

RELAÇÕES DE CAUSA E EFEITO ENTRE CONDIÇÕES AMBIENTAIS, UREDINIÓSPOROS E SEVERIDADE DE FERRUGEM-ASIÁTICA DA SOJA

RELATIONS OF CAUSE AND EFFECT AMONG ENVIRONMENTAL CONDITIONS, AIRBORNE UREDINIOSPORES AND ASIAN SOYBEAN RUST SEVERITY

Renata Moreschi MESQUINI¹; Rafael Augusto VIEIRA²;
Kátia Regina F. SCHWAN-ESTRADA³; Cláudia Vieira GODOY⁴

1. Graduação em Agronomia, Departamento de Agronomia, Universidade Estadual de Maringá - UEM, Maringá, PR, Brasil. rmesquini@gmail.com 2. Mestrando em Melhoramento Vegetal de Plantas, UEM, PR, Brasil. 3. Professora, Doutora, Departamento de Agronomia – UEM, PR, Brasil. 4. Pesquisadora, Doutora, Embrapa Soja, Londrina, PR, Brasil.

RESUMO: O objetivo deste trabalho foi estabelecer relações entre condições ambientais, o número de urediniósporos de *Phakopsora pachyrhizi* e a severidade da ferrugem-asiática-da-soja. Para quantificar urediniósporos de *P. pachyrhizi*, coletores foram instalados em campos de soja, em Itambé e Mandaguari, PR. Avaliações de severidade foram realizadas e dados climáticos foram coletados nos dois locais. As variáveis elaboradas foram: número de dias com umidade favorável (>60%), número de dias com temperatura favorável (18 a 32° C), precipitação acumulada e urediniósporos coletados. Uma variável baseada no controle químico também foi elaborada. Correlações entre as variáveis foram estimadas. A análise de trilha foi empregada para desdobrar as correlações. Cerca de 76% da variação das relações de causa e efeito entre as variáveis foi explicada pela análise de trilha. O número de dias para efetuar o controle químico teve efeito direto sob a severidade. O número de dias com temperatura favorável e as precipitações tiveram efeito indireto na severidade, atuando via manutenção de condições favoráveis de umidade.

PALAVRAS-CHAVE: *Phakopsora pachyrhizi*. Análise de trilha. Coletor de esporos.

INTRODUÇÃO

Desde sua identificação na safra 2000/01, a ferrugem-asiática-da-soja (*Phakopsora pachyrhizi* Syd. & P. Syd) exerce papel importante na produção de soja no Brasil. Seus urediniósporos apresentam grande capacidade de disseminação, sendo levados por correntes atmosféricas por longas distâncias (YORINORI, 2002) e, assim, a doença disseminou-se rapidamente pelas principais regiões produtoras de soja do país. Em geral, as perdas de rendimento de grãos devidas à *P. pachyrhizi* chegam a 80% (YORINORI et al., 2005) em virtude da desfolha precoce, que prejudica a formação de vagens e enchimento dos grãos.

As condições ambientais, tais como temperatura, umidade, quantidade e intensidade de chuva, e o controle genético e químico, são decisivos para determinar a intensidade das epidemias de ferrugem-asiática-da-soja. Segundo Melching et al. (1989), as condições mais favoráveis para a infecção e disseminação deste patógeno é de 6 a 12 horas de molhamento foliar e temperatura em torno de 15 a 28°C. Em estudos realizados em safras anteriores no Brasil, a precipitação acumulada foi a variável mais importante para a ocorrência de altos índices de severidade da ferrugem-asiática (DEL PONTE et al., 2006). Nesse contexto, o controle da ferrugem-da-soja compreende diversas medidas,

incluindo o conhecimento dos níveis regionais de infestação, previsões climáticas e, mais recentemente, a resistência genética (GARCIA et al., 2008). Porém, quando a doença já está instalada, o controle químico tem sido a principal forma de controle (JULIATTI et al., 2004; SOARES et al., 2004; SILVA et al., 2010). Muito embora a ferrugem-asiática-da-soja tenha uma enorme importância, as relações entre as condições climáticas, controle e intensidade da doença ainda não são completamente conhecidas.

Posto isso, o objetivo deste trabalho foi, por meio de análise de trilha, estabelecer algumas relações entre condições climáticas e de controle químico, o número de urediniósporos de *Phakopsora pachyrhizi* coletados no ar, e a severidade da ferrugem-asiática-da-soja.

