aumento da disponibilidade de inóculo na área experimental.

Analisando as taxas de progresso da FAS no modelo de Gompertz, é possível concluir que, independentemente da safra e da época de semeadura, a cultivar precoce foi mais afetada em razão, principalmente, dos maiores valores da taxa de progresso (r) em relação às demais cultivares. Isso sugere que as estratégias de manejo da FAS também estejam relacionadas ao comportamento epidemiológico da FAS nas cultivares de diferentes grupos de maturação e na época de semeadura.

Com base nos valores de $Y_{\max}$ e TAMIFAS também se verifica que o cultivar precoce apresentou os maiores valores de $Y_{\max}$, independentemente da época de semeadura.

Uma das táticas para o manejo da FAS é o uso de cultivares do grupo precoce. Nesse princípio, o manejo da doença ocorre pela evasão, escape ou fuga da doença em função de o hospedeiro estar presente na área na ausência de propágulos do patógeno ou em baixa quantidade, bem como em condições ambientais desfavoráveis (KIMATI; BERGAMIM FILHO, 1995). Essa prática tem sido explorada, com sucesso, nas regiões de cultivo da soja pela semeadura de cultivares precoces, preferencialmente no início da época de semeadura em cada região (YORINORI, 2004). No entanto, essas cultivares apresentam maior risco de danos devido ao comportamento epidemiológico e atributos fisiológicos do desenvolvimento das plantas. Assim, sugere-se que nessas cultivares o manejo da FAS baseado na aplicação do fungicida seja antecipado, em comparação com os demais cultivares.

5. REFERÊNCIAS

ANDRADE, P. J. M.; ANDRADE, D. F. A. **Ferrugem asiática**: uma ameaça à sojicultura brasileira. Dourados, MS: EMBRAPA Agropecuária Oeste Convênio Fundação Chapadão, 2002. 11 p. (Circular Técnica, 11).

BERGAMIN FILHO, A.; AMORIM, L. **Doenças de plantas tropicais**: epidemiologia e controle econômico. São Paulo: Agronômica Ceres, 1996.

BERGAMIN FILHO, A. Epidemiologia comparativa: ferrugem da soja e outras doenças. In: ZAMBOLIM, L. **Ferrugem asiática da soja**. Viçosa, MG: UFV, 2006. p. 15-32.

CAMPBELL, C. L.; MADDEN, L. V. **Introduction to plant disease epidemiology**. New York: John Wiley & Sons, 1990.

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

FRY, W. E. Quantification of general resistance of potato cultivars and fungicide effects for integrated control of potato late blight. **Phytopathology**, v. 68, p. 1650-1655, 1978.

KRANZ, J. The methodology of comparative epidemiology. In: KRANZ, J.; ROTEM, J. (Ed.). **Experimental techniques in plant disease epidemiology**. Heidelberg: Springer-Verlag, 1988. p. 279-290.

KRANZ, J. **Comparative epidemiology of plant diseases**. Berlin: Springer-Verlag, 2002. 206 p.

KIMATI, H.; BERGAMIN FILHO, A. Princípios gerais de controle. In: BERGAMIM FILHO, A.; KIMATI, H.; AMORIM, L. **Manual de fitopatologia**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1995. p. 692-709.

MADDEN, L. V.; HUGHES, G.; VAN DEN BOSCH, F. **The study of plant disease epidemics**. Press, St. Paul: APS, 2007.

MARCHETTI, M. A.; MELCHING, J. S.; BROMFIELD, K. R. The effects of temperature and dew period on germination and infection by uredospores of *Phakopsora pachyrhizi*. **Phytopathology**, v. 66, p. 461-463, 1976.

MINITAB STATISTICAL SOFTWARE. **Release 15 for Windows**. Minitab Inc., USA, 2007.

RITCHIE, S.; HANWAY, J. J.; THOMPSON, H. E. **How a soybean plants develops**. Ames: Iowa State University of Science and Technology, Cooperative Extension Service, 1982. 20 p. (Special Report, 53).

SAS 2001 Statistical Analysis System program, version 9.0.

SHANER, G.; FINNEY, R. E. The effect of nitrogen fertilization on the expression of slow-mildewing resistance in Knox wheat. **Phytopathology**, v. 67, p. 1051-1056, 1977.

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

TECNOLOGIAS DE PRODUÇÃO DE SOJA – Região Central do Brasil – 2009 e 2010. **Sistemas de Produção 11**. Londrina, PR: Embrapa-CNPSo, 2008. 217 p.

YANG, X. B.; ROYER, M. H.; TSCHANZ, A. T.; TSIA, B. Y. Analysis and quantification of soybean rust epidemics from seventy-three sequential planting experiments. **Phytopathology**, v. 80, p. 1421-1427, 1990.

YORINORI, J. T. **Cancro da haste da soja**: epidemiologia e controle. Londrina, PR: EMBRAPA-CNPSo, 1996. 75 p. (Circular Técnica, 14).

YORINORI, J. T.; MOREL, W. P. **Ferrugem da soja (*Phakopsora pachyhrizi*)**: alerta. Londrina, PR: Embrapa, Centro Nacional de Pesquisa de Soja, 2002. 4 p.

YORINORI, J. T. Situação atual das doenças potenciais no cone sul. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SOJA, 2., 2002, Foz do Iguaçu. **Anais...** Londrina, PR: Embrapa Soja, 2002. p. 171-187.

YORINORI, J. T. Situação da ferrugem asiática da soja no Brasil e na América do Sul. In: YORINORI, J. T.; LAZZAROTO, J. J. Londrina, PR: Embrapa soja, 2004. 27p.

6. TABELAS

Tabela 1 - Datas de semeadura e cultivar usadas nos experimentos na área experimental da Fundação de Apoio à Pesquisa e ao Desenvolvimento Integrado Rio Verde, nas safras 2009/2010 e 2010/2011

Tratamentos	Épocas	Datas de semeadura		Grupos de maturação	Cultivar
		2009/2010	2010/2011		
1	Primeira	25/10/2009	20/10/2010	Precoce - 8.1	P98Y11RR
2				Médio - 8.5	MSOY-8527RR
3				Tardio - 9.1	MSOY-9144RR
4	Segunda	19/11/2009	19/11/2010	Precoce - 8.1	P98Y11RR
5				Médio - 8.5	MSOY-8527RR
6				Tardio - 9.1	MSOY-9144RR
7	Terceira	14/12/2009	15/12/2010	Precoce - 8.1	P98Y11RR
8				Médio - 8.5	MSOY-8527RR
9				Tardio - 9.1	MSOY-9144RR
10	Quarta	08/01/2010	05/01/2011	Precoce - 8.1	P98Y11RR
11				Médio - 8.5	MSOY-8527RR
12				Tardio - 9.1	MSOY-9144RR

Tabela 2 - Descrição dos estádios fenológicos da soja

I. Fase Vegetativa	
VC	Da emergência a cotilédones abertos
V1	Primeiro nó, folhas unifolioladas abertas
V2	Segundo nó, primeiro trifólio aberto
V3	Terceiro nó, segundo trifólio aberto
V4	Quarto nó, terceiro trifólio aberto
Vn	Enésimo nó (último) com trifólio aberto, antes do início da floração
II. Fase Reprodutiva	
R1	Início da floração: até 50% das plantas com uma flor
R2	Floração plena: maioria dos racemos com flores abertas
R3	Final da floração: vagens com até 1,5 cm
R4	Maioria de vagens do terço superior com 2,0 a 4,0 cm
R5.1	Início de formação dos grãos a 10% da granação
R5.2	Maioria das vagens com granação de 10 - 25%
R5.3	Maioria das vagens entre 25 e 50% de granação
R5.4	Maioria das vagens entre 50 e 75% de granação
R5.5	Maioria das vagens entre 75 e 100% de granação
R6	Maioria das vagens com granação de 100% e folhas verdes
R7.1	Início a 50% de amarelecimento de folhas e vagens
R7.2	Entre 51 e 75% de folhas e vagens amarelas
R7.3	Mais de 75% de folhas e vagens amarelas
R8.1	Início a 50% de desfolha
R8.2	Mais de 50% de desfolha à pré-colheita
R9	Maturidade de campo

Fonte: RITCHIE, S.; HANWAY, J. J.; THOMPSON, H. E (1982 adaptado por YORINORI et al., 1993.

7. FIGURAS

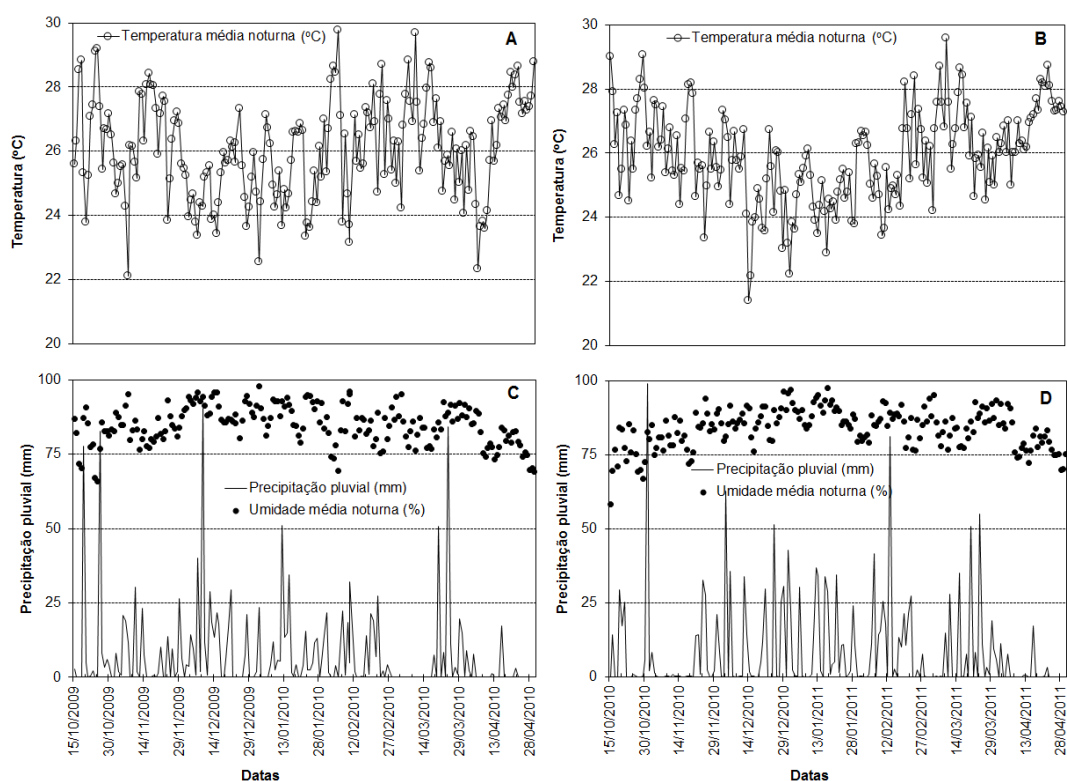


Figura 1 - Temperatura média noturna (°C) (A e B), precipitação pluvial (mm) e umidade relativa média diária noturna (%) (C e D) de 15/10/2009 a 30/04/2010 e de 15/10/2010 a 30/04/2011, nas safras 2009/2010 (A e C) e 2010/2011 (B e D).

