

UNIVERSIDADE DE PASSO FUNDO
FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

**FERRUGEM ASIÁTICA DA SOJA: COMPARAÇÃO
DE SISTEMAS DE AVISO E A OCORRÊNCIA EM
DIFERENTES ESTÁDIOS FENOLÓGICOS**

EDER NOVAES MOREIRA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da UPF, para obtenção do título de Mestre em Agronomia – Área de concentração em Fitopatologia.

Passo Fundo - RS, fevereiro de 2009

UNIVERSIDADE DE PASSO FUNDO
FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

**FERRUGEM ASIÁTICA DA SOJA: COMPARAÇÃO
DE SISTEMAS DE AVISO E O ESTÁDIO
FENOLÓGICO NA OCORRÊNCIA**

EDER NOVAES MOREIRA

Orientador: Prof. Ph.D. Erlei Melo Reis

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da UPF, para obtenção do título de Mestre em Agronomia – Área de concentração em Fitopatologia.

Passo Fundo – RS, fevereiro de 2009



UNIVERSIDADE DE PASSO FUNDO
FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO EM FITOPATOLOGIA



A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova a dissertação.

“Ferrugem Asiática da Soja: Comparação de sistemas de aviso e a ocorrência em diferentes estádios fenológicos”

Elaborada por

EDER NOVAES MOREIRA

**Como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em
Agronomia – Área de Fitopatologia**

**Aprovada em: 18/02/2009
Pela Comissão Examinadora**

Dr. Erlei Melo Reis
Presidente da Comissão Examinadora
Orientador

Dr. Wilson Antonio Klein
Coordenador PPGAgro

Dr. Ricardo Trezzi Casa
UDESC

Dr. Mauro Antonio Rizzardi
Diretor FAMV

Dr. Francisco Xavier Ribeiro do Vale
UFV

M835f Moreira, Eder Novaes

Ferrugem asiática da soja : comparação de sistemas de aviso e a ocorrência em diferentes estádios fenológicos / Eder Novaes Moreira. – 2009. 115 f ; 25 cm.

Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade de Passo Fundo, 2009.
Orientação: Prof. Ph.D. Erlei Melo Reis.

1. Soja – Cultivo. 2. Soja – Ferrugem asiática – Modelos matemáticos. 3. Soja – Doenças – Epidemiologia. 4. Redes neurais (Neurobiologia). I. Reis, Erlei Melo, orientador. II. Título.

CDU:633.34

Bibliotecária responsável Priscila Jensen Teixeira - CRB 10/1867

DEDICO

*Aos meus pais, **BERNARDO** e **NILCE** pelas orações
e pelo exemplo de vida que me ensinarem o valor do
trabalho e da persistência;*

*Aos irmãos **BERNARDO**, **EVANDER** e **ELCE** pelo
incentivo e amizade;*

*Aos meus avós, **AMÉRICO** e **LUZIA**, **ADELINO** e
OTILIA (In Memoriam) pelo carinho e apoio;*

"O mérito do homem não reside no conhecimento que tem, mas no esforço que despendeu para alcançá-lo"

(Gotthold Ephraím Lessing)

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) e por agraciar-me com o necessário e não com tudo que eu ousava pedir;

Ao meu orientador, Prof. ERLEI MELO REIS, exemplo de competência e profissionalismo, a quem admiro como pesquisador; agradeço pelos ensinamentos, estímulo, oportunidades e amizade;

A UNIVERSIDADE DE PASSO FUNDO, pela oportunidade de realizar o curso de mestrado;

AOS PROFESSORES do curso de pós-graduação em Fitopatologia pelos valiosos ensinamentos;

Ao coordenador da pós-graduação Prof. VILSON ANTONIO KLEIN, por todos os auxílios prestados;

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão de bolsa de estudo;

Aos professores FRANCISCO X. R. DO VALE, WALDIR CINTRA DE JESUS JR. e FABRICIO ÁVILA RODRIGUES, pelos conselhos, oportunidades e acima de tudo amizade;

Aos amigos MARTA e RUBENS, pela amizade, incentivo e apoio nos momentos difíceis;

Ao amigo e Prof. RICARDO TREZZI CASA, pelos ensinamentos nestes anos de convivência, pela amizade, pelo incentivo, oportunidades e pela preciosa contribuição neste trabalho;

A amiga ALINE e sua mãe TANARA, pelos conselhos e momentos durante este período;

À secretária MARI, por estar sempre disposta em ajudar;

Aos funcionários PAULO e CINARA, pela amizade e auxílio prestados;

À Apassul, na pessoa do Eng. Agr. EDUARDO LOUREIRO, pelas oportunidades e contribuições durante este período;

À Syngenta, na pessoa do Eng. Agr. M.Sc. LAÉRCIO L. HOFFMANN pela contribuição e ajuda. Sou muito grato;

Aos amigos de Lucas do Rio Verde, MT: JADER, ANDERSON, ANTONIO, ALEXANDRE, MÔNICA, POLIANA, PATRÍCIA, MAURO, LEONARDO ALMEIDA, LEONARDO JORGE E MAURICIO, pelo acolhimento, amizade e momentos de alegria;

A amiga FERNANDA RAMOS, pela vivência que tivemos juntos e os momentos durante este período;

Os colegas do curso de mestrado: MARCELO, DIEGO, CESAR, TIAGO, RODRIGO, FELIPE, RITA, MÁRCIA E KARINA;

As novas amigadas e colegas adquiridos nesta etapa da vida;

E todas as pessoas aqui não mencionadas que, de alguma forma, me ajudaram a tornar realidade esta formação.

BIOGRAFIA DO AUTOR

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 Prof. Edson Galvão, Itapetininga, SP, recebendo a formação de Técnico em Agropecuária em 1997. Posteriormente, no período de 1998 á 2000, trabalhou na empresa Citrovita Agrícola Ltda, atuando como inspetor citrícola de pragas e doenças. Em agosto de 2001, iniciou o curso de Agronomia na Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC, Lages, SC, na qual recebeu o grau de Engenheiro Agrônomo 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 curso de Mestrado do Programa de Pós-graduação em Agronomia, área de concentração Fitopatologia pela Universidade de Passo Fundo - UPF, sob orientação do Professor Ph.D. Erlei Melo Reis .

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE QUADROS.....	xiii
LISTA DE TABELAS	xiv
LISTA DE FIGURAS	xvi
RESUMO.....	17
ABSTRACT	19
1 INTRODUÇÃO	21
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	24
2.1 A cultura da soja: produção e aspectos econômicos.....	24
2.2 Ferrugem asiática da soja	26
2.2.1 Ocorrência geográfica	26
2.2.2 Origem e nomenclatura	28
2.2.3 Taxonomia e morfologia do agente causal	29
2.2.4 Hospedeiros	31
2.2.5 Ciclo biológico de <i>Phakopsora pachyrhizi</i>	34
2.2.5 Processo de infecção.....	36
2.2.6 Sintomatologia	38
2.2.7 Condições ambientais favoráveis a infecção	39
2.3 Processo de Modelagem	42
2.3.1 Sistemas de aviso para ferrugem asiática da soja ..	45
2.3.1.1 Uso de redes neuronais visando prever a ocorrência da ferrugem asiática da soja	47
2.4 Estratégias de controle	49
2.4.1 Resistência genética.....	49
2.4.2 Controle químico	52

2.4.3 Ações complementares de controle	53
--	----

CAPÍTULO I

RELAÇÃO ENTRE OS ESTÁDIOS FENOLÓGICOS E A OCORRÊNCIA DA FERRUGEM EM SOJA.....	55
RESUMO.....	55
ABSTRACT	57
1 INTRODUÇÃO	59
2 MATERIAL E MÉTODOS	61
2.1 Local e descrição dos experimentos	61
2.2 Avaliação da intensidade da ferrugem da soja	62
2.3 Análises dos dados	64
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	64
4 CONCLUSÕES.....	72

CAPÍTULO II

COMPARAÇÃO DE SISTEMAS DE AVISO PARA A FERRUGEM DA SOJA.....	73
RESUMO.....	73
1 INTRODUÇÃO	77
2 MATERIAL E MÉTODOS	80
2.1 Local, coleta de dados e descrição dos experimentos	80
2.2 Sistemas de aviso usados.....	81
2.2.1 Soma dos valores diários de severidade (SVDS), considerando a temperatura média no período de molhamento foliar	81
2.2.2 Soma dos valores diários de severidade (SVDS) modificado, considerando o período de latência do fungo	82
2.2.3 Valor diário de infecção (VDI)	83

2.2.4 Redes neuronais (RN) usando o método de propagação retroativa do erro	84
2.3 Medidas de Erro de previsão	85
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	86
4 CONCLUSÕES	91
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	92
APÊNDICE	115

LISTA DE QUADROS

Quadro		Página
1	Hospedeiros da <i>Phakopsora pachyrhizi</i> , relatados na literatura.....	31

LISTA DE TABELAS

Tabela	Página
CAPÍTULO I	
1 Épocas de semeadura e diferentes cultivares semeadas na área experimental da Universidade de Passo Fundo. Passo Fundo, RS, safra 2008.....	61
2 Incidência foliar (%) da ferrugem da soja no dia 02/02/2008 nas plantas dos três cultivares de ciclos distintos nas três épocas de semeadura. Passo Fundo - RS, 2008.....	66
3 Incidência foliar (%) da ferrugem da soja no dia 09/02/2008 nas plantas dos três cultivares de ciclos distintos nas três épocas de semeadura. Passo Fundo - RS, 2008	67
4 Estádios fenológicos avaliados no aparecimento da ferrugem da soja no dia 02/02/2008 nas plantas dos três cultivares de ciclos distintos nas três épocas de semeadura. Passo Fundo - RS, 2008.....	68
5 Área abaixo da curva de progresso da incidência foliar da ferrugem da soja, nas cultivares Nidera 4910, Relmó Andrea 66 e Munasca em três épocas de semeadura. Passo Fundo - RS, 2008.....	69

6	Resumo das análises de regressão não-linear, para os modelos Logístico, Gompertz e Monomolecular, dados de incidência foliar da ferrugem da soja nas diferentes cultivares e épocas de semeadura. Passo Fundo -RS, 2008.....	71
---	--	----

Tabela		Página
CAPÍTULO II		
1	Interações entre temperatura (°C) e duração do molhamento foliar (horas), com diferentes valores diários de severidade (VDS) da ferrugem da soja.....	82
2	Interações entre temperatura (°C) e duração do molhamento foliar (horas), valores diários de infecção (VDI) da ferrugem da soja.....	83
3	Valores da raiz do erro médio quadrático (RMSE) para a variável temperatura média no período de molhamento foliar e período de molhamento foliar, nos diferentes sistemas de aviso. Passo Fundo, RS, safra 2008.....	89