MATERIAL E MÉTODOS

Urediniósporios de *Phakopsora pachyrhizi* foram coletados do ar por meio de dois coletores em cada local, do tipo 'catavento', posicionados a 1,5 m de altura em lavouras comerciais de soja, nos municípios de Mandaguari e Itambé, compreendidos nas regiões Norte-Noroeste do Estado do Paraná. Utilizou-se lâminas de microscópio (7,5 x 2,5 cm) como superfície de impacto dos urediniósporos, sendo que, na superfície das mesmas adicionou-se

graxa de silicone para que os esporos pudessem ser aderidos. Estas lâminas foram removidas e substituídas diariamente durante a safra. Posteriormente os urediniósporos foram quantificados com o auxílio de um microscópio óptico. A quantidade dos mesmos foi acumulada a cada sete dias, originando a variável chamada de *UredAcc*.

Após a detecção dos primeiros sintomas da doença, iniciou-se a quantificação da severidade com o auxílio de escala diagramática apropriada (GODOY et al., 2006). As avaliações foram realizadas em intervalos regulares de sete dias. Em cada avaliação, cerca de 180 folhas trifolioladas foram coletadas e avaliadas. Para isso adotou-se um caminhamento que permitiu a retirada de amostras em uma área de aproximadamente 1600 m² (0,16 ha), nos arredores dos coletores de esporos. As condições meteorológicas, como temperatura mínima e máxima, e umidade relativa do ar, referentes ao período de estudo, foram monitoradas em cada local. Para isso foram utilizadas duas microestações climatológicas em Itambé-PR e Mandaguari-PR. Estas estações estiveram localizadas à cerca de 50 m da área experimental em Mandaguari, e 1.500 m em Itambé. Dados de precipitação foram coletados diariamente por meio de pluviômetros localizados na área experimental. Tais conjuntos de dados de climáticos foram utilizados para elaborar as variáveis: número de dias em que a umidade relativa do ar foi favorável, isto é, acima de 60% (*nDFumidade*); número de dias com temperatura favorável, ou seja, entre 18 (mínima) e 32°C (máxima) (*nDFtemperatura*) e precipitação acumulada (*PrecAcc*). Estes dados foram mensuradas para cada avaliação de severidade, sendo, portanto, examinados à cada sete dias, no intento de possibilitar a posterior estimação de coeficientes de correlação entre elas.

Com relação aos tratos culturais, a semeadura foi realizada em 28/10/2008 Itambé e, 22/12/2008 em Mandaguari, sendo semeadas as cultivares BRS 184 e Vmax, respectivamente. Em ambos os locais, o fungicida azoxystrobina + ciproconazole (0,3 L ha⁻¹) foi aplicado nos estádios fenológicos R1 e R5, conforme a recomendação técnica. A aplicação do controle químico em cada local e, a data do primeiro plantio na região dos municípios supracitados foram usados para elaborar a variável *nDControle*. Esta variável consistiu no número de dias entre o primeiro plantio e a primeira aplicação de fungicida.

Todas as variáveis foram calculadas para cada avaliação de doença e, em cada local individualmente. Posteriormente foram utilizados

juntos para a análise estatística dos dados. Inicialmente, a análise estatística para o estabelecimento das relações baseou-se na estimativa das correlações de Pearson entre *nDFumidade*, *nDFtemperatura*, *PrecAcc*, *nDcontrole*, *UredAcc* e severidade de cada avaliação. Este procedimento foi realizado utilizando o módulo STAT do programa SAS 9.2 versão para Windows (SAS Institute, NC, Cary). Posteriormente, a análise de trilha foi realizada utilizando a matriz de correlação entre variáveis. Para esta análise, a severidade foi considerada como variável principal, enquanto as demais foram consideradas como variáveis secundárias. Tal procedimento foi realizado com o auxílio do programa Genes (CRUZ, 2001).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em uma primeira análise da Tabela 1, verificou-se que o dois locais apresentaram diferentes progressos da doença, bem como diferentes valores máximos de severidade e número de urediniósporos coletados. Isso sugere que diferentes condições ambientais, (climáticas e de controle químico) ocorreram, constituindo assim uma condição favorável para estimar as correlações entre as variáveis em estudo. Tal condição favorável ao estudo é ainda reforçada por conclusões de demais trabalhos da literatura. Segundo estudos realizados no Brasil, Paraguai e Tailândia, condições ambientais de seca moderada à grave têm sido associadas à menores índices de severidade de ferrugem-asiática, bem como de danos de rendimento de grãos (SANGAWONGSE, 1977; YORINORI et al., 2005). À luz dos resultados de Del Ponte et al. (2006), o qual indicaram que a precipitação acumulada foi a variável mais importante para a ocorrência de altos índices de severidade da ferrugem-asiática, é possível inferir que os diferentes ambientes são condicionantes das diferentes epidemias em Itambé e Mandaguari.