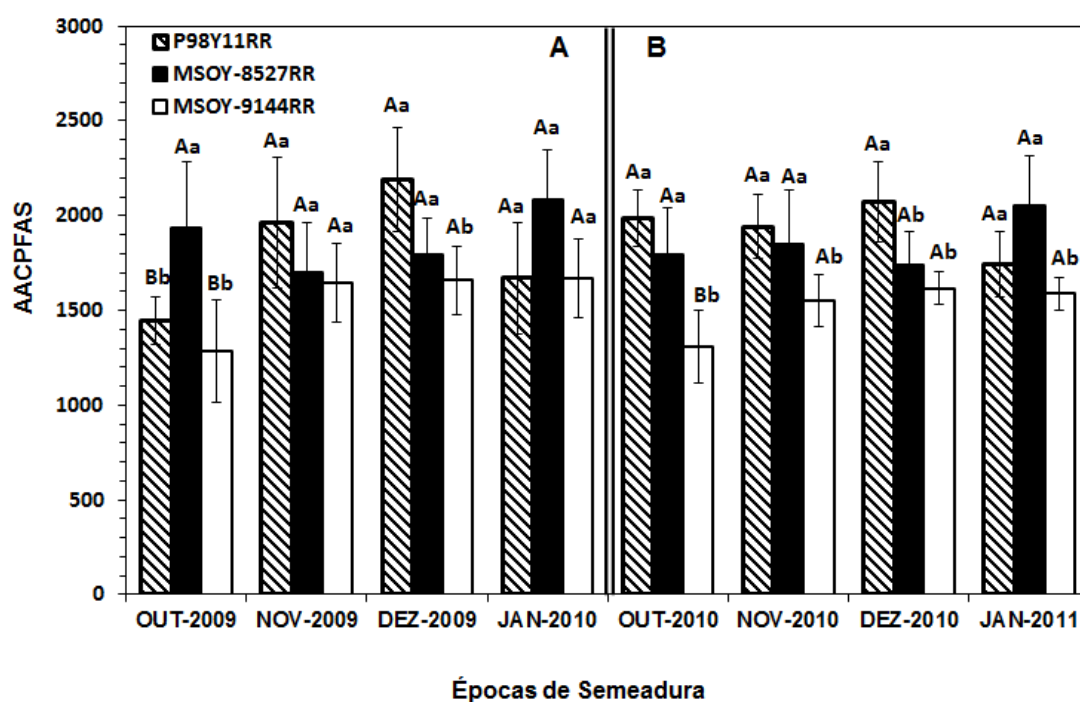


Figura 2 - Área abaixo da curva do progresso da ferrugem asiática da soja (AACPFAS) nas plantas de três cultivares de soja (P98Y11RR, MSOY-8527RR e MSOY-9144RR) em quatro épocas de semeadura, nas safras 2009/2010 (A) e 2010/2011 (B). O intervalo de confiança está representado em cada barra ($P = 0,05$). Médias antecedidas por diferentes letras minúsculas entre cultivares dentro da mesma época de semeadura apresentam diferenças significativas; médias antecedidas por diferentes letras maiúsculas entre as épocas de semeadura entre cultivares apresentam diferenças significativas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

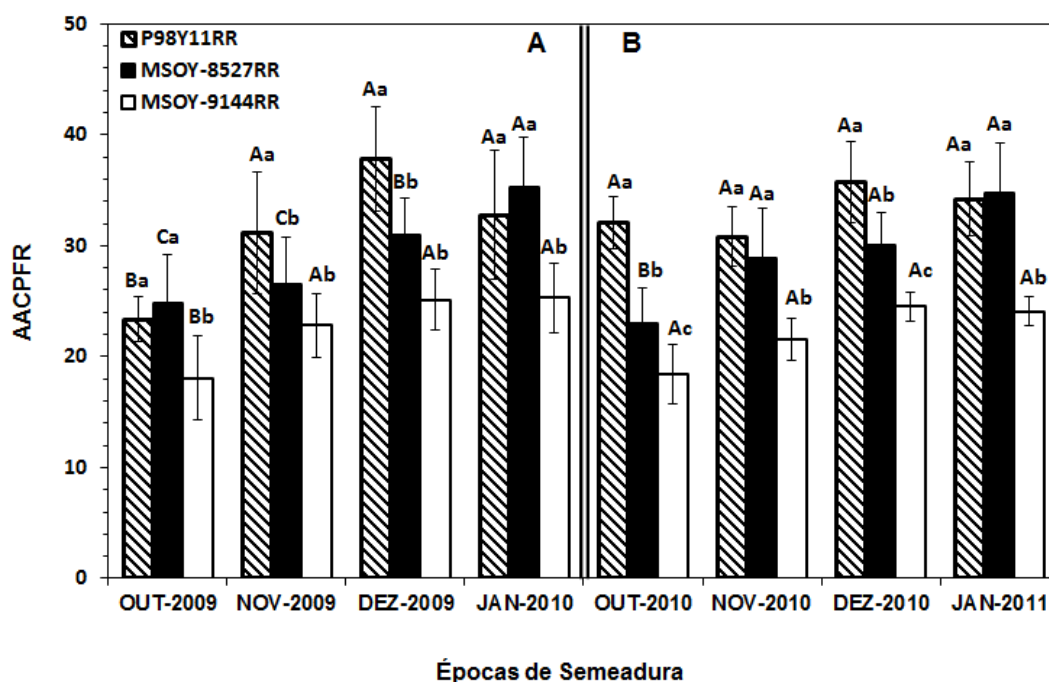


Figura 3 - Área abaixo da curva do progresso da ferrugem relativa (AACPFRR) nas plantas de três cultivares de soja dos grupos de maturação (P98Y11RR, MSOY-8527RR e MSOY-9144RR) em quatro épocas de semeadura, nas safras 2009/2010 (A) e 2010/2011 (B). O intervalo de confiança está representado em cada barra ($P = 0,05$). Médias antecedidas por diferentes letras minúsculas entre cultivares dentro da mesma época de semeadura apresentam diferenças significativas; médias antecedidas por diferentes letras maiúsculas entre as épocas de semeadura, entre cultivares, apresentam diferenças significativas pelo teste de Tukey a de 5% de probabilidade de erro.

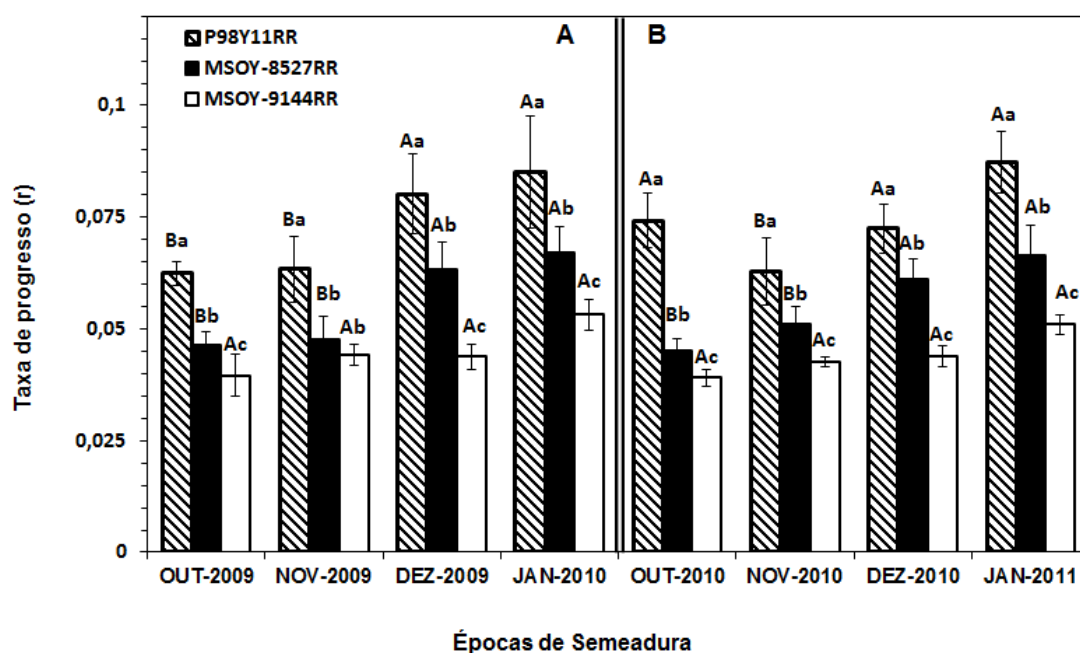


Figura 4 - Taxa de progresso (r) da ferrugem asiática da soja, utilizando-se o modelo de Gompertz nas plantas de três cultivares de soja dos grupos de maturação (P98Y11RR, MSOY-8527RR e MSOY-9144RR) em quatro épocas de semeadura, nas safras 2009/2010 (A) e 2010/2011 (B). O intervalo de confiança está representado em cada barra ($P = 0,05$). Médias antecedidas por diferentes letras minúsculas entre cultivares dentro da mesma época de semeadura apresentam diferenças significativas; médias antecedidas por diferentes letras maiúsculas entre as épocas de semeadura, entre cultivares, apresentam diferenças significativas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

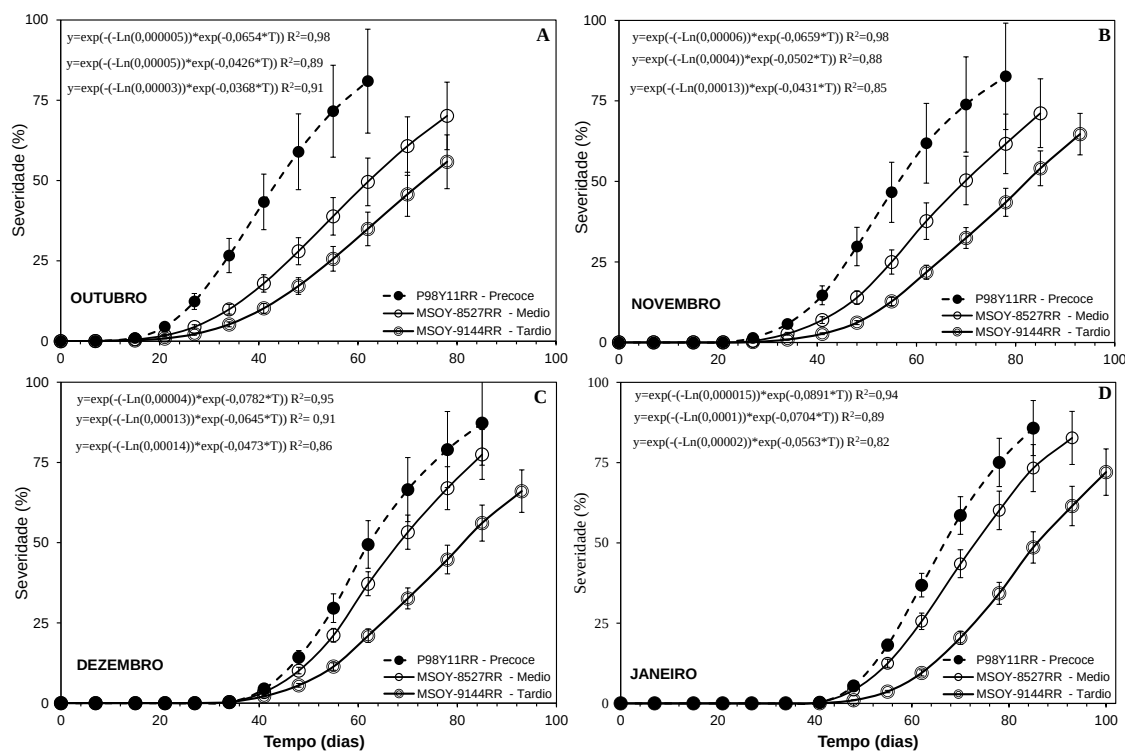


Figura 5 - Curvas de progresso da severidade da ferrugem asiática (modelo Gompertz) nas plantas de três cultivares de soja dos grupos de maturação (P98Y11RR, MSOY-8527RR e MSOY-9144RR) em quatro épocas de semeadura, nas safras 2009/2010 (A e B) e 2010/2011 (C e D). As barras representam o erro-padrão da média.