LISTA DE FIGURAS

Figura	Página
CAPÍTULO I	
1 Ciclo biológico da ferrugem asiática da soja (REIS & CARMONA, 2005).....	35
2 Precipitação pluvial (mm) e temperatura média (°C) do ar; no período de 01/11/07 à 01/03/08 em Passo Fundo - RS...	65
CAPÍTULO II	
1 Estrutura genérica da rede neuronal usada.....	85
2 Temperatura média no período de molhamento foliar (°C), duração do molhamento foliar (hs) no período de 01/12/2007 à 15/02/2008 em Passo Fundo, RS.....	87
3 Umidade relativa do ar (%) e precipitação pluvial (mm); no período de 01/12/2007 à 15/02/2008 em Passo Fundo, RS.....	88
4 Validação e simulação dos sistemas de aviso, na ocorrência da ferrugem da soja. Passo Fundo, RS, safra 2008.....	90

FERRUGEM ASIÁTICA DA SOJA: COMPARAÇÃO DE SISTEMAS DE AVISO E A OCORRÊNCIA EM DIFERENTES ESTÁDIOS FENOLÓGICOS

EDER NOVAES MOREIRA¹ & ERLEI MELO REIS²

RESUMO – Na safra 2001, a ferrugem asiática da soja, causada pelo fungo *Phakopsora pachyrhizi*, foi constatada no continente sul americano. Posteriormente, nas safras seguintes relatava-se que a ocorrência da doença, estava associada ao estágio fenológico da cultura; passando-se usar o estágio fenológico como um critério indicador do momento para a aplicação de fungicidas. Os sistemas de aviso para doenças de plantas são usados para indicar o momento da aplicação de fungicida e contribuem para racionalizar do número de aplicações e desta forma reduzindo os custos de produção. Este trabalho teve como objetivos, comparar o desempenho de quatro sistemas de aviso, visando identificar o aparecimento da ferrugem da soja no Planalto Médio do Rio Grande do Sul e verificar se a ocorrência da ferrugem da soja depende dos estágios fenológicos da cultura. Os experimentos foram conduzidos na Área Experimental da Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da Universidade de Passo Fundo, na safra de 2007/2008, no município de Passo Fundo – RS. Foram comparados quatro sistemas de aviso: a) Soma dos valores

¹Engenheiro Agrônomo, mestrando do Programa de Pós-graduação em Agronomia da FAMV/UPF, Área de Concentração em Fitopatologia – eder.paulista@gmail.com

²Orientador, Engenheiro Agrônomo, M. Sc., Ph.D., professor da FAMV/PPGAgro/UPF – erleireis@tpo.com.br

diárias de severidade (SVDS), considerando a temperatura média no período de molhamento foliar; b) SVDS modificado, considerando o período de latência do fungo e a temperatura média no período de molhamento foliar; c) Valor diário de infecção (VDI) com base no trabalho de Alves, (2007) e d) Redes neuronais (RN) usando o método de propagação retroativa do erro. Para simular os diferentes estádios fenológicos da cultura, foram usadas as cultivares Nidera 4910 RR, Reilmó Andrea 66 RR e Munasca RR dos respectivos ciclos precoce, médio e tardio. Estes foram semeados em três épocas: 11/11/2007, 03/12/2007 e 21/12/2007. Empregou-se o delineamento experimental de blocos ao acaso em esquema de parcelas subdivididas com três repetições, sendo a parcela os cultivares e a subparcela as épocas de semeadura perfazendo 27 parcelas. A ocorrência da ferrugem da soja foi observada na primeira e segunda época, nos três cultivares, demonstrando que a ocorrência independe do estágio fenológico da soja. Em relação aos sistemas de aviso, as redes neuronais e valor diária de infecção apresentavam maior acurácia para detectar a ocorrência predita em relação a observada.

Palavras - chave: previsão de doenças, epidemiologia de doenças de planta, *Phakopsora pachyrhizi*

ASIAN SOYBEAN RUST: COMPARISON OF WARNING SYSTEMS AND THE OCCURRENCE IN DIFFERENT PHENOLOGIC STAGES

EDER NOVAES MOREIRA¹ & ERLEI MELO REIS²

ABSTRACT – In the 2001 growing season, the Asian soybean rust, caused by *Phakopsora pachyrhizi*, was reported in the south american. Later on, it was reported that disease occurrence was associated with plant growth stages. Therefore, the growth stage was used as a criterion to indicate the right time for fungicides spray. Warning systems for plant diseases are used to indicate the time of fungicide spray and also to help rationalize the number of sprays and to reduce the production costs. This study aimed to compare the performance of four warning systems to identify the onset of soybean rust in the middle plateau region of “Rio Grande do Sul” as well as to verify whether disease occurrence depends on the plant growth stage. The experiments were conducted at the Experimental School of Agronomy and Veterinary Medicine, University of “Passo Fundo”, in the 2007/2008 growing season. The performance of the following warning systems were compared: a) Sum of Daily Values of Severity (SDVS) considering the average temperature during leaf wetness, b)

¹Engenheiro Agrônomo, mestrando do Programa de Pós-graduação em Agronomia da FAMV/UPF, Área de Concentração em Fitopatologia – eder.paulista@gmail.com

²Orientador, Engenheiro Agrônomo, M. Sc., Ph.D., professor da FAMV/PPGAgro/UPF – erleireis@tpo.com.br

modified SDVS considering the latent period of the fungus and the average temperature during leaf wetness; c) Daily Value for Infection (DVI) based on the study of Alves (2007), and d) Neural Networks (NN) using the backward propagation of error. In order to simulate the different growth stages, the cultivars Nidera 4910 RR, Reimó Andrea 66 RR, and Munasca RR from the early, medium, and late seasons, respectively, were used. Seeds from these cultivars were sown on the dates of November 11, December 3 and December 21 in the year of 2007. The experimental design used was the randomized blocks in split plots with three replications. The plots were the cultivars and the subplots were the sowing times in a total of 27 plots. The occurrence of soybean rust was observed in the first and second sowing time for the three cultivars, demonstrating that disease occurrence does not depend on the plant growth stage. For comparison of early warning systems, neural networks and values for DVI had higher accuracy to detect the occurrence predicted over the observed.

Keywords: disease forecaster, plant disease epidemiology, *Phakopsora pachyrhizi*

1 INTRODUÇÃO

O desafio da agricultura é atender a crescente demanda por alimentos, resultante do aumento contínuo da população humana. No entanto, a demanda por alimentos, pode ser alcançada pelo aumento da área cultivada e pelo aumento da produtividade agrícola, por outro lado, a fronteira agrícola esta chegando aos seus limites de expansão.

O agronegócio é individualmente o principal setor da economia brasileira e responde por 33% do produto interno bruto (PIB), 42% das exportações totais e 37% dos empregos brasileiros (MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, 2008).

A soja [*Glycine max* (L.) Merrill], é considerada a cultura de maior área cultivada no Brasil, alcançando 21,7 milhões de hectares na safra 2008. A produção brasileira de grãos desta leguminosa tem crescido a cada ano. Um exemplo foi à safra 2008 que atingiu 60 milhões de toneladas, correspondendo a 25% da produção mundial, posicionando o Brasil como o segundo produtor do mundo.

A produtividade média da soja no Brasil cresceu nas últimas décadas, atingindo 2,82 ton.ha⁻¹ na safra 2008. Nos estados do Mato Grosso e Paraná a produtividade alcançou patamares superiores a 3,0 ton.ha⁻¹ (CONAB, 2009).

O potencial de rendimento da soja pode ser afetado por diversos fatores, entre os quais, destacam-se 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).

Dentre as doenças que ocorrem na cultura da soja, a ferrugem asiática causada pelo fungo *Phakopsora pachyrhizi* Sydow & Sydow, é considerada a doença de maior potencial destrutivo, podendo ocasionar danos variando de 10% a 90% nas diversas regiões geográficas onde foi relatada (SINCLAIR & HARTMAN, 1999; YORINORI *et al.*, 2005). Estimativas de perdas atribuídas à doença, desde o surgimento em 2001, chegam a 9,9 bilhões de dólares (EMBRAPA SOJA, 2007; YORINORI & NUNES JÚNIOR, 2006).

O uso de fungicidas é a principal estratégia de controle, para minimizar os danos, no entanto, esta moléstia gera outros problemas ao produtor, dentre 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 conseqüentes impactos negativos ao meio ambiente.

Diversas ações de pesquisas vêm sendo realizadas, na tentativa de buscar tecnologias que garantam a sustentabilidade da cultura da soja. Dentre estas tecnologias destacam-se os sistemas de previsão de doenças, os quais visam à racionalização do uso de fungicidas, conseqüentemente menor poluição ambiental e maior retorno econômico para o produtor (REIS, 2004)

Os sistemas de previsão de doenças têm como base científica, os fatores determinantes de doença, sendo a presença da planta de soja, do patógeno e do ambiente favorável. Portanto, os sistemas de aviso podem ser obtidos através da modelagem das

variáveis climáticas determinantes de doença, que por sua vez, representam de maneira simples a interação dos fatores ambientais na ocorrência da doença (REIS, 2004).

As principais variáveis climáticas determinantes para a ocorrência da ferrugem asiática da soja são: a duração do molhamento foliar, compreendido pela presença de água na forma líquida sobre a superfície dos folíolos; a temperatura média durante o molhamento e a umidade relativa do ar (REIS, 2004).

Numa lavoura de soja estas variáveis sofrem oscilações marcantes durante o dia, as quais podem afetar as diferentes fases do processo infeccioso. Torna-se necessário a quantificação dos requerimentos climáticos e suas interações que determinam a ocorrência da doença em condições naturais de infecção. O entendimento destes processos é essencial, tanto na geração de novos métodos de controle quanto no desenvolvimento e validação de modelos de previsão da ferrugem da soja.

Frequentemente, tem-se afirmado por parte da assistência técnica e dos produtores, que a ocorrência da ferrugem asiática da soja é dependente do estágio fenológico com surgimento freqüente após a floração. Com objetivo de averiguar esta hipótese, parte do trabalho teve como objetivo esclarecer esta indagação.

Com base nas necessidades descritas, são objetivos deste trabalho: (a) Saber se a ocorrência da ferrugem da soja independe do estágio fenológico da cultura da soja em condições de campo; (b) Avaliar e comparar o desempenho de quatro sistemas de aviso, visando identificar o momento da ocorrência e relacionar com o progresso da ferrugem da soja.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 A cultura da soja: produção e aspectos econômicos

A soja [*Glycine max* (L.) Merrill] é uma planta pertencente à família Leguminosae, com grande importância econômica a nível mundial. Esta leguminosa tem como centro de origem na China, região da Manchúria, constituído-se como a base alimentar do povo chinês há mais de 5 mil anos (CÂMARA, 1998; EMBRAPA SOJA, 2003).