De acordo com as estimativas de correlações, as variáveis detiveram associações com a severidade que variaram entre forte (0,84; severidade × *nDControle*) e fraca, praticamente nula (-0,07; severidade × urediniósporos) (Tabela 2). Muito embora seja sabido que a existência do patógeno *P. pachyrhizi* é imprescindível para a ocorrência dos sintomas de uma doença (severidade), a baixa associação verificada entre severidade e urediniósporos, possivelmente, finda-se na necessidade eminente de condições ambientais favoráveis. As associações entre o número de urediniósporos e as demais variáveis variou entre -

0,07 (com severidade, como supracitado) e 0,33 (com precipitação acumulada), caracterizando um fraco nível de associação.

Tabela 1. Variáveis climáticas, de controle químico, urediniósporos de *P. pachyrhizi* no ar e severidade da ferrugem asiática da soja, utilizadas para as estimativas de correlações.

Local	DAS*	Variáveis					
		<i>nDFtemperatura</i>	<i>nDumidade</i>	<i>PrecAcc</i>	<i>UredAcc</i>	<i>nDcontrole</i>	Severidade
Itambé-PR	63	1	0	0,0	0	80	0,0
	69 a 75	2	0	0,0	472	87	0,4
	76-82	4	4	60,0	1.160	94	2,5
	83-89	5	7	60,0	2.588	101	4,0
	90-96	8	12	97,0	4.668	108	8,5
	97-103	8	12	177,0	10.235	115	11,0
	104-110	10	14	182,0	22.092	122	22,0
	111-117	15	18	182,0	32.288	129	35,0
	118-124	18	19	182,0	44.591	136	44,0
Mandaguari-PR	56	0	0	4,0	0	60	0,0
	62 a 68	1	3	60,9	29	67	1,5
	69 a 75	6	6	95,9	62	74	3,0
	76 a 82	9	10	101,3	184	81	7,0
	83 a 89	14	14	197,6	347	88	8,8
	90 a 96	16	16	259,4	445	95	9,2
	97 a 103	21	21	299,8	992	102	13,0
	104 a 110	25	24	299,8	1.577	109	14,9
	111 a 117	30	24	299,8	2.626	116	15,5

*DAS- dia após a sementeira

Tabela 2. Estimativas de correlação entre severidade de ferrugem-asiática-da-soja, as variáveis climáticas, controle químico e urediniósporos.

Variáveis	Estimativas					
	<i>nDFtemperatura</i>	<i>nDFumidade</i>	<i>PrecAcc</i>	<i>UredAcc</i>	<i>nDcontrole</i>	Severidade
<i>nDFtemperatura</i>	1,00	0,96	0,94	0,23	0,62	0,58
<i>nDFumidade</i>	0,96	1,00	0,95	0,19	0,73	0,69
<i>PrecAcc</i>	0,94	0,95	1,00	0,33	0,58	0,53
<i>UredAcc</i>	0,23	0,19	0,33	1,00	-0,08	-0,07
<i>nDcontrole</i>	0,62	0,73	0,58	-0,08	1,00	0,85
Severidade	0,58	0,69	0,53	-0,07	0,85	1,00

nDFtemperatura: número acumulado de dias favoráveis (DF) correspondente a cada quatro dias após a primeira avaliação de cada doença. DF foi definido com temperatura entre 18 e 32 °C; *nDFumidade*: número acumulado de dias favoráveis (DF) correspondente a cada quatro dias após a primeira avaliação de cada doença. DF foi definido com umidade relativa > 60%. *PrecAcc*: precipitação acumulada; *UredAcc*: Urediniósporos acumulado; *nDcontrole*: Controle químico sendo considerado o número de dias entre o primeiro plantio e a primeira pulverização.

Com coeficiente de determinação de 0,76, grande parte das variações devidas as relações de causa e efeito entre as variáveis em estudo pôde ser explicada pela análise de trilha (Tabela 3). Tal procedimento estatístico consiste de uma regressão múltipla entre as variáveis, previamente padronizadas e, desta forma, possibilita estimar efeitos diretos e indiretos de tais variáveis sob uma variável discriminada como principal, em geral, de grande interesse agrônômico e condicionada pelas variáveis secundárias. Demais informações quanto à

interpretação e estatística das análises de trilha podem ser consultadas em Cruz; Regazzi (1993). Conforme a análise de trilha, a variável *nDControle* teve influência sob os níveis de severidade de ferrugem-asiática, vez que deteve efeito total que superou em mais de 1,5 vezes o efeito residual da análise. Tal variável expressou efeito indireto via *nDFumidade*, levando a crer que atrasos no controle foram relacionados ao acúmulo de dias com umidade favorável à doença. Dentro do contexto agrônômico e da logística de controle químico da

ferrugem-asiática, tal constatação se explica pela ocorrência de os dias chuvosos aumentarem a umidade do ar e, por conseguinte, dificultarem ou impedir a entrada na lavoura para a efetuação do

controle. De fato, conforme os efeitos da análise de trilha, isso se confirma, vez que a variável *PrecAcc* teve efeito indireto notório positivo sob a severidade, quando atuando via *nDFumidade*.