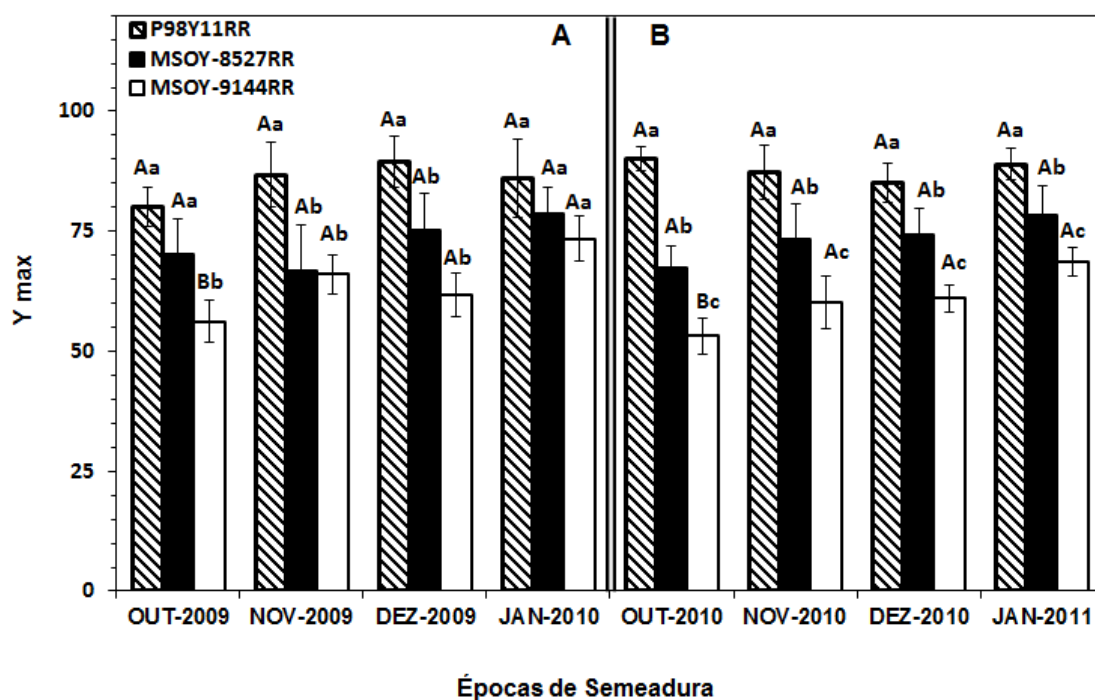


Figura 6 - Severidade máxima (Y_{max}) da ferrugem asiática da soja nas plantas de três cultivares de soja dos grupos de maturação (P98Y11RR, MSOY-8527RR e MSOY-9144RR) em quatro épocas de semeadura, nas safras 2009/2010 (A) e 2010/2011 (B). O intervalo de confiança está representado em cada barra ($P = 0,05$). Médias antecedidas por diferentes letras minúsculas entre cultivares dentro da mesma época de semeadura apresentam diferenças significativas; médias antecedidas por diferentes letras maiúsculas entre as épocas de semeadura, entre cultivares, apresentam diferenças significativas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

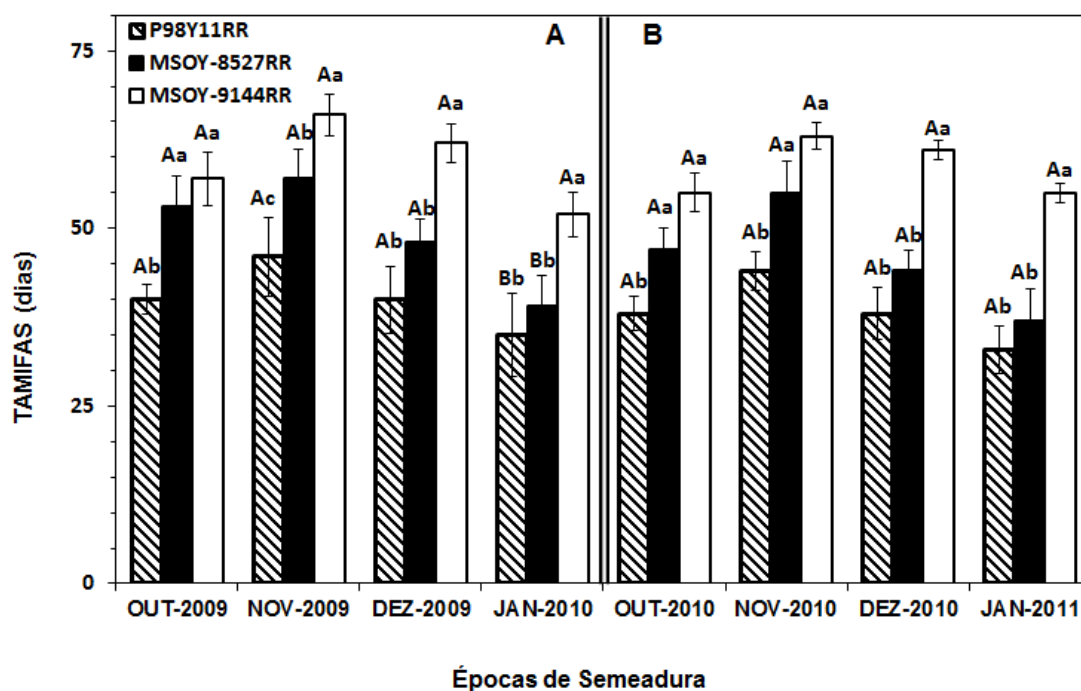


Figura 7 - Tempo para atingir a intensidade máxima da ferrugem asiática da soja (TAMIFAS) nas plantas de três cultivares de soja dos grupos de maturação (P98Y11RR, MSOY-8527RR e MSOY-9144RR) em quatro épocas de semeadura, nas safras 2009/2010 (A) e 2010/2011 (B). O intervalo de confiança está representado em cada barra ($P = 0,05$). Médias antecedidas por diferentes letras minúsculas entre cultivares dentro da mesma época de semeadura apresentam diferenças significativas; médias antecedidas por diferentes letras maiúsculas entre as épocas de semeadura, entre cultivares, apresentam diferenças significativas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

CAPÍTULO 2

DINÂMICA TEMPORAL DA FERRUGEM DA SOJA ASSOCIADA AO ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR

RESUMO

A ferrugem asiática da soja (FAS), causada pelo fungo *Phakopsora pachyrhizi*, tem causado danos significativas em todas as regiões produtoras de soja no Brasil, principalmente no Estado do Mato grosso. No entanto, várias perguntas ainda permanecem sobre a epidemiologia da doença, incluindo o efeito do índice de área foliar (IAF) em sua dinâmica temporal. Os experimentos foram realizados em Lucas do Rio Verde, MT, Brasil, durante as safras 2009/2010 e 2010/2011, para avaliar os efeitos da maturidade dos cultivares e épocas de semeadura, os quais afetam IAF e o desenvolvimento FAS. O delineamento experimental empregado foi o de blocos casualizados com quatro repetições e o arranjo de parcelas subdivididas. As parcelas corresponderam às épocas de semeadura (20 de outubro, 19 de novembro, 15 de dezembro e 5 de janeiro) e as subparcelas, as diferentes cultivares (grupo precoce, grupo médio e grupo tardio). Todas as cultivares analisadas nos experimentos eram suscetíveis a FAS, e todas as parcelas foram infectadas naturalmente. Os primeiros sintomas da FAS, na primeira época, foram observados nos estádios R2 da cultivar P98Y11RR, R3 da cultivar MSOY8527RR e R4 da cultivar MSOY9144RR. Independentemente da cultivar e da safra, os maiores valores de IAF ocorreram nas plantas referentes à semeadura na época 1. A área abaixo da curva de crescimento do índice de área foliar relativo (AACCIAGR) foi maior nas plantas da cultivar tardia que nas demais cultivares. A área abaixo da curva do progresso da ferrugem relativa (AACPFGR) foi maior nas plantas da cultivar precoce do que nas demais cultivares, independentemente das

épocas de semeadura em cada safra. Em todas as épocas de semeadura, a cultivar P98Y11RR (precoce) obteve os maiores valores de taxa de progresso da FAS, com valores de 0,0654; 0,0659; 0,0782; e 0,0891, respectivamente, nas épocas de semeadura.

1. INTRODUÇÃO

Desde o primeiro relato na América do Sul em 2001, a ferrugem asiática da soja (FAS), causada pelo fungo *Phakopsora pachyrhizi* Sydow, tem causado danos significativas à produção de soja (*Glycine max* (L.) Merr.), no Brasil. Em condições de favorabilidade, a FAS ocasionou danos significativos na produção de grãos, como de 10 a 40% na Tailândia, de 10 a 90% na Índia, de 10 a 50% na China, de 23 a 90% em Taiwan e de até 40% no Japão (SINCLAIR; HARTMAN, 1999). A FAS ocorre em todas as fases de crescimento da planta (HSU; WU, 1968; BROMFIELD, 1976; YANG et al., 1990; MOREIRA, 2009), e os danos ocasionados por essa doença podem variar em função do estágio fenológico das plantas. No entanto, acontece com maior frequência nas fases de florescimento (OGLE et al., 1979) e de enchimento de grãos (SHIN, 1986).

No Brasil são relatados danos de 70% ocasionados pela FAS na safra 2001/2002 (YORINORI; MOREL, 2002). Na mesma safra da região de Chapadão do Sul, MS, foram registrados danos de até 100% (ANDRADE; ANDRADE, 2002).

Os sintomas da FAS e os sinais do fungo são observados nas folhas inferiores do dossel das plantas e, posteriormente, naquelas da posição mediana e do topo superior, resultando em desfolha e antecipação do grupo da cultura (MOREIRA, 2009). A desfolha leva à redução da área foliar e, ou, índice de área foliar, causando, como consequência, menor interceptação de luz e fotossíntese líquida. O índice de área foliar (IAF) pode variar entre as cultivares, condições climáticas, épocas de semeadura e entre os estádios

de crescimento das plantas (CÂMARA; HEIFFIG, 2000). Pode ainda, de certa forma, influenciar o progresso de algumas doenças de plantas causadas, principalmente, por patógenos dependentes de maior disponibilidade de tecido foliar verde para infecção.