No Brasil, a soja foi introduzida por Gustavo D'Utra, sem sucesso, na Bahia, em 1882 (D'UTRA, 1882). Dez anos após, foi cultivada pela primeira vez no Instituto Agrônomo de Campinas (IAC), estado de São Paulo, porém os melhores resultados começaram a ser obtidos pelos imigrantes japoneses, a partir de 1908 e, em 1923, quando Henrique Lobbe introduziu cerca de 50 variedades norte-americanas no país (MYASAKA & MEDINA, 1981)

No Estado do Rio Grande do Sul, o primeiro registro de cultivo de soja data de 1914 no município de Santa Rosa, RS. Mas foi na década de 40 que assumiu caráter comercial. No ano de 1949, cerca de 18 toneladas de soja eram produzidas no Rio Grande do Sul e também constituía-se na primeira exportação brasileira (BONETTI, 1977; MAGALHÃES, 1981). A partir de 1950, a área plantada com soja continuou a se expandir no país com a inclusão dos Estados de Santa Catarina e Paraná e, após se estabelecer na região Sul, a soja se disseminou para outras regiões do território nacional. Durante a década de 70, devido a programas de incentivos e desenvolvimento de novas técnicas de cultivo, a soja se estabeleceu na Região do Planalto

Central Brasileiro hoje como cultura dominante (VARGAS & HUNGRIA, 1997).

Desde então a soja passou a ter importância econômica em todo o Brasil; expandindo-se para a região Sudeste, Centro Oeste, Norte e Nordeste. No ano de 1976, a produção do Brasil era de 12,14 milhões de toneladas passando, atualmente para 60,02 milhões de toneladas em 2008 (CONAB, 2009). Sendo que as regiões Centro-oeste e Sul do país são responsáveis por 85% da soja produzida no Brasil (CONAB, 2009).

A cadeia produtiva da soja apresenta grande importância econômica e social para a agricultura brasileira, tanto pelo volume de produção, como na geração de renda; são quase 250 mil produtores, entre pequenos, médios e grandes, distribuídos em cerca de 17 estados; a produção nacional tem crescido à taxa média de 11% nos últimos seis anos, e apresenta potencial para manter esse ritmo de desenvolvimento, nos próximos anos (PARRA, 2006).

Segundo o Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA) a produção mundial de soja para a safra 2007/08 foi estimada em 237,36 milhões de toneladas (USDA, 2008).

O Brasil é considerado o segundo maior produtor e exportador mundial de soja em grãos, farelo e óleo (PARRA, 2006) e responde por 27% da produção mundial (AGÊNCIA BRASIL, 2007; USDA, 2008).

Atualmente, o farelo de soja é o segundo componente em quantidade, das rações animais representando cerca de 19,7% da sua composição (LIMA, 1999). Outro segmento em que a soja ocupa

papel de destaque é o de extração de óleo, tanto para alimentação quanto para elaboração de produtos similares aos petroquímicos.

Dentre os fatores que têm contribuído para o grande desempenho da cultura da soja no Brasil, pode-se destacar: o preço pago ao produto no mercado internacional, sua liquidez, o melhoramento genético, através de variedades adaptadas as regiões produtoras; o desenvolvimento de técnicas de manejo inerente a cada região; o avanço a mecanização; o uso do manejo integrado de pragas, doenças e plantas daninhas, com base na fisiologia das variedades e nas características edafo-climáticas de cada região; o uso da agricultura de precisão, conectada a técnicas de colheita, logística de armazenamento e transporte. O somatório destes fatores, dentre outros, fazem do Brasil, uma referência mundial na produção deste grão. Estimativas vislumbram a perspectiva de, em 2020, chegar a produzir cerca de 105 milhões de toneladas, ocupando uma área adicional de 8 milhões de hectares (PARRA, 2006).

2.2 Ferrugem asiática da soja

2.2.1 Ocorrência geográfica

O primeiro relato de ocorrência da ferrugem asiática da soja, foi em 1902, no Japão (HENNING, 1903 apud BONDE *et al.*, 2006). A partir de então, sua ocorrência foi relatada em diversos locais do mundo, incluindo países da Ásia (Austrália, China, Índia, Filipinas e Tailândia), da América do Sul (Brasil, Argentina, Bolívia, Uruguai e Paraguai), da América Central (Porto Rico), da América do Norte (EUA e México) e da África (Zimbábue, Nigéria e África do Sul)

(BONDE, 2006; YORINORI, 2006; LEVY, 2004; NAVARRO *et al.*, 2004).

No Brasil o fungo foi encontrado pela primeira vez em *Crotalaria striata*, sendo descrito como *Phakospora crotalarie* (THURTON, 1940). O primeiro relato constatando da ocorrência da ferrugem asiática da soja foi realizada por Deslandes, em 1979, no município de Lavras (MG) (DESLANDES, 1979). No entanto, posteriormente Ono *et al.*, (1992), descreveram sendo *P. meibomiae*, causadora da ferrugem "americana", encontrada nas Américas. Recentemente, Akamatsu *et al.* (2004) confirmaram, por meio de técnicas moleculares, que amostras coletadas no Estado de Minas Gerais em 1979, por Deslandes, apresentavam, além de *P. meibomiae*, também *P. pachyrhizi*.

Por sua vez, a primeira descrição da ferrugem asiática da soja em lavouras no Continente Americano foi relatada no Paraguai, na safra 2001 (MOREL, 2001) e posteriormente no Brasil (COSTAMILAN *et al.*, 2002; REIS *et al.*, 2002; YORINORI & MOREL, 2002).

Desde então, a ferrugem disseminou-se para a Argentina (2002), Bolívia (2003), Uruguai (2004) e Colômbia (2004) (BALARDIN *et al.*, 2005). Posteriormente, em 2004 relata pela primeira vez nos EUA, maior produtor mundial de soja (SCHNEIDER *et al.*, 2005).

2.2.2 Origem e nomenclatura

A ferrugem asiática foi relatada pela primeira em 1902 no Japão por Nakanishiki, descrevendo-a como *Uredo sojae*. Em 1903, com a finalidade de comparação e confirmação, a amostra foi enviada para Europa, resultando na confirmação desta espécie *U. sojae* por Hennings.

Posteriormente, Sydow & Butler, (1906) durante a realização de um trabalho na Índia, encontraram teliósporos da ferrugem, e por sua vez, modificaram o nome do fungo de *Uromyces sojae* (sinônimo: *Uredo sojae*) para *Phakopsora pachyrhizi* Sydow.

No entanto, Kawakami & Miura, (1908) apud KHARE, (2000) propuseram que o fungo *Uredo sojae*, deveria ser usado na descrição e identificação da ferrugem, com objetivo de diferenciar de *P. pachyrhizi*.

No estudo de Fujikuro, (1919) apud KHARE, (2000) encontrou dois tipos de esporos, (uredósporos e teliósporos) ambos nas mesmas folhas infectadas por ferrugem na soja em Taiwan, concordando com as observações de Sydow & Butler, classificou o fungo como sendo *P. pachyrhizi*. Considerou, ainda que os uredósporos obtidos previamente no Japão deveriam ser idênticos aos coletados em Taiwan.

Em observações Sawada, (1931) descobriu um tipo de ferrugem parasitando lavouras de soja no Japão. Por sua vez, ele então a nomeou de *Phakopsora sojae*. Entretanto, estudos posteriores realizados por Hiratsuka, (1932), demonstraram que este fungo era morfológicamente idêntico a *P. pachyrhizi*. Concluindo que tratava-se

de apenas um fungo causador da ferrugem na soja (*Phakopsora pachyrhizi*). Deste modo, todos nomes citados anteriormente são, sinônimos de *P. pachyrhizi*.

2.2.3 Taxonomia e morfologia do agente causal

O fungo *Phakopsora pachyrhizi* Syd. & Syd. pertence ao Reino Fungi, Filo Basidiomycota Classe Urediniomycetes, Ordem Uredinales, Família *Phakopsoraceae*. É um parasita biotrófico ou hemi-biotrófico, igualmente a todos os fungos causados de ferrugens, apresentando a capacidade de extrair seus nutrientes, única e exclusivamente de tecidos vivos (REIS, 2004).

São descritas duas espécies do gênero *Phakopsora* causando ferrugens na cultura da soja, *Phakopsora meibomiae* Arthur e *Phakopsora pachyrhizi* Syd. & Syd. A primeira, *P. meibomiae*, causadora da ferrugem "americana" e a segunda, *P. pachyrhizi*, causadora da ferrugem "asiática".

Mas foi com o trabalho criterioso realizado Ono, *et al.*, (1992), que foi proposto à separação das duas espécies de *Phakopsora* ocorrentes em plantas de soja. A principal diferença entre as duas espécies de *Phakopsora* está nos teliósporos. *P. pachyrhizi* possui teliósporos organizados em duas a sete camadas, com coloração marrom amarelado, espessura em torno de 1 μm ou levemente mais grossa na região superior e com até 3 μm de espessura nas células das camadas apicais; uredósporos medindo 18-34 x 15-24 μm , poros germinativos de 4 a 6, às vezes 10, mais ou menos dispersos na zona equatorial. *P. meibomiae* apresenta teliósporos organizados em uma a

quatro camadas, raramente cinco, os esporos possuem parede de coloração canela a castanho claras, com 1,5 a 2,0 μm de espessura e com células da camada apical com espessura até 6 μm ; uredósporos medindo 16-31 x 12-24 μm , poros germinativos de 6 a 8, às vezes 10, dispersos na zona equatorial e, às vezes, abaixo desta. Portanto, a diferença marcante que separa morfologicamente as duas espécies está na espessura das paredes das células da camada apical de teliósporos (ONO *et al.*, 1992).

Frederick *et al.* (2002), após a determinação da seqüência de nucleotídeo da região ITS (Internal Transcribed Spacer) ribossomal, mostrando que os isolados dentro de *P. pachyrhizi* e *P. meibomiae* possuem acima de 99% de similaridade, mas apenas 80% de similaridade entre as duas espécies. Com base nessas comparações foram determinados 2 e 4 conjuntos de primers para PCR (Polymerase Chain Reaction) que permitem diferenciar *P. pachyrhizi* e *P. meibomiae*, respectivamente, utilizando tecidos infectados com ou sem sinais do patógeno.

O trabalho de Akamatsu *et al.* (2004) confirmou, por meio de técnicas moleculares, que amostras coletadas no estado de Minas Gerais em 1979, por Deslandes e armazenadas no Instituto Biológico apresentavam, além de *P. meibomiae*, também *P. pachyrhizi*. Com isso, confirmando a presença dessa espécie desde a década de 70 no Brasil.