Tabela 3. Estimativas de efeitos diretos e indiretos das variáveis sobre a severidade da ferrugem asiática da soja causada por *Phakopsora pachyrhizi*.

Descrição dos efeitos	Value
Efeito direto de <i>nDFtemperatura</i> sob severidade	-0,189
Efeito indireto de <i>nDFtemperatura</i> via <i>nDFumidade</i>	1,081
Efeito indireto de <i>nDFtemperatura</i> via <i>PrecAcc</i>	-0,645
Efeito indireto de <i>nDFtemperatura</i> via <i>UredAcc</i>	0,004
Efeito indireto de <i>nDFtemperatura</i> via <i>nDcontrole</i>	0,329
Total	0,580
Efeito direto de <i>nDFumidade</i> sob severidade	1,126
Efeito indireto de <i>nDFumidade</i> via <i>nDFtemperatura</i>	-0,182
Efeito indireto de <i>nDFumidade</i> via <i>PrecAcc</i>	-0,651
Efeito indireto de <i>nDFumidade</i> via <i>UredAcc</i>	0,003
Efeito indireto de <i>nDFumidade</i> via <i>nDcontrole</i>	0,393
Total	0,690
Efeito direto de <i>PrecAcc</i> sob severidade	-0,686
Efeito indireto de <i>PrecAcc</i> via <i>nDFtemperatura</i>	-0,178
Efeito indireto de <i>PrecAcc</i> via <i>nDFumidade</i>	1,070
Efeito indireto de <i>PrecAcc</i> via <i>UredAcc</i>	0,006
Efeito indireto de <i>PrecAcc</i> via <i>nDcontrole</i>	0,318
Total	0,530
Efeito direto de <i>UredAcc</i> sob severidade	0,179
Efeito indireto de <i>UredAcc</i> via <i>nDFtemperatura</i>	-0,043
Efeito indireto de <i>UredAcc</i> via <i>nDFumidade</i>	0,225
Efeito indireto de <i>UredAcc</i> via <i>PrecAcc</i>	-0,226
Efeito indireto de <i>UredAcc</i> via <i>nDcontrole</i>	-0,043
Total	-0,070
Efeito direto de <i>nDcontrol</i> sob severidade	0,539
Efeito indireto de <i>nDcontrol</i> via <i>nDFtemperatura</i>	-0,115
Efeito indireto de <i>nDcontrol</i> via <i>nDFumidade</i>	0,822
Efeito indireto de <i>nDcontrol</i> via <i>PrecAcc</i>	-0,404
Efeito indireto de <i>nDcontrol</i> via <i>UredAcc</i>	-0,404
Total	0,840
Coeficiente de determinação: 0,76	
Efeito residual: 0,49	

Ademais, corroborando com tais conclusões, as variável *nDFumidade* deteve efeito positivo direto e relevante na severidade (Tabela 3), indicando que esta variável tem papel fundamental para a determinação dos níveis de severidade de ferrugem-asiática verificados à campo. Informações como estas são fundamentais para a determinação de variáveis relevantes para modelos de predição de índices de doenças. A variável *nDFtemperatura* teve importância para determinar a severidade da

doença, atuando indiretamente, também, via *nDFumidade*. Nesse sentido, conclui-se pois que, a ocorrência do número de dias favoráveis quanto à temperatura foi fundamental para determinar condições propícias de umidade relativa do ar aos níveis de severidade de ferrugem.

Em resumo, as precipitações e a temperatura favorável à ocorrência da ferrugem-asiática-da-soja são determinantes para atuar na manutenção de condições favoráveis de umidade de ar,

possibilitando processos de infestação e disseminação desta doença, que culminam em sua severidade à campo. Nesse contexto, a análise de trilha apresenta-se como uma útil ferramenta para estudos em epidemiologia de doenças de plantas. Ao contrário de estimativas de correlações simples (tais como de Pearson ou Spearman), que não representam as relações entre causa e efeito das variáveis, haja vista que a correlação entre duas variáveis pode ser influenciada por uma terceira variável do conjunto em estudo (CRUZ; REGAZZI, 1993), as análises de trilha são bastante informativas. Muito embora as análises de trilhas se

baseiem em correlações previamente estimadas, os processos estatísticos que envolvem tal análise permitiram conclusões pertinentes e, a constituem em uma técnica promissora, porém pouco utilizada em epidemiologia.