O efeito do crescimento das plantas de soja no progresso da ferrugem da soja foi investigado por alguns pesquisadores (DESBOROUGH, 1984; TSCHANZ; TSAI, 1982; TSCHANZ; SHANMUGASUNDARAM, 1985). De acordo com esses autores, a idade fisiológica das plantas de soja pode ter papel significativo no progresso da ferrugem da soja. No entanto, esse fenômeno é de difícil quantificação porque a relação causa-efeito ainda não está bem definida (YANG et al., 1990). Várias abordagens demonstram a relação do progresso temporal das doenças com o desenvolvimento e crescimento das plantas (JEGER, 1983; TENG, 1985; WAGGONER; BERGER, 1987; BERGAMIN et al., 1997).

Para o patossistema soja, *P. pachyrhizi*, alguns trabalhos epidemiológicos desenvolvidos por Tschanz e Tsai (1982) e Tschanz et al. (1986) mostram associação direta entre o grupo de maturação das cultivares de soja com a taxa de progresso da ferrugem. Esses mesmos autores observaram também o efeito do fotoperíodo no progresso dessa doença em três cultivares em duas épocas de semeadura.

Após a ocorrência da FAS no Brasil, na safra 2001/2002, a ênfase das pesquisas foi restrita ao uso de fungicidas e à obtenção de cultivares resistentes. No entanto, várias dúvidas relacionadas à epidemiologia da FAS ainda persistem, a exemplo do questionamento se o IAF, que varia entre os grupos de maturação das cultivares de soja, pode afetar o progresso da FAS em condições favoráveis à ocorrência de epidemias. Assim, este trabalho objetivou comparar o progresso da FAS em três cultivares de soja, de diferentes grupos de maturação, semeadas em quatro épocas. As hipóteses do trabalho foram: (i) O índice de área foliar, que varia em função da maturidade das diferentes cultivares, tem efeito sobre a dinâmica temporal da ferrugem asiática da soja; e (ii) Os diferentes cultivares são influenciados pela época de semeadura, manifestando diferenças no IAF, o que resulta em diluição da severidade da ferrugem asiática da soja. Testar essas hipóteses pode ter influência direta sobre o manejo da FAS no campo.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Local de condução dos experimentos

Os experimentos foram realizados no Campo Experimental da Fundação de Apoio à Pesquisa e Desenvolvimento Integrado Rio Verde, localizado no Município de Lucas do Rio Verde, MT (latitude 12° 59' S, longitude 55° 57' W e altitude de 390 m), nas safras 2009/2010 e 2010/2011. Na área experimental, onde ocorrem epidemias severas da FAS, o solo é classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico. Foram utilizadas três cultivares de soja com diferentes grupos de maturação, todas suscetíveis a FAS: P98Y11RR (grupo precoce; 95-110 dias), MSOY-8527RR (grupo médio; 111-120 dias) e MSOY-9144RR (grupo tardio; maior que 121 dias), tendo sido semeadas em quatro datas (Tabela 1), para que se obtivessem diversas intensidades da ferrugem em diferentes estádios fenológicos da soja. O critério para a escolha dessas cultivares foi a representatividade da área de cultivo do Estado do Mato Grosso na safra 2009/2010.

Utilizou-se o delineamento experimental em blocos ao acaso no esquema de parcela subdivididas com quatro repetições. As parcelas principais corresponderam às épocas de semeadura e as subparcelas, às cultivares, totalizando 48 subparcelas. Cada unidade experimental constava de uma parcela de 12 linhas de 20 m de comprimento, espaçadas de 0,50 m entre elas. Em todas as épocas de semeadura foi usada uma semeadora mecânica de quatro linhas, juntamente com a adubadeira, em que se aplicaram 500 kg/ha de N-P-K 0-20-30, segundo as exigências da análise do

solo. As cultivares foram semeadas nas seguintes densidades: P98Y11RR-precoce (26 sementes/m²), MSOY8527RR - médio (24 sementes/m²) e MSOY9144RR - tardio (22 sementes/m²), segundo as indicações para a região.

Para o controle de pragas do sistema radicular na fase inicial do grupo da soja, trataram-se as sementes com o inseticida tiametoxana com a dose de 120 mL p.c 100 kg⁻¹ de sementes. Em seguida, as sementes foram tratadas com o inoculante líquido de *Bradyrhizobium japonicum*, com a dosagem de 200 mL p.c. 100 kg⁻¹ de sementes. Para controle de plantas daninhas, realizou-se uma aplicação de glifosato na dose de 1,5 L/ha, nas plântulas no estágio V1. Os demais tratos culturais foram os recomendados para a cultura da soja (TECNOLOGIAS, 2008).

Durante o ciclo da soja foram registrados e armazenados os dados climáticos em uma Estação Meteorológica Automática (EMA) (S-1220 - ISIS, Squitter do Brasil), a qual foi instalada dentro das unidades experimentais, quando as plantas de soja estavam no estágio V4. Os dados foram registrados a cada de 15 min, nas seguintes variáveis climáticas: temperatura do ar, umidade relativa do ar, precipitação pluvial e duração do molhamento foliar. Os valores da duração do molhamento foliar foram registrados por três sensores posicionados no dossel das plantas, em diferentes alturas e ajustados periodicamente conforme o desenvolvimento das plantas.

2.2. Avaliação da severidade da ferrugem da soja

As avaliações da severidade ocorreram nos intervalos de sete dias, em plantas entre os estádios V6 e R6, segundo a escala fenológica desenvolvida por Ritchie et al. (1982) e adaptada por Yorinori (1996) (Tabela 2). Foram coletadas cinco plantas por unidade experimental, selecionadas aleatoriamente, nas quais foram destacados os trifólios, que foram observados em microscópio estereoscópico no aumento de 20×. Posteriormente, obtiveram-se o número total de folíolos avaliados (NTF) de cada amostra e o número de folíolos com sintomas da FAS (NFS). Os

folíolos com sintomas da FAS foram escaneados na resolução de 300 dpi, e as imagens foram analisadas usando-se o Programa QUANT (LIBERATO, 2003; VALE et al., 2003). O Programa QUANT foi desenvolvido com o objetivo de quantificar a severidade de doenças a partir de imagens digitalizadas de folhas doentes. O programa divide a imagem: parte de fundo da imagem, tecido sadio e tecido sintomático. Em seguida, em cada parte se reduz o número de cores, ficando apenas três cores referentes ao fundo, tecido sadio e tecido doente. Posteriormente, a imagem é processada, quando o programa realiza a contagem do número de pixels, referente a uma da cor e converte em área real.

A severidade da FAS foi estimada pelo somatório das áreas de todos os folíolos com sintomas da doença, dividindo-se pela área total dos folíolos (ATF) de cada amostra, resultando na severidade foliolar da FAS em cada unidade experimental.

A área abaixo da curva do progresso da ferrugem relativa (AACPFR) foi calculada pela integração dos valores de severidade das plantas referentes às repetições de cada tratamento (SHANER; FINNEY, 1977), dividindo-a pela duração do período de avaliação (FRY, 1978), sendo:

$$AACPFR = \frac{\left[\sum_{i=1}^{n-1} \left(\frac{y_i + y_{i+1}}{2} \right) \cdot (t_{i+1} - t_i) \right]}{n}$$

em que:

(y_i e y_{i+1}) = valores de severidade observados entre duas avaliações consecutivas;

($t_{i+1} - t_i$) = intervalo de tempo entre as avaliações; e

n = duração do período de avaliação.

2.3. Avaliação da área foliar e estimativa do índice de área foliar (IAF)

As avaliações da área foliar foram realizadas a intervalos de 15 dias, em plantas de soja nos estádios V3 a R6 até a desfolha total. Efetuaram-se amostragens destrutivas, sendo coletadas duas plantas por unidade experimental, das quais foram destacados os trifólios para serem

escaneados na resolução de 300 dpi. As imagens foram analisadas utilizando-se o Programa QUANT para quantificar a área foliar das amostras de cada unidade experimental.

Para avaliação da área foliar, em cada imagem analisada no QUANT consideraram-se o tecido foliar verde e o plano de fundo da imagem analisada. De posse dos valores de área foliar referente a cada parcela, calculou-se o IAF, que é a relação entre a área foliar total do dossel verde das plantas e a sua superfície projetada no solo (WATSON, 1947).

Com os dados do IAF, calculou-se a área abaixo da curva de crescimento do índice de área foliar (AACCIAF), com o objetivo de comparar as diferentes cultivares e épocas de semeadura. Posteriormente, calculou-se a AACCIAF relativa, dividindo o valor total da AACCIAF pelo período de avaliação, em dias.

2.4. Análises estatísticas dos dados

Realizou-se a análise conjunta dos dados das safras 2009/2010 e 2010/2011 para a plotagem das curvas do progresso. Com os valores de severidade, realizaram-se análises preliminares para estabelecer entre os modelos de Gompertz ou logístico, o que melhor representaria a dinâmica temporal da FAS. Os critérios usados para escolher o modelo foram: o menor quadrado médio do resíduo (QMR), a análise de resíduos para certificar a independência e homogeneidade dos erros e o maior coeficiente de determinação (R^2) (JESUS JUNIOR et al., 2004; MADDEN et al., 2007). Os dados foram tabulados e formatados em planilhas do Microsoft Office Excel® 2007 software (Microsoft Office Corporation, USA), e nas análises foram realizadas utilizando o Programa SAS® versão 9.0 (SAS Institute, Inc., Cary, N.C.).

Para os dados da AACPFPR foram estimados os intervalos de confiança a 5% de probabilidade, entre as épocas de semeadura.

Os dados do IAF em função da duração da área foliar (DAF) em dias foram utilizados na análise de regressão não linear, testando-se o modelo Beta generalizado (HAU; KRANZ, 1990), com o objetivo de avaliar a relação

de dependência entre o IAF e a DAF, em dias, para as diferentes cultivares e épocas de semeadura. O modelo testado foi $Y = B_1((X-B_2)^{B_4})*((B_3-X)^{B_5})$, em que os parâmetros B_2 e B_3 representam, respectivamente, a duração da área foliar mínima e máxima; Y_0 , o índice de área foliar estimado; X , a duração da área foliar observada; e os parâmetros B_1 , B_4 e B_5 são do próprio modelo e não possuem significado biológico (HAU; KRANZ, 1990). Para ajuste desse modelo, utilizaram-se os Programas SAS® versão 9.0 (SAS Institute, Inc., Cary, N.C.) e MINITAB Statistical Software Release 15 (MINITAB Inc., 2007).

Com as variáveis AACPFRR e AACCIARR calculadas, plotaram-se os valores para verificar o grau de associação entre elas, por intermédio da análise de correlação. As análises e os gráficos de correlação foram realizados utilizando o Programa MINITAB Statistical Software Release 15 (MINITAB Inc., 2007).