2.2.4 Hospedeiros

A soja é o principal hospedeiro da ferrugem, no entanto, o agente causal foi descrito como patógeno em *Phachyrhizus erosus* (L.) por Sydow & Sydow, em 1914 (KOCH *et al.*, 1983). Pelo fato, de tratar-se de um fungo biotrófico, a gama de hospedeiros apresenta grande importância, tanto nos aspectos epidemiológicos, como também no ciclo biológico do fungo. Esta ampla gama de hospedeiros pode contribuir na manutenção do patógeno na ausência da soja.

Com base na literatura, foram identificados vários hospedeiros do patógeno, em várias espécies de plantas, conforme descrito no Quadro 01.

Quadro 01 – Hospedeiros da *Phakopsora pachyrhizi*, relatados na literatura.

Nome Científico	Referências
<i>Glycine max</i> (L.) Merrill	Hennings, 1903; Baker, 1914; Cummins, 1950; Sato & Sato, 1982
<i>Dolichus lablab</i> L.	Arthur, 1917; Keogh, 1974
<i>Crotalaria striata</i>	Vale, 1985
<i>Glycine clandestina</i> Whedl.	Laundon, 1965
<i>Glycine ussuriensis</i> Rgl. Et Maack	Hiratsuka & Yoshinaga, 1935; Hiratsuka, 1936
<i>Neonotonia wightii</i> (Arnott) Lackay	Laundon, 1965; Deslandes, 1979; Vale, 1985
<i>Lupinus angustifolius</i> L.	Kitani & Inoue, 1960;
<i>Stylobium aterrimum</i>	Cummins, 1941
<i>Pachyrhizus bulbosus</i> Britt. (<i>P. erosus</i> (L.) Urb.)	Boedijin, 1959; Kitani & Inoue, 1960; Reinking, 1919; Sydow, 1914
<i>Phaseolus lunatus</i> L.	Kern & Thurston, 1943; Vale, 1985
<i>Phaseolus radiatus</i> L. var. <i>aurea</i> & var. <i>tipicus</i>	Kitani & Inoue, 1960;

<i>Pueraria thunbergiana</i> Benth.	Cummins, 1950; Hiratsuka, 1936; Vale, 1985
<i>Pueraria triloba</i> (Loup.) Maximo	Boedijin, 1959
<i>Rhynchosia mollisima</i>	Boedijin, 1959
<i>Shuteria</i> sp.	Cummins, 1950
<i>Teramnus uncinatus</i> (L.) Sw.	Kern & Thurston, 1943; Vale, 1985
<i>Vigna lutea</i> (A.) Gray	Arthur, 1917
<i>Eriosema cinritum</i> Dc.	Arthur, 1917
<i>Canavalia vilosa</i> Adams	Cummins, 1943; Vale, 1985
<i>Centrosema pubescens</i> Benth.	Vakili & Bromfield, 1976; Vale, 1985
<i>Lablab purpureus</i> (L.) Sweet	Arthur, 1917; Deslandes, 1979
<i>Phaseolus coccineus</i> (L.) Cham.	Vakili & Bromfield, 1976
<i>Phaseolus lathyroides</i> L.	Vakili & Bromfield, 1976
<i>Phaseolus longependunculatus</i> M.	Vakili & Bromfield, 1976
<i>Phaseolus macrolepis</i> L.	Cummins, 1943
<i>Phaseolus vulgaris</i> L.	Roure, 1963; Sato & Sato, 1982; Vale, 1985
<i>Vigna mungo</i> (L.) Heppet.	Vakili & Bromfield, 1976; Cassetari, 1984
<i>Vigna unguiculata</i> Wal.	Vakili & Bromfield, 1976; Vale, 1985
<i>Pueraria lobata</i>	Sato & Sato, 1982
<i>Lespedeza bicolor</i>	Sato & Sato, 1982
<i>Vigna angularis</i>	Sato & Sato, 1982
<i>Vigna sinensis</i>	Sato & Sato, 1982
<i>Pisum sativum</i>	Sato & Sato, 1982
<i>Calopogonium mucunoides</i> Desv.	Cassetari, 1984; Vale, 1985
<i>Crotalaria juncea</i> L.	Cassetari, 1984; Vale, 1985
<i>Desmodium discolor</i> L.	Cassetari, 1984
<i>Dolichus axillares</i> Lam.	Cassetari, 1984
<i>Macropitilium lathyroides</i> (L.) Urb.	Cassetari, 1984; Vale, 1985
<i>Phaseolus bracteolatus</i> Mart.	Cassetari, 1984; Vale, 1985
<i>Rhynchosia minima</i> (L.) Dc.	Cassetari, 1984
<i>Phaseolus macrocarpus</i>	Deslandes, 1979
<i>Crotalaria granziana</i>	Vale, 1985
<i>Galactia striata</i>	Vale, 1985
<i>Macropitilium atropurpureum</i>	Vale, 1985
<i>Stylosanthes guianensis</i> (Aubl.) Sw.	Vale, 1985
<i>Stylosanthes hamata</i> (L.) Taub.	Vale, 1985
<i>Vigna wilmaii</i>	Vale, 1985

Muller, (1940) apud Thurton, (1940) encontrou no Brasil um fungo causando sintomas em *Crotalaria striata*, descrevendo como *Phakopsora crotalarie*.

Em 1979, Deslandes realizou um levantamento para identificar a gama de hospedeiros e ocorrência da ferrugem da soja em mais de 700 propriedades, envolvendo 200 cidades. Destas 22 propriedades de 18 municípios apresentavam a ocorrência do fungo, sendo em lab-lab (*Dolichos lablab*) e o feijão fava (*Phaseolus lunatus*).

Na área experimental da atual Universidade Federal de Lavras, Deslandes, (1979) identificou a ocorrência de *P. pachyrhizi* além das Fabacea citadas, em *Phaseolus bracteolatus*, *Macrotilium lathyroides*, *Phaseolus vulgaris*, Caupi (*Vigna sinesis*), e *Desmodium* sp.

Em estudos realizados por Sato & Sato, (1982), foram inoculadas 10 diferentes gêneros de leguminosas e verificaram a formação de apressório e vesícula trans-epidérmica em *Glycine max*, *Pueraria lobata*, *Lespedeza bicolor*, *Vigna angularia*, *Phaseolus vulgaris* L., *Pisum sativum* e *Vigna sinensis*.

Estudos posteriormente, realizado por Cassetari, (1984), comparou-se a suscetibilidade de 20 diferentes espécies de leguminosas a *P. pachyrhizi* inoculadas em condições de casa de vegetação. Todas as leguminosas testadas foram suscetíveis ao fungo, apresentando diferentes intensidades de doença.

Vale, (1985) comparou e relatou a suscetibilidade de 24 diferentes espécies de leguminosas a *P. pachyrhizi* inoculadas em condições de casa de vegetação e campo durante três anos. Todas as

espécies testadas foram suscetíveis ao fungo, apresentando diferentes intensidades de doença.

Na Argentina foi feito um estudo com plantas da família Fabaceae, sendo que a espécie *Pueraria lobata*, além de soja, foi identificada como hospedeira naturalmente infectada por *P. pachyrhizi* (FORMENTO *et al.*, 2005).

Em 2006 foi realizado o primeiro relato de *P. pachyrhizi* em plantas de *Phaseolus coccineus*, *P. lunatus* e *P. vulgaris* nos Estados Unidos (LYNCH *et al.*, 2006).

Outro trabalho realizado avaliando a resistência de um grupo de 20 cultivares de *Phaseolus vulgaris* a seis isolados de *P. pachyrhizi*, identificaram respostas diferenciadas entre as cultivares e interação cultivar-isolado (MILES *et al.*, 2007).

2.2.5 Ciclo biológico de *Phakopsora pachyrhizi*

O fungo *P. pachyrhizi* é descrito, normalmente, nas formas uredinial e telial. Não se sabe ao certo se produz os cinco estágios. Green (1984) não conseguiu observar o estágio 0, a espermogamia e o estágio I, aecial. Apenas foram verificados o estágio II, uredinial e o estágio III, telial, o qual é confundido com o anterior. Os esporos são anfígenos, porém, com maior proporção na face abaxial da folha. Estes, em curto período, se espalham, formando grupos de lesões marrom-amareladas.

Os telióssoros são de cor castanho escuro a chocolate, subepidérmicas, não erupentes e possuem de 2 a 7 esporos na camada interna (ONO *et al.*, 1992). Em 1991, Saksirirat & Hoppe observaram

a germinação do teliósporo formando uma basídia, no entanto, não obtiveram sucesso quando o experimento foi repetido. Na China, observou-se que quando formados sob condições naturais foram incapazes de germinar e causar doença em um plantio subsequente (TAN-YUJUN *et al.*, 2001). Bromfield, (1976) relatou que o papel do teliósporo no ciclo de vida do fungo *P. pachyrhizi* era desconhecido e continua até hoje. Entretanto, em termos de classificação das espécies, essa estrutura é de importância.

No Brasil, ocorrem dois tipos de esporos: os uredósporos e teliósporos (Figura 1).

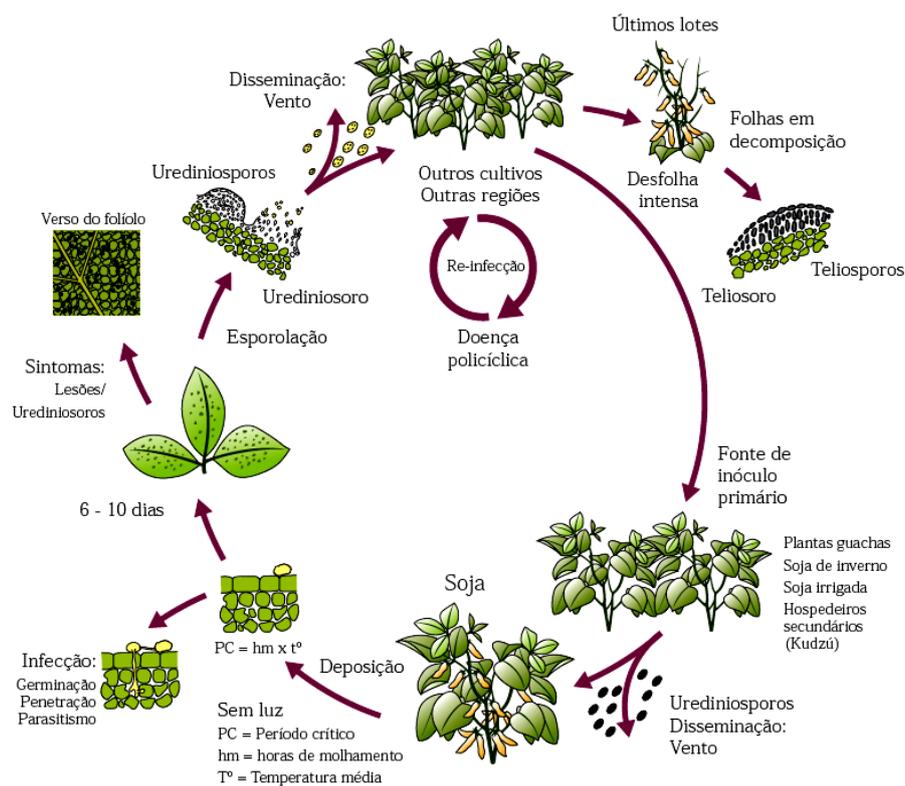


Figura 1 – Ciclo biológico da ferrugem asiática da soja (REIS & CARMONA, 2005).