CONCLUSÃO

As precipitações e a temperatura favorável à ocorrência da ferrugem-asiática-da-soja foram determinantes para a manutenção de condições favoráveis de umidade de ar e, por conseguinte, para a severidade de ferrugem-asiática-da-soja no campo.

ABSTRACT: The objective of this work was to study the relationships among environmental conditions, airborne urediniospores of *P. pachyrhizi* and the Asian soybean rust (ASR) severity. To quantify airborne urediniospores, collectors were installed in soybean fields in Itambé and Mandaguari, PR. Severity assessments were conducted and climatic data were collected in the two locations. The variables elaborated were: number of days with favorable humidity (<60%), number of days with favorable temperature (18-32°C), rainfall accumulated and urediniospores collected. A variable based on the chemical control was also created. Correlations between variables were estimated. Path analysis was performed for correlations. Path analysis explained about 76% of the relations of cause and effect among the variables. Number of days to the chemical control had direct effect on severity. Number of days with favorable temperature and rainfall had indirect effect on severity. This two variables provided favorable humidity conditions for ASR development.

KEYWORDS: *Phakopsora pachyrhizi*. Path analysis. Airborne spore collector.

REFERÊNCIAS

- CRUZ, C. D. **Programa Genes:** versão Windows; aplicativo computacional em genética e estatística. Viçosa: UFV, 2001. 648p.
- CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético.** Viçosa: UFV, 1994. 390p.
- DEL PONTE, E. M.; GODOY, C. V.; LI, X.; YANG, X. B. Predicting severity of Asian soybean rust with empirical rainfall models. **Phytopathology**, Saint Paul, v. 96, n. 7, p.797-803, 2006.
- GARCIA, A.; CALVO, E. S.; KIIHL, R. A. S.; HARADA, A.; HIROMOTO, D. M.; VIEIRA, L. G. E. Molecular mapping of soybean rust (*Phakopsora pachyrhizi*) resistance genes: discovery of a novel locus and alleles. **Theoretical and Applied Genetics**, Berlim, v. 117, n. 4, p. 545-553, 2008.
- GODOY, C. V.; KOGA, L. J.; CANTERI, M. G. Diagrammatic scale for assessment of soybean rust severity. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 31, n. 1, p. 63-68, 2006.
- JULIATTI, F. C.; JULIATTI, F. Ca.; MOURA, C. A. E.; POLIZEL, C. A.; CARDOSO, G. F. M.; BENINI, F., Fungicidas aplicados preventivamente para controle da ferrugem asiática (*Phakopsora pachyrhizi*) da soja (*Glycine max*). **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 29, n. 1, p. 112, 2004.
- 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**, Saint Paul, v. 73, n. 2, p. 117-122. 1989.
- SANGAWONGSE, P.; KITTISIN, S.; AND NUNTHAPUN, M. Chemical control of soybean rust in Thailand. **Thailand Journal Agriculture Science**, Bangkok, v. 10, n. 1, p. 1-8, 1977.

SILVA, J. F.; JULIATTI, F. C.; REZENDE, A. A. Diferentes épocas de aplicação de azoxistrobina + ciproconazole seguida de ciproconazole no controle da ferrugem asiática. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 26, n. 2, p. 216-225, 2010.

SOARES, R. M; RUBIN, S. D. A.; WIELEWICKI, A. P.; OZELAME, J. G. Fungicidas no controle da ferrugem asiática (*Phakopsora pachyrhizi*) e produtividade da soja. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 4, p. 1245-1247, 2004.

YORINORI, J. T. Asiatic rust of soyabean (*Phakopsora pachyrhizi*): occurrence in Brazil and management strategies. **Embrapa Soja** (Documentos, 186), p.73-83, 2002.

YORINORI, J. T., PAIVA, W. M., FREDERICK, R. D., COSTAMILAN, L. M., BERTAGNOLLI, P. F., HARTMAN, G. L., GODOY, C. V., AND NUNES-JUNIOR, J. Epidemics of soybean rust (*Phakopsora pachyrhizi*) in Brazil and Paraguay from 2001 to 2003. **Plant Disease**, Saint Paul, v. 89, n. 4, p. 675-677. 2005