3. RESULTADOS

3.1. Dados meteorológicos registrados durante a condução dos experimentos

As condições climáticas nas duas safras, na região de Lucas do Rio Verde, MT, foram favoráveis ao desenvolvimento da cultura da soja, bem como para o progresso da FAS. Nos experimentos da safra 2009/2010, as temperaturas noturnas durante as epidemias de FAS variaram de 22,1 a 29,8 °C, com temperatura média noturna de 26,1°C (Figura 1A). A umidade relativa noturna do ar variou de 65,3 a 99,85%, com uma umidade média noturna de 89,7% (Figura 1A). O valor acumulado de precipitação foi de 1.464,8 mm (Figura 1A). Nos experimentos da safra 2010/2011, as temperaturas noturnas durante as epidemias de FAS variaram de 21,7 °C a 29,3 °C, com temperatura média noturna de 26,8 °C (Figura 1B). A umidade relativa noturna do ar variou entre 56,3 e 100%, com umidade média noturna de 87,8% (Figura 1A). O valor acumulado de precipitação foi de 1.604,5 mm (Figura 1B). As exigências médias de precipitação para semeaduras no início de outubro foram atingidas nas duas safras. Considerando as temperaturas registradas entre outubro/09 e maio/10 e de outubro/10 a maio/11 (Figura 1), houve favorabilidade para a ocorrência de epidemias de FAS.

3.2. IAF e AACCIAFR

Considerando a variável IAF nas diferentes épocas de semeadura, observou-se o encurtamento do ciclo em dias entre as cultivares (Figura 2). Independentemente da cultivar e da safra, os maiores valores de IAF ocorreram nas plantas da primeira época de semeadura (Figura 3). A AACCIAFR foi significativamente maior nas plantas da cultivar tardia (MSOY-9144RR) do que nas demais cultivares, independentemente das épocas de semeadura em cada safra (Figura 4). Para a cultivar do grupo médio (MSOY-8527RR), a AACCIAFR foi significativamente maior do que na cultivar de grupo precoce, nas quatro épocas de semeadura e nas duas safras (Figura 4).

3.3. CPFAS e AACPFAS

Os primeiros sintomas da FAS na primeira época foram observados, nos estádios de pleno florescimento (R2) da cultivar P98Y11RR, vagens com até 1,5 cm no estádio (R3) da cultivar MSOY8527RR e na formação de vagens (R4) da cultivar MSOY9144RR.

A AACPFER foi significativamente maior nas plantas da cultivar precoce do que nas demais cultivares, independentemente das épocas de semeadura em cada safra (Figura 6). Na cultivar do grupo médio, a AACPFER foi significativamente menor do que na cultivar de grupo precoce em todas as épocas de semeadura nas duas safras (Figura 6).

Os maiores valores da taxa de progresso (r^*_{Gomp}) foram observados na cultivar precoce (P98Y11RR), independentemente da época de semeadura, com valores de 0,0654; 0,0659; 0,0782; e 0,0891, respectivamente, nas épocas de semeadura em outubro, novembro, dezembro e janeiro (Figura 5).

Entretanto, os menores valores de taxa de progresso (r^*_{Gomp}) foram observados na cultivar tardia (MSOY-9144RR), independentemente da época de semeadura, com valores de r de 0,0368; 0,0431; 0,0473; e 0,0563,

respectivamente, nas épocas de semeadura outubro, novembro, dezembro e janeiro (Figura 6).

3.4. Correlação entre a AACPFRR e a AACCIARR

Houve correlação negativa entre a AACPFRR e a AACCIARR, com coeficientes de correlação de -0,73; -0,77; e -0,82 nas cultivares precoce, média e tardia, respectivamente (Figura 7).

4. DISCUSSÃO

O IAF variou entre as cultivares P98Y11RR (grupo precoce), MSOY-8527RR (grupo médio) e MSOY-9144RR (grupo tardio), nas diferentes épocas de semeadura, afetando a dinâmica temporal da FAS. Durante as oito épocas de semeadura referentes às duas safras, houve condições de favorabilidade para a ocorrência e progresso da FAS, principalmente quando se observam valores de temperaturas médias noturnas e umidade relativa noturna. Para iniciar o processo de infecção, o fungo necessita de períodos de molhamento foliar entre 6 e 10 h, com temperaturas que variam de 15 a 30 °C durante esse período, caracterizado como período crítico (MARCHETTI et al., 1976). De acordo com Melching et al. (1989), as infecções causadas por *P. pachyrhizi* ocorreram a partir de 6 h de molhamento, nas temperaturas entre 18 e 26,5 °C. Esses dados são concordantes com os obtidos por Yang et al. (1990), que compararam épocas de semeadura em diversas estações do ano e verificaram que as condições climáticas têm forte influência no desenvolvimento da doença. As chuvas tiveram distribuição regular, em todas as épocas de semeadura. Del Ponte et al. (2006) observaram forte associação entre severidades finais da ferrugem e o número de dias e a quantidade de chuva (mm), no período de 30 dias após a detecção da doença, em 35 casos de epidemias observados em três anos e mais de 20 locais, nas diferentes regiões produtoras. Para esses autores, diversos fatores afetam a dinâmica da ferrugem asiática em níveis locais e regionais, fazendo que essa enfermidade se comporte de maneira diferente a cada safra, por influência das condições prevalentes que

predispõem ou retardam a ocorrência e desenvolvimento da doença, como as condições climáticas.

O fato de a soja ser uma planta de dias curtos, as cultivares são afetadas pelo fotoperíodo e pela temperatura. Numa mesma latitude, o efeito de diferentes datas de semeadura resulta em diferentes exposições das plantas, ocorrendo diferentes combinações de fotoperíodo e de temperatura. Neste trabalho, as plantas referentes à primeira época de semeadura foram expostas a um maior fotoperíodo, isso em relação às demais épocas, resultando em maiores valores de área foliar e, conseqüentemente, do IAF. A sensibilidade ao fotoperíodo é variável entre cultivares, e as de “período juvenil longo” possuem adaptabilidade ampla, possibilitando sua utilização em faixas mais abrangentes de latitudes e de épocas de semeadura. Portanto, as variações da época de semeadura e maturidade das cultivares interferem, principalmente, na indução floral, no índice de área foliar, na taxa de crescimento e na duração do enchimento dos grãos. As diferenças na duração do período vegetativo entre as cultivares são função do número de dias curtos mínimos para a indução da floração (STEINBERG; GARDNER, 1936). Além do efeito do fotoperíodo, a desfolha devido à FAS leva à redução do ciclo das cultivares, refletindo em menores valores do IAF e AACCI AFR (Figuras 3 e 4).

De acordo com Tschanz e Wang (1987) e Hartman (1995), há forte relação entre o grupo de maturação de plantas de soja e o progresso da FAS. Esses autores Tschanz e Tsai (1982) e Tschanz et al. (1986) observaram que a exposição de cultivares ao fotoperíodo mais longo ocasionou menor progresso da FAS, em comparação com cultivares não expostas ao fotoperíodo longo.

Neste trabalho, no entanto, observou-se que em cada época de semeadura a cultivar MSOY-9144RR (grupo tardio) teve, em média, sete dias a mais para o enchimento dos grãos, em comparação com os demais cultivares, devido à diluição da intensidade da doença sobre maior IAF. No entanto, nas diferentes épocas de semeadura a cultivar P98Y11RR (grupo precoce) teve, em média, seis dias a menos para o enchimento de grãos, caracterizando maior dependência do IAF, ou seja, a diluição da intensidade da doença sobre menor IAF (Figura 7). Com base nas curvas de progresso,

observou-se que os valores de severidade máxima variaram entre 65 e 87%, refletindo em desfolha, sendo o principal fator da redução do IAF das plantas e, conseqüentemente, redução dos valores de AACCIADR. O fato de que a AACPFDR se manteve constante entre as épocas de semeadura na cultivar tardia sugere que o IAF teve forte influência no progresso da FAS nas plantas da cultivar precoce do que nas plantas das cultivar de grupo médio e tardio. Associado aos maiores valores da AACCIADR, a severidade da FAS entre as cultivares tendeu a ser menor nas plantas das cultivares de grupo médio e tardio do que na de grupo precoce.

As recomendações para o manejo da FAS, na ausência de cultivares resistentes, indicam o uso de cultivar de grupo precoce com as semeaduras no início da época recomendada para cada região e aplicações de fungicidas no estágio de pleno florescimento (R1) (REUNIÃO, 2006; TECNOLOGIAS, 2007; TECNOLOGIAS, 2008; EMBRAPA SOJA, 2011).

De acordo com os resultados deste trabalho, verifica-se que a cultivar precoce em oito épocas de semeadura, nas duas safras, apresentou menor IAF e maiores valores da AACPFDR. Isso confirma que na cultivar precoce a proporção de área foliar doente em relação à área foliar sadia é reduzida rapidamente pelo fato de a FAS afetar a área foliar e, conseqüentemente, o IAF, em comparação com as cultivares de grupo médio e tardio que apresentaram maiores IAF. Portanto, assumindo uma mesma intensidade da FAS, nas três cultivares (precoce, médio e tardio) a cultivar precoce alcançará mais rapidamente a área foliar sadia, ou seja, maior dependência do tecido foliar verde, quando comparada com as cultivares de grupos médio e tardio, em razão das diferenças nas proporções da área foliar sadia e na área foliar doente que compõem o IAF total.

Na cultura da soja quando se usam cultivares de diferentes grupos de maturação, o progresso temporal da FAS pode ser mascarado quando não se utilizam a área absoluta de tecido verde e a proporção de área lesionada. Segundo Yorinori (2002), a emissão de novos trifólios nas plantas das cultivares que estão no estágio vegetativo no momento do aparecimento da FAS pode reduzir os valores da severidade da FAS. Resultados similares foram obtidos por Diaz et al. (2005), quando observaram que cultivares do

grupo precoce apresentaram maior dependência de duração da área foliar sadia.

Assim, é plausível concluir que o IAF absoluto na cultivar precoce, por ser menor, apresenta menor efeito de compensação, o que resulta em maior severidade da FAS. Entretanto, as cultivares de grupos médio e tardio apresentaram maior efeito de compensação do IAF e, por consequência, menor severidade da FAS. Assim, o uso do IAF pode auxiliar na tomada de decisão, principalmente nas cultivares precoces, que apresentam menor IAF e menor ciclo, e as aplicações de fungicidas deveriam ser antecipadas, em comparação com as demais cultivares de maior IAF.

5. REFERÊNCIAS

ANDRADE, P. J. M.; ANDRADE, D. F. A. **Ferrugem asiática**: uma ameaça à sojicultura brasileira. Dourados, MS: EMBRAPA Agropecuária Oeste Convênio Fundação Chapadão, 2002.11 p. (Circular Técnica, 11).

BERGAMIN FILHO, A.; CARNEIRO, S. M. T. P. G.; GODOY, C. V.; AMORIM, L.; BERGER, R.; HAU, B. Angular leaf spot of *Phaseolus* bean: relationships between disease, healthy leaf area, and yield. **Phytopathology**, v. 87, p. 506-515, 1997.

BERGAMIN FILHO, A.; HAU, BERNHARD; AMORIM, Lilian; JESUS JR., Waldir Cintra de. Análise espacial de epidemias. In: VALE, Francisco Xavier Ribeiro do; JÚNIOR, Waldir Cintra de Jesus; ZAMBOLIM, Laércio (Org.). **Epidemiologia aplicada**. 1. ed. Belo Horizonte, MG: Perfíl, 2004. v. 1, p. 195-236.