2.2.5 Processo de infecção

O processo de infecção do patógeno, compreendido pelas subfases de germinação do esporo, penetração e estabelecimento do parasitismo, é governado pelo período crítico, sendo um período de tempo (horas) em que os sítios de infecção devem permanecer continuamente molhados, a uma dada temperatura média, para que se completem as subfases do evento biológico (REIS, 2004).

Desta forma, a penetração na folhas, ocorre na maioria das vezes, diretamente pela cutícula e não pelos estômatos, como a maioria das ferrugens (KOCH *et al.*, 1983). São poucas as espécies de ferrugens que apresentam esta capacidade de penetrar diretamente, sendo um evento raro, o que levou a acreditar que o fungo *P. pachyrhizi* é pouco dependente do reconhecimento da superfície para a formação do apressório (FURTADO, 2007). Tal característica proporciona uma maior eficiência da infecção de uredósporos, resultando em maior intensidade de doença.

De acordo com Zambenedetti Magnani (2007), usando microscopia eletrônica de varredura, verificou que a penetração de *P. pachyrhizi* é realmente direta e não pelo centro das células da epiderme, como mencionaram Koch *et al.* (1983), mas, principalmente, nas junções das células.

Para germinar, o uredósporo forma um tubo germinativo curto, delimitado por um apressório e dividido por septo. O apressório é frequentemente sésil. Em sua base desenvolve-se a hifa de penetração, chamada de vesícula trans-epidérmica que penetra pela

cutícula do hospedeiro e pela parede da célula da epiderme. A penetração da célula da epiderme ocorre 6 horas após a inoculação. Uma vez dentro da célula, a hifa de penetração se expande no espaço intercelular e no tecido do mesófilo. Um septo é formado na porção intercelular da hifa de penetração, enquanto a hifa primária se estende para formar a hifa secundária (KOCH *et al.*, 1983).

Bonde *et al.* (1976) verificaram que, 1 a 2 horas após as plantas inoculadas terem sido colocadas em câmara de incubação, à temperatura de 20°C, os uredósporos iniciaram a germinação e, 2 horas após os apressórios começaram a se desenvolver e, em 5 horas, muitos apressórios atingiram tamanho semelhante ao dos uredósporos.

A capacidade de infecção de *P. pachyrhizi*, no cultivar Wayne, depende da idade da folha e da idade da planta. As folhas mais novas foram mais suscetíveis em relação as mais velhas, e folhas que ocupam a mesma posição em plantas de diferentes idades mostraram ser mais suscetíveis quanto mais nova a planta (MELCHING *et al.*, 1988).

Melching *et al.*, (1988) após inoculação de suspensão de uredósporos de *P. pachyrhizi* em plantas de soja cultivar Wayne em diferentes idades observaram que plantas com 15-20, 25-32 e 37-42 dias no momento da inoculação apresentam período latente médio de 7, 8 e 9 dias, respectivamente. Plantas com 15 dias de idade, em relação às plantas com 42 dias, apresentam maior tamanho de lesão (mm²) e maior número de urédias por lesão na superfície abaxial, quando comparadas com a superfície adaxial da folha.

Melching *et al.* (1979) observaram o progresso do número de urédias no período de oito semanas, em lesões na superfície adaxial

e, principalmente, na abaxial em plantas de soja cultivar Wayne, quando inoculadas com isolados de *P. pachyrhizi* provenientes da Índia, Indonésia, Taiwan e Austrália. As primeiras lesões apareceram 7 dias após a inoculação, não havendo diferença entre isolados. O isolado australiano, porém, foi o que menos progrediu nesse intervalo de tempo.

Bergamim (2006) propôs que o surgimento de novas urédias em lesões de ferrugem asiática da soja, corresponde a via anti-horária de infecção do modelo analógico para o patossistema tropical, descrito em Bergamim Filho & Amorin (1996).

2.2.6 Sintomatologia

Diferentemente das demais ferrugens, a da soja, causa lesões foliares, com várias urédias. Os primeiros sintomas da ferrugem manifestam-se como pequenas áreas elevadas semelhantes a domos (máximo 1,0 mm de diâmetro) da mesma cor do tecido foliar sadio. À medida que o tempo passa, os domos crescem, tornam-se mais claros e se rompem num poro em sua parte superior originando assim as urédias com esporos hialinos internos. A necrose do tecido ao redor das urédias se torna evidente e passam a serem denominados de “lesões”, pelo fato de ocasionar necrose no tecido foliar (REIS *et al.*, 2006).

De modo geral, numa lavoura, as primeiras lesões são observadas nos folíolos basais, podendo ocorrer as ambas as faces dos folíolos, com maior frequência na face abaxial, possivelmente devido ao acúmulo de gotículas de água pelo processo de condensação,

aumentando a frequência de infecção. Geralmente este processo ocorre próximo ao pôr-do-sol, quando coincide com o ponto de orvalho, sendo a temperatura na qual a quantidade de vapor d'água presente na atmosfera estaria em sua máxima concentração (MONTEITH & BUTLER, 1979; VIANELLO & ALVES, 1991).

As lesões assumem coloração castanha a marrom-escura, sobre as urédias abre-se um minúsculo poro, pelo qual os uredósporos são liberados (REIS *et al.*, 2006). Em cada lesão se observa uma ou mais urédias, podendo chegar ao número de 16 urédias (REIS *et al.*, 2006).

A presença do poro visível é uma característica de grande importância para a diagnose correta da ferrugem, permitindo diferenciar da pústula bacteriana (REIS *et al.*, 2006).

Os uredósporos apresentam inicialmente coloração hialina e posteriormente cor bege, os quais são carregados pelo vento a longas distâncias. À medida que prossegue a esporulação, o tecido foliar ao redor das lesões com urédias mais velhas, adquirem coloração de castanho-clara denominada de lesão do tipo bronzeada ou castanho-avermelhada. Estas duas denominações apresentam importância para os programas de melhoramento genético, a fim de observar a reação dos genótipos. Portanto estas duas nomenclaturas não apresentam valor prático para diagnose.

2.2.7 Condições ambientais favoráveis a infecção

Dentro do dossel das plantas, destacam-se as variáveis climáticas de temperatura, molhamento foliar, radiação dentre outras.

Cada uma dessas variáveis exerce papel importante nas diversas etapas do desenvolvimento da doença. Para ocorrência da ferrugem da soja, é dependente da duração do molhamento foliar e a temperatura média durante o período de molhamento (REIS, 2004).

A água, na forma líquida, sobre o tecido foliar tem papel importante em vários processos epidemiológicos, afetando principalmente a infecção e a esporulação (HUBER & GILLESPIE, 1992). O ambiente exerce papel fundamental ao interferir, de forma diferenciada, no desenvolvimento do patógeno, do hospedeiro e da doença. Em contrapartida, estas populações também exercem influência sobre o ambiente, especialmente o microclima (BERGAMIN FILHO & AMORIM, 1996).

O processo de infecção do patógeno compreende as subfases de germinação do esporo, penetração e estabelecimento do parasitismo, o qual é governado pelo período crítico. Este é um período de tempo (horas) em que os sítios de infecção devem permanecer continuamente molhados, a uma dada temperatura média, para que se completem as subfases da infecção (REIS & CASA, 2007).

A relação entre o número de horas de molhamento foliar (5-16 horas), e a quantidade de esporos germinados que penetram nas folhas e o número de lesões por folha foi estudada por Bonde em colaboradores em 1976, sob temperatura de 20°C e escuro. A amplitude entre as penetrações (a primeira penetração e a maior quantidade de penetrações) foi observado após 7 e 16 horas de molhamento foliar, respectivamente.

De acordo com os estudos de Vale (1985), realizados em Viçosa, MG, o período mínimo de molhamento, necessário à ocorrência de infecção por *Phakopsora pachyrhizi*, em soja, foi estimado em 6,0 horas, para temperaturas entre 18,0°C a 25,0°C e aumenta para temperaturas superiores e inferiores. Portanto temperaturas que favorecem o crescimento e desenvolvimento da soja favorecem, igualmente, o progresso temporal da ferrugem.

Nas temperaturas de 15 e 17,5°C o mínimo de molhamento necessário para infecção foi 10 e 8 horas, respectivamente. Independente do período de molhamento foliar não houve doença em plantas incubadas na temperatura de 27,5°C (MARCHETTI *et al.*, 1976).

Experimentos conduzidos no Brasil, com o cultivar BRS 154, revelaram efeitos semelhantes aos autores anteriores (ALVES, 2007). Relatando que o fungo necessitou de no mínimo 6 e no máximo 24 horas de água livre para infectar, com faixa de temperatura ideal entre 15 e 25°C e temperatura ótima de 23°C.

Já o período latente diminuiu conforme o aumento da temperatura. Em 10, 20 e 28°C o período latente foi de 30, 10 e 12 dias, respectivamente (ALVES *et al.*, 2006).

Del Ponte *et al.* (2006) estudaram epidemias de ferrugem da soja no Brasil em 34 campos experimentais, nas safras de 2003 e 2004, e correlacionaram variáveis climáticas, temperatura e chuva, com a severidade final da doença. Sendo que em todos os campos onde a severidade da doença foi maior que 70%, a quantidade de chuva variou de 250 a 450 mm após um mês da primeira detecção da doença e, nos campos onde a severidade foi menor que 30%, a chuva

variou entre 20 e 125 mm. No entanto, esta relação de quantidade de chuva e intensidade de doença é explicada não exclusivamente pelo fato da chuva, mas sim, pelo somatório de horas de molhamento foliar durante o ciclo da soja. Deste modo pode-se inferir que, quanto maior o somatório de horas de molhamento foliar no ciclo da soja, conseqüentemente maior serão as intensidades da doença.

Estudos recentes realizados por Isard *et al.* (2006) mostram que a viabilidade dos uredósporos de *P. pachyrhizi* é influenciada pela radiação solar. Os esporos expostos à radiação igual ou superior a 27,3 MJ/m² não germinaram e esporos oriundos de folhas em posição superior na planta germinaram menos que aqueles obtidos de folhas inferiores.

2.3 Processo de Modelagem

O desenvolvimento de sistemas de previsão e/ou aviso de doenças apresenta uma organização de atributos de interesse particular, prever, profetizar (REIS, 2004).

Deste modo, Zadoks (1984) refere-se a esses modelos como sistemas de alerta ou aviso, pois as decisões geradas dependem de condições que ocorreram no passado ou estão ocorrendo no presente.

A palavra modelo é derivada de “modus” e representa uma medida, implicando em uma mudança de escala e suas determinações. Conceitualmente, são as representações idealizadas para situações reais (CAIXETA FILHO, 2001), ou ainda, equações ou conjunto delas, podendo representar quantitativamente as suposições e

hipóteses idealizadas sobre o sistema real (THORNLEY, 1976), ou previsão de doenças de plantas. Considera-se modelagem, como o processo de desenvolvimento dos modelos. A modelagem é dependente de um sistema, que é o conjunto de componentes e suas inter-relações.

Também é definido como conjunto de elementos, que descrevem as principais características de uma situação real a estudar (PESSOA *et al.*, 1997). A interpretação dada aos fenômenos envolvidos no sistema está intimamente ligada e correlacionada ao nível de exatidão obtida na sua descrição. A simulação inclui os processos necessários para a operacionalização do modelo ou a solução do modelo visando prever o que acontece no sistema (De WIT, 1978).

A eficiência do processo de modelagem depende do conhecimento do modelador que vai desenvolver o modelo. As áreas que dão suporte a modelagem vão depender, sobre tudo, de qual o objetivo da modelagem. Dessa forma, existe uma necessidade da existência de equipes multidisciplinares para o desenvolvimento dos modelos, e com isso, a sua ampliação de utilização.

Existem diversas formas de representar a seqüência do processo de modelagem, dentre elas, a execução de um fluxograma é fundamental para organizar o conhecimento em uma seqüência lógica. Nesse fluxograma, alguns elementos são fundamentais para que o processo seja executado com qualidade.

No processo dinâmico de desenvolvimento, em que as equações são transformadas em linguagem computacional, é aconselhável que os resultados dos cálculos apresentados pelo

computador sejam comparados com outros resultados já existentes na literatura, para evitar que os erros não sejam encontrados, devido à complexidade e da magnitude do programa. É um conjunto de atividades necessárias para verificar a precisão dos enunciados e das equações propostas. A verificação corresponde conferência se os algoritmos e os códigos computacionais estão corretos para as definidas relações matemáticas.

A modelagem pode ser aplicada em diversas situações que exige a construção de diferentes tipos de modelos, sendo que estes recebem classificações devido as suas características. Os modelos agroclimáticos são classificados da seguinte forma, segundo Baier (1979): (i) modelos de simulação de crescimento das culturas; (ii) modelos de análise planta-atmosfera e (iii) modelos estatísticos empíricos.

Barros (1998) classificou os modelos em matemático e de simulação ou previsão. O primeiro se refere a representações matemáticas de um fenômeno, enquanto que o segundo engloba um ou mais modelos matemáticos, representando fenômenos mais complexos. Os modelos matemáticos referem a representações matemáticas de um fenômeno, podendo ser de três tipos: (i) empíricos, baseados em dados observados; (ii) estocásticos, em que o processo é descrito por intermédio das leis de probabilidade e (iii) mecânicos, onde as leis da física, química e biologia influenciaram no processo, sendo os mais versáteis dentro dos tipos de modelos matemáticos (PAUSTIAN *et al.*, 1992). A utilização de vários modelos matemáticos faz com que os modelos de previsão sejam mais completos, sendo subdivididos em (i) determinísticos, em que um

conjunto de eventos leva a um resultados único e definido; e (ii) estocásticos, em que a incerteza é considerada na estrutura, levando em consideração as leis da probabilidade e estatística. Essas duas categorias podem possuir subdivisões conforme características pecuniárias de cada caso. Sendo citados como (i) mecanísticos, que procura descrever os mecanismos envolvidos no processo e (ii) funcionais, que descrevem apenas os aspectos gerais do processo.

2.3.1 Sistemas de aviso para ferrugem asiática da soja

Na década de 1990, desenvolveu-se o primeiro modelo computacional para a simulação da ferrugem asiática da soja, o SOYRUST. Este modelo, que simula o desenvolvimento da doença em função da temperatura e do molhamento foliar, foi validado com experimentos de campo, demonstrando resultados satisfatórios de simulação do progresso da doença em diferentes épocas de plantio (YANG, 2006).

O programa SOYRUST foi integrado ao modelo SOYGRO, desenvolvido na Universidade da Flórida, para avaliar o progresso da doença e época de plantio da soja e os possíveis danos nos Estados Unidos. Nesta simulação considerou que os esporos do fungo estavam disponíveis e as simulações demonstraram grandes danos, principalmente no Sul e no Leste dos Estados Unidos. Os resultados sugeriram que no verão com altas temperaturas, havia um retardamento da doença, enquanto que verão com temperaturas mais baixas favoreciam seu desenvolvimento (PIVONIA & YANG, 2005). Com objetivo de se fazer uma previsão das condições de desenvolvimento do fungo causador da ferrugem asiática da soja em

diferentes regiões geográficas no mundo, Pivonia & Yang (2004) utilizaram o software Climex, em conjunto com técnicas desenvolvidas por eles, para prever as possibilidades de sobrevivência do *P. pachyrhizi*. O modelo usou as médias normais mensais para calcular o acúmulo de estresses impostos pela temperatura e déficit de umidade para o desenvolvimento de patógeno. Estresses de temperatura foram calculados usando o CLIMEX para prever regimes em que a temperatura restringe a sobrevivência do fungo ao longo do ano. O estudo possibilitou a determinação das regiões onde o inóculo não sobreviveria na entressafra e dependeria de fontes em locais distantes.

O programa SOYRUST evidencia a necessidade de se considerar o molhamento foliar, nas simulações de desenvolvimento da ferrugem da soja. Muitos modelos têm determinado o período de molhamento considerando que o início da condensação na superfície das folhas ocorre, quando a umidade relativa é maior ou igual a 90,0%, sendo, este o método empírico mais comum para estimativa deste período. Estimativas do período de molhamento foliar, realizadas por meio de métodos mais simples, baseados na umidade relativa, têm uma acurácia tão satisfatória quanto às estimativas baseadas em modelos físicos mais complexos (PEDRO JÚNIOR & GILLESPIE, 1982 a e b ; RAO *et al.*, 1998; SENTELHAS, 2004; KIM *et al.*, 2005; SENTELHAS *et al.*, 2006).

No Brasil a primeira proposta de sistema de previsão para ferrugem da soja, foi desenvolvida por Reis *et al.*, 2004, tomando-se como base dados disponíveis na literatura, elaborou-se e validou-se um sistema de previsão. O modelo foi baseado nas condições

climáticas favoráveis ao processo infeccioso, como a duração do molhamento foliar contínuo e a temperatura média durante essa subfase do ciclo das relações patógeno-hospedeiro. Desde então, este sistema vêm sendo adaptado e aperfeiçoado, tendo em vista, precisão da ocorrência da ferrugem da soja em várias regiões do Brasil. Portanto, o capítulo II deste trabalho, em como finalidade avaliar o desempenho de quatro sistemas de aviso, visando identificar a ocorrência da ferrugem da soja.

A busca por novas técnicas estatísticas, com o objetivo de desenvolver modelos robustos, as redes neuronais têm conquistado espaço de destaque em diversas áreas da ciência. Os métodos de redes neuronais, têm se destacado na busca de relações, que facilitem o entendimento de sistemas biológico, onde as variáveis de entrada e as de saída possuem uma relação não-linear.

2.3.1.1 Uso de redes neuronais visando prever a ocorrência da ferrugem asiática da soja

O uso redes neuronais, aplicadas à fitopatologia é recente no Brasil. As redes neuronais têm a capacidade de aprender e reconhecer padrões subjacentes presentes nos conjuntos de dados, apresentando melhor desempenho que os métodos estatísticos tradicionais. Adicionalmente, as redes neuronais podem descrever com antecedência resultados futuros, por meio de previsão, facilitando o entendimento da ocorrência da ferrugem da soja.

Considerando alguns limitações no processo de modelagem matemática tradicional para fornecer respostas em sistemas biológicos e, ainda, a limitação na informação da previsão de

erro, Batchelor *et al.* (1997), na procura de novas técnicas de modelagem, desenvolveram um modelo de previsão da ferrugem asiática da soja por meio de redes neurais. Os dados utilizados no desenvolvimento das redes foram quantificados em experimentos feitos em Taiwan, nos anos de 1980 e 1981. Fizeram-se plantios de soja, semanalmente, nos dois anos totalizando 73 parcelas de cultura, onde quantificou-se o desenvolvimento da doença. Com estação meteorológica instalada no campo, fizeram-se medidas de temperatura máxima, média e mínima, de precipitação pluvial e de umidade relativa do ar. Sete variáveis foram utilizadas como entrada na rede, tais como data de plantio, dia da observação da primeira ocorrência da doença, dias acumulados com umidade relativa acima de 90,0% e graus dias para a cultura e patógeno. As variáveis foram combinadas em vários grupos, sendo que no final da geração das redes, apenas três combinações foram consideradas. A variável de saída foi à severidade medida em cada parcela durante os dois anos do experimento. As redes foram treinadas, testadas e validadas com os dados dos dois experimentos de duas maneiras diferentes, considerando inicialmente os dados dos dois anos e, posteriormente, o treinamento com os dados do ano de 1980 e o teste e validação com os resultados dos experimentos do ano de 1981. Os pesquisadores concluíram que os resultados obtidos com esta metodologia foram melhores que os obtidos com outras metodologias empregadas anteriormente, tais como a análise de regressão múltipla, com estes mesmos dados experimentais. O atrativo principal para a solução de problemas por meio de redes neurais artificiais está na capacidade destas em aprenderem através de exemplos e generalizar as informações

aprendidas. A generalização, que está associada à capacidade de uma rede em aprender através de um conjunto reduzido de exemplos e, posteriormente, dar respostas coerentes para dados desconhecidos, é uma demonstração de que a capacidade das redes neuronais vai muito além do que simplesmente mapear relações de entrada e saída (BRAGA *et al.*, 2000). Redes neuronais são modelos computacionais, inspirados no sistema nervoso biológico, cujo funcionamento é semelhante a alguns procedimentos humanos, ou seja, aprendem pela experiência, generalizam exemplos através de outros e abstraem características. A utilização de uma rede neural na solução de uma tarefa passa, antes de tudo, por uma fase de aprendizagem, quando a rede extrai informações relevantes de padrões de informação a ela apresentados, criando, assim, uma representação própria para o problema (HAYKIN, 2001).