BROMFIELD, K. R.; YANG, C. Y. Soybean rust: Summary of available knowledge. In: GOODMAN, R. M. (Ed.). **Expanding the Use of Soybeans**. Urbana-Champaign: Univ. of Illinois, 1976. p. 161-164. (INTSOY Series, 10).

CÂMARA, G. M. S.; HEIFFIG, L. S. Fisiologia, ambiente e rendimento da cultura da soja. In: CÂMARA, G. M. S. **Soja**: tecnologia da produção. Piracicaba, SP: ESALQ/LPV, 2000. p. 81-120.

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

DESBOROUGH, P. J. Selection of cultivar and sowing date as a strategy for avoidance of rust (*Phakopsora pachyrhizi* Syd.) losses in coastal New South Wales. **Australian Journal Exp. Agric. Anim. Husb.**, v. 24, p. 995-999, 1984.

Díaz, C. G.; L. D. PLOPER, M. R.; GALVEZ, V.; GONZALVEZ, M. A. ZAMORANO, H. E.; JALDO, C.; LOPEZ y J. C. Ramallo. Effect of late season diseases on the growth of different soybean genotypes in relation to planting date. **Agriscientia**, v. 22, n. 1, p. 1-7, 2005.

EMBRAPA SOJA. **Eficiência de fungicidas para o controle da ferrugem Asiática da soja, *Phakopsora pachyrhizi*, na safra 2010/2011**: resultados sumarizados dos ensaios cooperativos. Londrina, PR: Embrapa Soja, 2011. 8 p. (Circular Técnica, 87).

FRY, W. E. Quantification of general resistance of potato cultivars and fungicide effects for integrated control of potato late blight. **Phytopathology**, v. 68, p. 1650-1655, 1978.

HARTMAN, G. L. Highlights of soybean rust research at the Asian Vegetable Research and Development Center. Pages 19-28 in: SINCLAIR, J. B. et al. (Ed.). SOYBEAN RUST WORKSHOP, 9-11 Aug. 1995. **Proceedings...** Urbana, IL: College of Agricultural, Consumer, and Environmental Sciences, National Soybean Research Laboratory, 1995.

HAU, B.; KRANZ, J. Mathematics and statistics for analyses in epidemiology. In: KRANZ, J. (Ed.). **Epidemics of plant disease**: mathematics analyses and modeling. Berlin: Springer-Verlag, 1990. p. 12-52.

HSU, C. M.; WU, L. C. Study on soybean rust. **Scientific Agriculture**, v. 6, n. 86-88, 1968.

JEGER, M. J. Asymptotes of disease: equilibria between host growth and lesion increase? In: INT. WORKSHOP CURR. STATUS OF BOT. EPIDEMIOLOG. **Proceedings...** Raleigh: North Carolina State University, 1983.

LIBERATO, J. R. **Desenvolvimento e avaliação do Programa QUANT para quantificação de doenças de plantas por análise de imagens digitais**. Viçosa, MG: UFV, 2003. Tese (Doutorado em Fitopatologia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2003.

MARCHETTI, M. A.; MELCHING, J. S.; BROMFIELD, K. R. The effects of temperature and dew period on germination and infection by uredospores of *Phakopsora pachyrhizi*. **Phytopathology**, v. 66, p. 461-463, 1976.

MADDEN, L. V.; HUGHES, G.; VAN DEN BOSCH, F. **The study of plant disease epidemics**. St. Paul, Minnesota: The American Phytopathological Society, APS Press, 2007.

MELCHING, J. S.; DOWLER, W. M.; KOOGLE, D. L.; ROYER, M. H. Effects of duration, frequency, and temperature of leaf wetness periods on soybean rust. **Plant Disease**, v. 73, n. 117-122, 1989.

MINITAB STATISTICAL SOFTWARE. **Release 15 for Windows**. Minitab Inc., USA, 2007.

MOREIRA, E. N. **Ferrugem asiática da soja**: influência do estágio fenológico na ocorrência e comparação de sistemas de aviso. 2009. 115 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, RS, 2009.

OGLE, H. J.; BYTH, D. E.; MCLEAN, R. J. Effect of rust (*Phakopsora pachyrhizi*) on soybean yield and quality in south-eastern queensland. **Australian Journal of Agricultural Research**, v. 30, p. 883-893, 1979.

REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO SUL. **Indicações técnicas para a cultura da soja no Rio Grande do Sul e em Santa Catarina 2006/2007**. Pelotas, RS: Embrapa Clima Temperado, 2006. 237 p.

RITCHIE, S.; HANWAY, J. J.; THOMPSON, H. E. **How a soybean plants develops**. Ames: Iowa State University of Science and Technology, Cooperative Extension Service, 1982. 20 p. (Special Report, 53).

SAS STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM PROGRAM, version 9.0. 2001.

SHANER, G.; FINNEY, R. E. The effect of nitrogen fertilization on the expression of slow-mildewing resistance in Knox wheat. **Phytopathology**, v. 67, p. 1051-1056, 1977.

SHIN, D. C.; TSCHANZ, A. T. Studies on physiological reactions of soybean cultivars tolerant and susceptible to rust (*Phakopsora pachyrhizi* Syd.). AVRDC. **Korean J. Crop Sci.**, v. 31, p. 440-446, 1986.

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

STEINBERG, R. A.; GARDNER, W. W. Response of certain plants to length of day and temperature under controlled conditions. **Journal of Agricultural Research**, Washington, v. 52, p. 943-960, 1936.

TECNOLOGIAS DE PRODUÇÃO DE SOJA – Região Sul do Brasil – 2007. **Sistemas de Produção 10**. Londrina, PR: Embrapa-CNPSo, 2007. 217 p.

TECNOLOGIAS DE PRODUÇÃO DE SOJA – Região Central do Brasil – 2009 e 2010. **Sistemas de Produção 11**. Londrina, PR: Embrapa-CNPSo, 2008. 217 p.

TENG, P. S. A comparison of simulation approaches to epidemic modelling. **Annu. Rev. Phytopathology**, v. 23, p. 35 1-379, 1985.

TSCHANZ, A. T.; TSAI, B. Y. Effect of maturity on soybean rust development. **Soybean Rust Newsletter**, v. 5, p. 38-41, 1982.

TSCHANZ, A. T.; SHANMUGASUNDARAM, S. Soybean rust. In: SHIBLES, R. (Ed.). **WORLD SOYBEAN RESEARCH CONFERENCE**, 3., 1985, Ames. **Proceedings...** Ames, Iowa, 1985. p. 562-567.

TSCHANZ, A. T.; WANG, T. C.; TAI, B. Y. Recent advances in soybean rust research. In: SHANMUGASUNDARAM, S. (Ed). **Soybean in tropical and subtropical cropping systems**. Shanhua, Taiwan: Asian Vegetable Research and Development Center, 1986. p. 237-247.

TSCHANZ, A. T.; WANG, T. C. Interrelationship between soybean development, resistance and *Phakopsora pachyrhizi*. **Soybean Rust Newsletter**, v. 8, p. 14-18, 1987.

VALE, F. X. R.; FERNADES FILHO, E. I. F.; LIBERATO, J. R. QUANT – A software for plant disease severity assessment. In: INTERNATIONAL CONGRESS OF PLANT PATHOLOGY, 8., 2003, Chriatchurch. **Anais...** Chriatchurch, New Zealand, 2003.

VALE, F. X. R.; JESUS JUNIOR, W. C.; ZAMBOLIM, L. **Epidemiologia aplicada ao manejo de doenças de plantas**. Belo Horizonte: Perfil, 2004. 531 p.

WAGGONER, P. E.; BERGER, R. D. Defoliation, disease and growth. **Phytopathology**, v. 77, p. 393-398, 1987.

WATSON, D. J. Comparative physiological studies in the growth of field crops. I. Variation in net assimilation rate and leaf area between species and varieties, and within and between years. **Annals of Botany**, v. 11, p. 41-76, 1947.

YANG, X. B.; ROYER, M. H.; TSCHANZ, A. T.; TSIA, B. Y. Analysis and quantification of soybean rust epidemics from seventy-three sequential planting experiments. **Phytopathology**, v. 80, p. 1421-1427, 1990.

YORINORI, J. T. **Cancro da haste da soja**: epidemiologia e controle. Londrina, PR: EMBRAPA-CNPSo, 1996. 75 p. (Circular Técnica, 14).

YORINORI, J. T.; MOREL, W. P. **Ferrugem da soja (*Phakopsora pachyrhizi*)**: alerta. Londrina, PR: Embrapa, Centro Nacional de Pesquisa de Soja, 2002. 4 p.

YORINORI, J. T. Situação atual das doenças potenciais no cone sul. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SOJA, 2., 2002, Foz do Iguaçu. **Anais...** Londrina, PR: Embrapa Soja, 2002. p. 171-187.

6. TABELAS

Tabela 1 - Datas de semeadura e cultivar usadas nos experimentos na área experimental da Fundação de Apoio à Pesquisa e Desenvolvimento Integrado Rio Verde, nas safras 2009/2010 e 2010/2011

Tratamentos	Épocas	Datas de semeadura		Grupos de maturação	Cultivar
		2009/2010	2010/2011		
1	Primeira	25/10/2009	20/10/2010	Precoce - 8.1	P98Y11RR
2				Médio - 8.5	MSOY-8527RR
3				Tardio - 9.1	MSOY-9144RR
4	Segunda	19/11/2009	19/11/2010	Precoce - 8.1	P98Y11RR
5				Médio - 8.5	MSOY-8527RR
6				Tardio - 9.1	MSOY-9144RR
7	Terceira	14/12/2009	15/12/2010	Precoce - 8.1	P98Y11RR
8				Médio - 8.5	MSOY-8527RR
9				Tardio - 9.1	MSOY-9144RR
10	Quarta	08/01/2010	05/01/2011	Precoce - 8.1	P98Y11RR
11				Médio - 8.5	MSOY-8527RR
12				Tardio - 9.1	MSOY-9144RR

Tabela 2 - Descrição dos estádios fenológicos da soja

I. Fase Vegetativa	
VC	Da emergência a cotilédones abertos
V1	Primeiro nó, folhas unifolioladas abertas
V2	Segundo nó, primeiro trifólio aberto
V3	Terceiro nó, segundo trifólio aberto
V4	Quarto nó, terceiro trifólio aberto
Vn	Enésimo nó (último) com trifólio aberto, antes do início da floração
II. Fase Reprodutiva	
R1	Início da floração: até 50% das plantas com uma flor
R2	Floração plena: maioria dos racemos com flores abertas
R3	Final da floração: vagens com até 1,5 cm
R4	Maioria de vagens do terço superior com 2,0 a 4,0 cm
R5.1	Início de formação dos grãos a 10% da granação
R5.2	Maioria das vagens com granação de 10 - 25%
R5.3	Maioria das vagens entre 25 e 50% de granação
R5.4	Maioria das vagens entre 50 e 75% de granação
R5.5	Maioria das vagens entre 75 e 100% de granação
R6	Maioria das vagens com granação de 100% e folhas verdes
R7.1	Início a 50% de amarelecimento de folhas e vagens
R7.2	Entre 51 e 75% de folhas e vagens amarelas
R7.3	Mais de 75% de folhas e vagens amarelas
R8.1	Início a 50% de desfolha
R8.2	Mais de 50% de desfolha na pré-colheita
R9	Maturidade de campo

Fonte: RITCHIE, S.; HANWAY, J. J.; THOMPSON, H. E., 1982.