2.4 Estratégias de controle

2.4.1 Resistência genética

A obtenção de cultivares de soja tolerantes à ferrugem asiática tem sido um desafio para pesquisa.

Compete ao melhoramento genético produzir e fornecer as cultivares/sementes com tecnologia agregada e resistente a doença, representando menores custos de produção e menor utilização de fungicidas. Desta forma, os benefícios ao meio ambiente e sociedade em geral são inquestionáveis. Para tanto, trabalhos e publicações relacionados à resistência genética da soja à ferrugem e às fontes dos

genes que a conferem, são encontrados na literatura mundial e são, inclusive, o ponto de partida para as pesquisas visando resistência genética (UNFRIED, 2007).

Cinco genes de resistência dominantes foram identificados (*Rpp1*, *Rpp2*, *Rpp3*, *Rpp4* e *Rpp5*) e são referenciados até o momento na literatura (BROMFIELD, 1981; HARTWIG, 1986; GARCIA *et al.*, 2008; MORCELI *et al.*, 2008). No entanto, a estabilidade dessa resistência é duvidosa, devido à alta variabilidade genética do patógeno (OLIVEIRA *et al.*, 2005). Fato este observado na safra 2003, quando um isolado proveniente de região de Sorriso e Lucas do Rio Verde do Mato Grosso foi capaz de vencer a resistência da cultivar FT-2 e conseqüentemente, de todas as demais cultivares identificadas, sendo caracterizada, portanto, como uma possível raça nova do fungo (OLIVEIRA *et al.*, 2005; AZEVEDO *et al.*, 2007).

Esta nova raça de *P. pachyrhizi* quebrou a resistência conferida pelos genes *Rpp1* e *Rpp3*. Em virtude dessa quebra de resistência, não foi possível a realização de experimentos para determinar se o alelo presente em FT-2 é um derivado de *Rpp1* ou *Rpp3*; entretanto, a genealogia desta cultivar sugere que este seja *Rpp3* (POLIZEL, 2005).

Sabe-se até o momento, que somente os genótipos que contêm genes *Rpp2* e *Rpp4* conservam a tolerância do fungo da ferrugem no Brasil (ARIAS *et al.*, 2004). Foram identificadas dezoito raças do fungo, coletadas de plantas de soja e hospedeiros selvagens no Japão (YAMAOKA *et al.*, 2002). No Brasil, embora não haja comprovação científica, devido à inexistência de hospedeiros diferenciadores de raças até o momento, admite-se que haja também inúmeras raças, devido à alta variabilidade do patógeno e o número de

ciclos na cultura (ZAMBOLIM, 2006). Estudos realizados em Taiwan mostraram a existência de pelo menos uma raça com três genes de virulência (BROMFIELD, 1981).

Uma alternativa seria explorar a resistência horizontal, a qual contribui na redução do período de incubação e conseqüentemente, na taxa de progresso da doença, tornando-se efetiva contra um maior número de raças do patógeno. Entretanto, a quantificação deste tipo de resistência é mais difícil, limitando seu uso (TSCHANZ & WANG, 1985).

Vale lembrar que os programas de melhoramento no Brasil, não possuem germoplasma com suficiente resistência genética que permita o desenvolvimento de cultivares que dispensem o uso de fungicidas para o controle da doença. No entanto, por meio de seleção e de cruzamentos tradicionais entre germoplasmas com a característica de tolerância de alguns materiais, espera-se obter cultivares que permitam reduzir o número de aplicações de fungicidas (YORINORI & LAZZAROTTO, 2004). Por sua vez, entende-se por tolerância, a capacidade da planta suportar o desenvolvimento do patógeno sem apresentar redução significativa no rendimento e qualidade do produto (SCHAFER, 1970).

Portanto, apesar dos esforços de identificação de fontes de genes de resistência à ferrugem; assim como informações novas a respeito dos genes e/ou novos genes presentes nas respectivas fontes, ainda são incipientes, porém são de importância inquestionável para o progresso para obtenção de uma resistência duradoura (UNFRIED, 2007).

2.4.2 Controle químico

O uso de fungicida é considerado uma medida emergencial, rápida e eficiente, porém, aumenta o custo de produção. Lembrando ainda que sem o conhecimento dos danos não se têm indicadores concretos e científicos para a decisão do controle químico. Deste modo, toda aplicação com fungicida deve ter relação com o retorno econômico (REIS *et al.*, 2007).

Vários critérios indicadores do momento para a aplicação de fungicidas têm sido propostos aos agricultores. Dentre estes critérios está: o preventivo no qual tecnicamente a aplicação deve ser feita na ausência da doença, ou seja, pré-penetração; curativo, aplicação na fase de latência do patógeno, sendo pós-penetração á pré-sintomas e erradicativo, na fase de pós-sintomas e/ou sinal da doença. No entanto, os termos preventivo, curativo e erradicativo referem-se à ação do fungicida e não a critérios indicadores do momento da aplicação (HEWITT, 1998). Outros critérios considerados empíricos e subjetivos, também são mencionados, como: aplicações no início da doença; baseado no estágio fenológico; aplicações em calendário fixo e por fim em pré-fechamento das entrelinhas da cultura.

De acordo, com as Indicações Técnicas para a Cultura da Soja no Rio Grande do Sul e Santa Catarina (RECOMENDAÇÕES, 2007), o controle químico da ferrugem asiática pode ser realizado de maneira preventiva, a partir do início da floração e/ou nas primeiras ocorrência da doença na região.

Segundo Godoy (2007), por mais eficientes que sejam os fungicidas utilizados no controle da ferrugem da soja, ainda existem

alguns pontos críticos, como o momento ideal para início da aplicação, o que pode comprometer os resultados.

Apesar da ferrugem da soja ser facilmente controlada com fungicidas, esta estratégia gera outros problemas ao agricultor, dentre os quais destacam-se: aumento no custo de produção; dificuldade no gerenciamento de aplicações de fungicidas em propriedades maiores, agravando-se sobre condições climáticas adversos, por exemplo, períodos chuvosos prolongados.

2.4.3 Ações complementares de controle

Entretanto, algumas medidas complementares de manejo podem ser implementadas visando minimizar os danos da doença e a otimizar o controle químico, tais como: eliminar plantas voluntárias ou hospedeiros alternativos e respeitar os 90 dias de “vazio sanitário” na entressafra no intuito de reduzir o inóculo nos primeiros plantios; utilizar cultivares mais precoces, semeadas no início da época recomendada para a região; evitar o prolongamento do período de semeadura; semear a soja em densidade recomendada para a cultivar, afim de permitir melhor circulação de ar, conseqüentemente diminuindo as horas de molhamento foliar diária. Utilizando a população de plantas adequada para o cultivar pode maximizar o gradiente deposição do fungicida no dossel, interferindo diretamente na eficácia de controle; observar a tecnologia de aplicação nos quesitos: pontas, volume de calda, horário de aplicação e velocidade de deslocamento do pulverizador; sob pivô-central dar preferência em irrigar a noite quando á presença de orvalho sobre as plantas afim de

minimizar a duração diária do molhamento foliar; treinar e capacitar inspetores de campo, na correta identificação da ferrugem visando monitorar com frequência as lavouras e finalmente, observar as condições climáticas são favoráveis á infecção e desenvolvimento do patógeno na região (YORINORI & MOREL, 2002; YORINORI, 2004; GODOY *et al.*, 2006; REIS *et al.*, 2006).

CAPÍTULO I

RELAÇÃO ENTRE OS ESTÁDIOS FENOLÓGICOS E A OCORRÊNCIA DA FERRUGEM EM SOJA

EDER NOVAES MOREIRA¹ & ERLEI MELO REIS²

RESUMO – Alguns trabalhos relatam que a ocorrência da ferrugem asiática da soja está relacionada ao estágio fenológico da cultura, passando-se usar o estágio fenológico como um critério indicador do momento para a aplicação de fungicidas. O objetivo deste trabalho foi avaliar se a ocorrência da ferrugem da soja depende do estágio fenológico da planta. O experimento foi conduzido na Área Experimental da Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da Universidade de Passo Fundo, na safra 2008. Para simular diferentes estádios fenológicos da soja, foram usadas as cultivares Nidera 4910 RR, Relmó Andrea 66 RR e Munasca RR dos respectivos ciclos precoce, médio e tardio. Estes foram semeados em três épocas: 11/11/2007, 03/12/2007 e 21/12/2007. Empregou-se o delineamento experimental de blocos ao acaso em esquema de parcelas subdivididas com três repetições, sendo a parcela os cultivares e a subparcela as épocas de semeadura perfazendo 27 parcelas. As avaliações da ferrugem foram realizadas numa frequência de 8 a 10 dias com base

¹Engenheiro Agrônomo, mestrando do Programa de Pós-graduação em Agronomia da FAMV/UPF, Área de Concentração em Fitopatologia – eder.paulista@gmail.com

²Orientador, Engenheiro Agrônomo, Ph.D., professor da FAMV/PPGAgro/UPF – erleireis@tpo.com.br

na incidência foliar e na severidade, a partir do estágio V5, coletando-se aleatoriamente cinco plantas por parcela de cada tratamento. O aparecimento dos primeiros sintomas da ferrugem ocorreu no dia 02/02/2008 na primeira e segunda época, nos três cultivares. As plantas destas cultivares estavam em diferentes estádios fenológicos, desde nove trifólios à enchimento de grãos em alguns tratamentos. Os dados de severidade foram integralizados para área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD), havendo diferenças significativas para os fatores cultivares e épocas de semeadura. Não houve interação significativa para cultivares x épocas de semeadura para a variável AACPD. As curvas de progresso foram plotadas, utilizando os valores de incidência no tempo para as diferentes cultivares e épocas. Adicionalmente, os dados foram analisados por análise de regressão não linear, testando os modelos Logístico, Monomolecular e Gompertz. O modelo logístico foi que melhor se ajustou aos dados, escolhido com base na análise de diagnóstico de resíduos. Os maiores valores da taxa de progresso (r) foram obtidos para a cultivar precoce 0,173; 0,221 e 0,261 para a primeira, segunda e terceira épocas respectivamente. Por outro lado, os menores valores de r foram obtidos para os cultivares tardios 0,128; 0,204 e 0,226 para a primeira, segunda e terceira épocas respectivamente. Conclui-se que a ocorrência da ferrugem da soja não depende do estágio fenológico das plantas de soja.