Adaptado por YORINORI et al., 1993.

7. FIGURAS

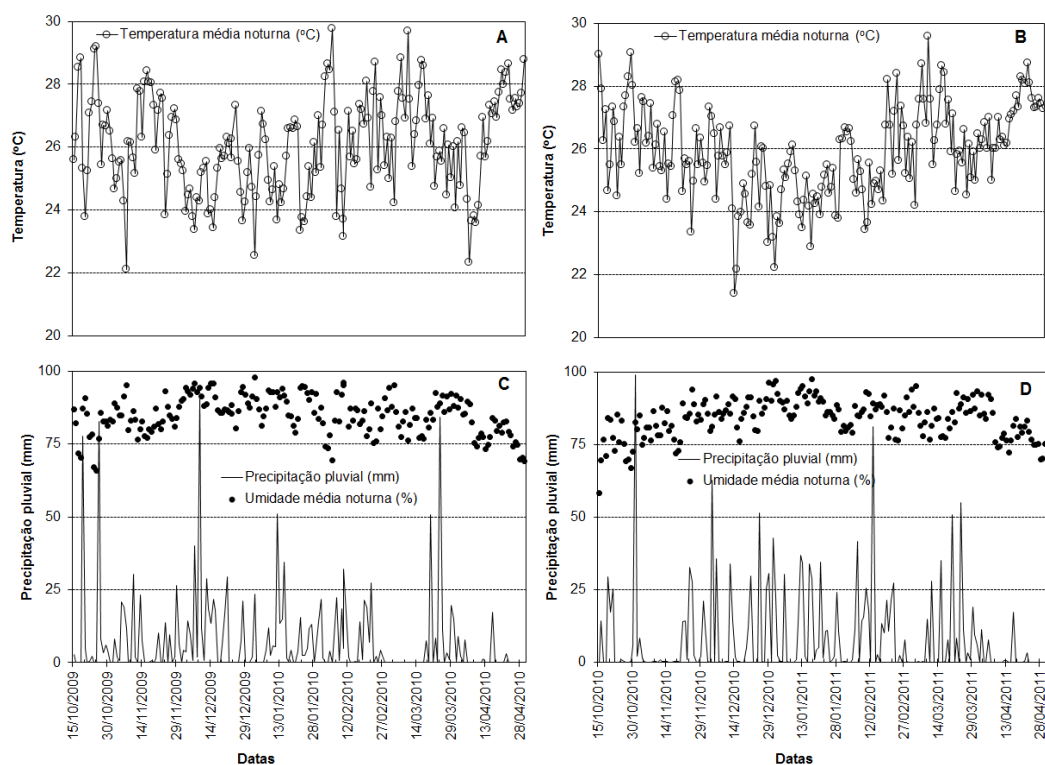


Figura 1 - Temperatura média noturna (°C) (A e B), precipitação pluvial (mm) e umidade relativa média diária noturna (%) (C e D) de 15/10/2009 a 30/04/2010 e de 15/10/2010 a 30/04/2011, nas safras 2009/2010 (A e C) e 2010/2011 (B e D).

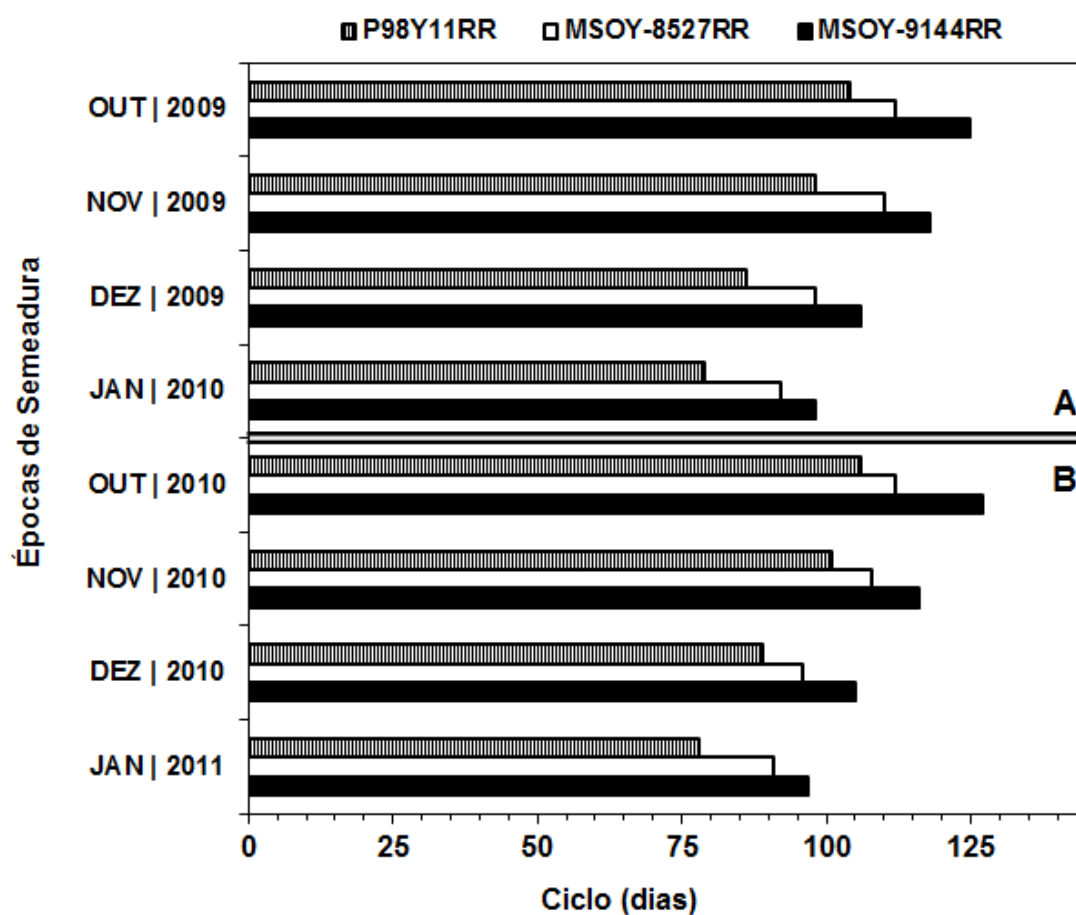


Figura 2 - Duração do grupo das plantas das três cultivares de soja dos grupos de maturação precoce, médio e tardio em quatro épocas de semeadura, nas safras 2009/2010 (A) e 2010/2011 (B).

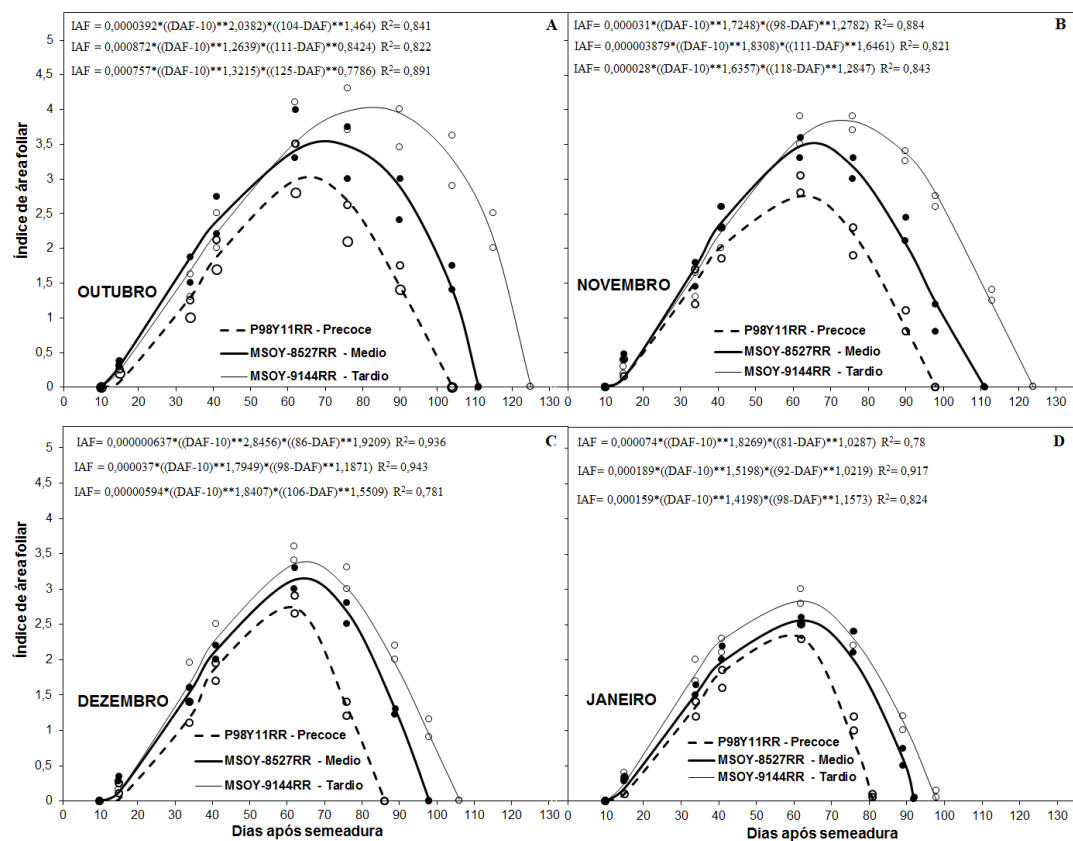


Figura 3 - Índice de área foliar (IAF) nas plantas das três cultivares de soja dos grupos de maturação precoce, médio e tardio em quatro épocas de semeadura, nas safras 2009/2010 (A e B) e 2010/2011 (C e D).

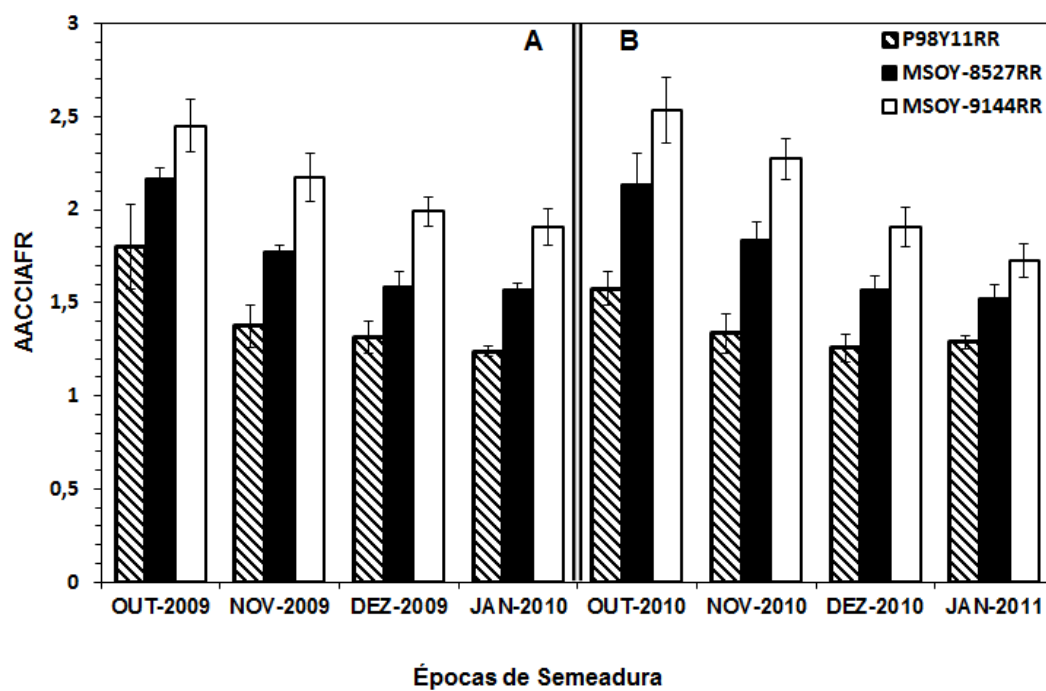


Figura 4 - Área abaixo da curva do crescimento do índice de área foliar relativa (AACCI AFR) nas plantas das três cultivares de soja dos grupos de maturação precoce, médio e tardio em quatro épocas de semeadura, nas safras 2009/2010 (A) e 2010/2011 (B).

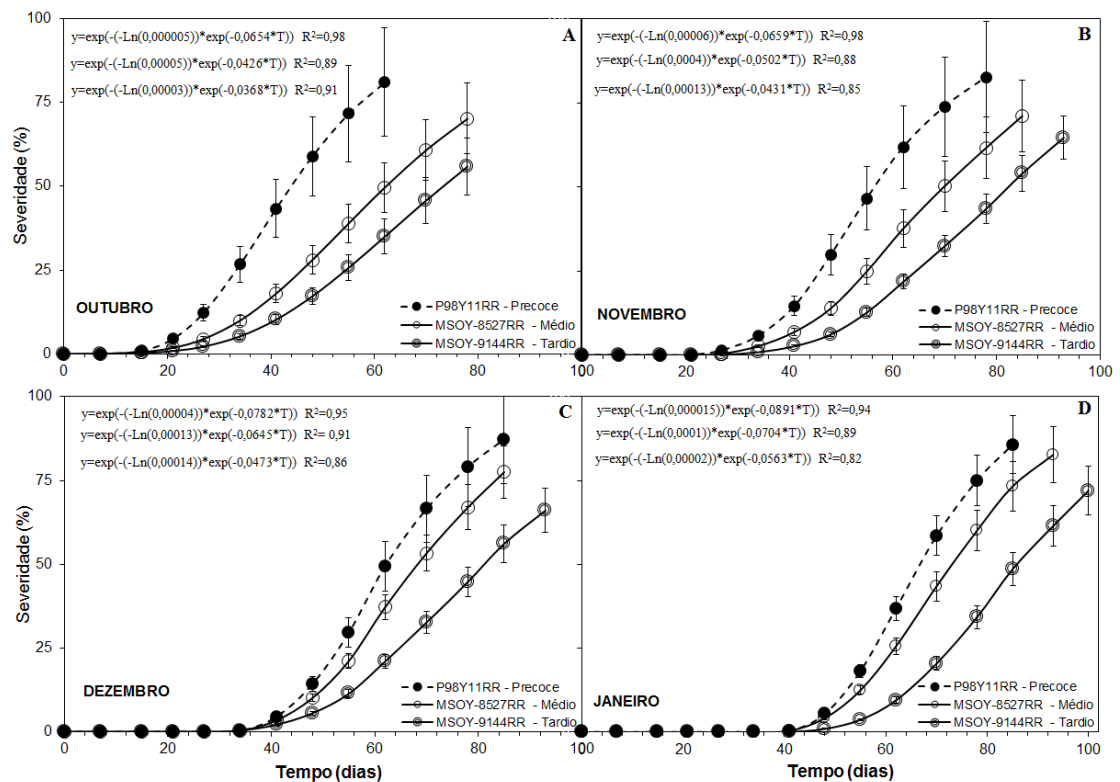


Figura 5 - Curvas de progresso da severidade da ferrugem asiática ajustadas pelo modelo de Gompertz, nas plantas de três cultivares de soja dos grupos de maturação precoce, médio e tardio em quatro épocas de semeadura, nas safras 2009/2010 (A e B) e 2010/2011 (C e D).

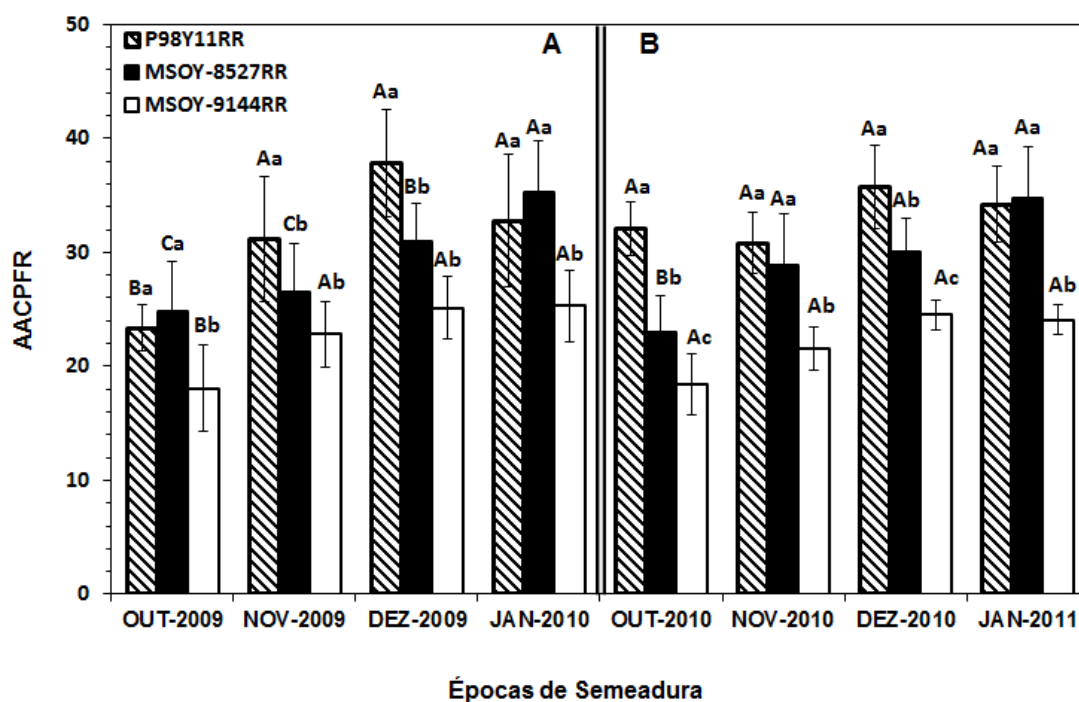


Figura 6 - Área abaixo da curva do progresso da ferrugem relativa (AACPFR) nas plantas de três cultivares de soja dos grupos de maturação (P98Y11RR, MSOY-8527RR e MSOY-9144RR) em quatro épocas de semeadura, nas safras 2009/2010 (A) e 2010/2011 (B). O intervalo de confiança está representado em cada barra ($P = 0,05$). Médias antecedidas por diferentes letras minúsculas entre cultivares dentro da mesma época de semeadura apresentam diferenças significativas; médias antecedidas por diferentes letras maiúsculas entre as épocas de semeadura e entre cultivares apresentam diferenças significativas, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

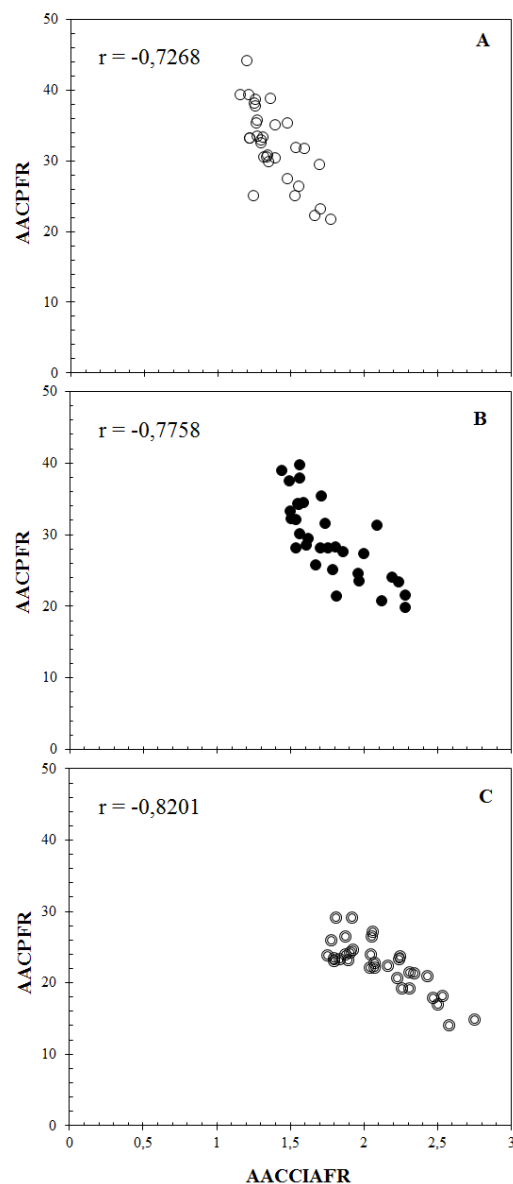


Figura 7 - Correlação entre a área abaixo da curva do progresso da ferrugem relativa (AACPFRR) e a área abaixo da curva do crescimento do índice de área foliar relativa (AACCIARR) das cultivares de soja de grupo precoce (A), médio (B) e tardio (C) em quatro épocas de semeadura. Dados das safras 2009/2010 e 2010/2011.

CONCLUSÕES GERAIS

CAPÍTULO 1

- 1) O comportamento epidemiológico da ferrugem asiática da soja foi diferente em cada cultivar de soja e época de semeadura.
- 2) O cultivar P98Y11RR (precoce) apresentou os maiores valores de taxa de progresso do que a cultivar MSOY-9144RR (tardio).
- 3) À medida que atrasa a época de semeadura, maiores são os riscos de epidemias da FAS, principalmente na cultivar precoce.

CAPÍTULO 2

- 1) As variações das épocas de semeadura e maturidade das cultivares interferiam no índice de área foliar total, sendo mais evidentes na cultivar precoce.
- 2) Na cultivar precoce, a proporção de área foliar doente em relação à área foliar sadia reduziu-se rapidamente pelo fato de a FAS atingir a área foliar total.
- 3) A cultivar precoce apresentou maior dependência do tecido foliar verde devido ao menor efeito de compensação, resultando em maior severidade da FAS.
- 4) A cultivar do grupo médio e tardio apresentou maior capacidade de diluição do IAF e, conseqüentemente, menor severidade da FAS.