Palavras-chave: *Phakopsora pachyrhizi*, soja, epidemiologia

RELATIONSHIP BETWEEN PHENOLOGICAL STAGES AND OCCURRENCE OF SOYBEAN RUST

EDER NOVAES MOREIRA¹ & ERLEI MELO REIS²

ABSTRACT- Some studies have reported that the incidence of Asian soybean rust is related to the developmental stage of the culture, starting to use the developmental stage as a criterion to indicate the time for applying fungicides. The aim of this study was to evaluate if the occurrence of soybean rust depends on the developmental stage of the plant. The experiment was conducted at the Experimental School of Agronomy and Veterinary Medicine, University of Passo Fundo, in the 2008 crop season. To simulate different growth stages of soybean, the cultivars Nidera 4910 RR, 66 RR and Relm Andrea Munasca RR with the early, mid and late cycles, respectively, were used. They were sown on three dates: 11/11/2007, 12/03/2007 and 12/21/2007. We applied the experimental design of randomized blocks in split plots with three replications, where the cultivars were the plot and the subplot was the sowing times, with a total of 27 plots. The evaluations of the rust were made in a frequency of 8 to 10 days based on incidence and severity leaflets from the V5 developmental stage, collecting five random plants per plot of each

¹Engenheiro Agrônomo, mestrando do Programa de Pós-graduação em Agronomia da FAMV/UPF, Área de Concentração em Fitopatologia – eder.paulista@gmail.com

²Orientador, Engenheiro Agrônomo, Ph.D., professor da FAMV/PPGAgro/UPF – erleireis@tpo.com.br

treatment. The first symptoms of rust occurred on 02/02/2008 in the first and second period in the three cultivars. The plants of these cultivars were at different growth stages, from nine trifoliate leaves to grain filling in some treatments. The severity data was integrated for area under the disease progress curve (AUDPC), there were significant differences for cultivars and sowing dates. There were no significant interactions of cultivar x sowing date for the variable AUDPC. The progress curves were plotted using the values of incidence in time for the different cultivars and seasons. Additionally, data was analyzed by nonlinear regression, testing the models Logistic, Gompertz and Monomolecular. The logistic model was the one that fit best to the data, and it was chosen based on the diagnostic analysis of waste. The higher values of the progress rate (r) were obtained for the early variety 0.173, 0.221 and 0.261 for the first, second and third seasons respectively. On the other hand, smaller values of r were obtained for the late cultivars 0.128, 0.204 and 0.226 for the first, second and third seasons respectively. It is concluded that the occurrence of soybean rust is not dependent on the growth stage of soybean plants.

Keywords: *Phakopsora pachyrhizi*, soybean, disease epidemiology

1 INTRODUÇÃO

A soja [*Glycine Max* (L.) Merrill] é uma das culturas que têm garantido a sustentabilidade econômica na cadeia do agronegócio no Brasil. Estima-se que a área cultivada desta oleaginosa para a safra 2008/09 será de aproximadamente 21,25 milhões de hectares, com uma produção de 57,76 milhões de toneladas de grãos (Conab, 2009).

A primeira descrição da ferrugem da soja em lavouras no Continente Americano foi relatada no Paraguai na safra 2001 (MOREL, 2001) e, posteriormente, no Brasil (COSTAMILAN *et al.*, 2002; REIS *et al.*, 2002; YORINORI & MOREL, 2002). Em 2004 foi relatada nos Estados Unidos (SCHEIDER *et al.*, 2005).

A ferrugem da soja, causada pelo fungo *Phakopsora pachyrhizi* Sydow, é considerada a doença de maior potencial destrutivo, podendo ocasionar até 90% de danos à produtividade (SINCLAIR & HARTMAN, 1999). Os danos no rendimento de grãos dependem do estágio fenológico da planta em que a doença ocorre e do nível de severidade, podendo provocar desfolha e antecipar o ciclo da cultura e impedir assim, a formação de vagens e o enchimento de grãos. Portanto, a ferrugem da soja pode limitar a área fotossintética da planta, comprometendo os componentes de rendimento e por fim a quantidade e a qualidade dos grãos.

O grupo das ferrugens apresenta a característica de desviar os fotossimilados provenientes da fotossíntese e convertê-los na produção de uredósporos (REIS, 1991).

Logo após a constatação da ferrugem da soja no Brasil em 2001, afirmou-se que essa doença ocorreria preferencialmente na floração (R1) e/ou em outros estádios fenológicos. Por este motivo, fixou-se como critério para decisão da aplicação de fungicida, embora na maioria das vezes não houvesse necessidade de controle, devido a não ocorrência da doença.

A ocorrência e o progresso da ferrugem da soja não está associada diretamente ao estágio fenológico da planta, mas sim aos fatores determinantes da doença. Dentre esses fatores, citam-se a ação do patógeno virulência/agressividade, densidade de inóculo sazonal, dispersão (liberação, transporte e deposição), taxa de infecção, do hospedeiro presença de plantas de soja suscetíveis numa dada população em uma região, período latente e as condições climáticas. As condições climáticas exercem papel importante no processo da doença, afetando diretamente o patógeno e a planta, destacando-se a temperatura do ar durante o período de molhamento foliar e a frequência da duração do molhamento foliar (REIS, 2004).

Este trabalho teve como objetivo estudar, em condições de campo, a relação entre os estádios fenológicos e a ocorrência da ferrugem em plantas da soja.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Local e descrição dos experimentos

O experimento foi conduzido na Área Experimental da Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da Universidade de Passo Fundo no município de Passo Fundo, RS, na safra de 2008, entre os meses de novembro de 2007 à março de 2008.

Foram utilizados três cultivares de ciclos distintos: precoce (Nidera 4910 RR), médio (Relmó Andrea 66 RR) e tardio (Munasca RR), semeados em três épocas (11/11/07, 03/12/07 e 21/12/07) (Tabela 1), visando a ocorrência no mesmo momento de nove diferentes estádios fenológicos. A escolha das cultivares teve como critério a representatividade em área de cultivo no estado do Rio Grande do Sul, na safra 2007.

Tabela 1. Épocas de semeadura e diferentes cultivares semeadas na área experimental da Universidade de Passo Fundo. Passo Fundo, RS, safra 2008.

Tratamentos	Épocas	Datas de semeadura	Ciclos das cultivares
1			Precoce (Nidera 4910 RR)
2	Primeira	11/11/2007	Médio (Relmó Andrea 66 RR)
3			Tardio (Munasca RR)
4			Precoce (Nidera 4910 RR)
5	Segunda	03/12/2007	Médio (Relmó Andrea 66 RR)
6			Tardio (Munasca RR)
7			Precoce (Nidera 4910 RR)
8	Terceira	21/12/2007	Médio (Relmó Andrea 66 RR)
9			Tardio (Munasca RR)

O ensaio foi instalado em área de rotação de culturas com a finalidade de minimizar a ocorrência de doenças causadas por necrotróficos. As sementes das cultivares foram semeadas com semeadora mecânica com espaçamento de 0,45 m entre linha utilizando as respectivas densidades: precoce (14 plantas.m⁻²), médio (16 plantas.m⁻²) e tardio (18 plantas.m⁻²). Usou-se 250 kg.ha⁻¹ do adubo formulado 0-20-30 (N – P₂O₅ – K₂O). O controle de pragas do sistema radicular na fase inicial da cultura foi realizado pelo tratamento de semente com o inseticida tiametoxana na dose de 120 ml/100 kg de sementes. Para o controle de plantas daninhas, procedeu-se uma aplicação de herbicida no estágio V1 usando o glifosato na dose de 1,5 L.ha⁻¹. Os demais tratamentos culturais adotados para a condução do experimento seguiram as recomendações para a cultura da soja (RECOMENDAÇÕES, 2007).

Empregou-se o delineamento experimental de blocos ao acaso, em esquema de parcela subdividida com três repetições, sendo a parcela os cultivares e a subparcela as épocas de semeadura perfazendo 27 parcelas. As unidades experimentais constaram de parcelas de 8 linhas por 30 m de comprimento totalizando 285 m².

2.2 Avaliação da intensidade da ferrugem da soja

As avaliações foram realizadas numa frequência de 8 a 10 dias, com base na incidência foliar e na severidade, com início no estágio V4, de acordo com a escala fenológica de Ritchie *et al.* (1982), adaptada por Yorinori (1996). Foram coletadas cinco plantas por

parcela, das quais foram destacadas os trifólios centrais da haste principal e levados ao Laboratório de Fitopatologia da FAMV/UPF para posterior avaliação (NTF) das plantas de cada amostra e o número de folíolos doentes (NFD) para posterior cálculo da porcentagem de incidência foliar ((NFD/NTF) x 100). A quantificação da severidade iniciou-se quando as plantas de cada tratamento apresentavam 10% de incidência foliar média. Os valores de severidade foram obtidos de folíolos doentes das plantas da amostra (NFD), o que equivale à área sintomática. O somatório da área sintomática ($\sum AS$) de todos os folíolos doentes dividido pelo número total de folíolos (NTF) da amostra resultou na severidade foliar das plantas de cada unidade experimental.

Posteriormente, calculou-se a área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD), obtidas a partir da integração dos valores de severidade no tempo (SHANER & FINNEY, 1977; CAMPBELL & MADDEN, 1990):

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

Onde :

n , o número de avaliações;

y , severidade da doença em um dado momento;

$(t_{i+1} - t_i)$, representam o intervalo de tempo entre as avaliações

2.3 Análises dos dados

As curvas de progresso foram plotadas usando-se os valores de incidência e severidade foliar no tempo. Os resultados obtidos nos diferentes tratamentos (cultivares e épocas) foram submetidos à análise de normalidade dos erros (teste de Shapiro-Wilk e Kolmogorov-Smirnov) e homogeneidade das variâncias (teste de Levene e Cochran). Atendidas as pressuposições, procedeu-se a análise de variância e posterior comparação de médias pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. Adicionalmente, procedeu-se análise de regressão não linear, testando-se os modelos de progresso temporal: Logístico, Monomolecular e de Gompertz (CAMPBELL & MADDEN, 1990). Para ajuste das funções, foi usado o programa estatístico SAS Learning Edition 2.0 (SAS Institute Inc., 2002) e o programa STATISTICA for Windows versão 6.0 (StatSoft, Tulsa, EUA).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As condições climáticas durante a safra 2007/2008 foram favoráveis para o desenvolvimento da cultura da soja, coincidentemente, sendo favorável também para o progresso da ferrugem da soja. A precipitação pluvial ao longo do ciclo da cultura foi 25% superior ao normal, conseqüentemente, aumentando a freqüência de dias com duração de período de molhamento foliar superior a 12 horas, o qual é considerado ótimo para ocorrer infecção do fungo. As precipitações pluviais para cada época de semeadura

acumularam 768, 822 e 889 mm, respectivamente, para a primeira, segunda e terceira época de semeadura. Em relação às temperaturas ocorridas entre novembro/07 à março/08 (Figura 02) caracterizaram-se o período como sendo de clima quente, com temperatura média de 21°C.

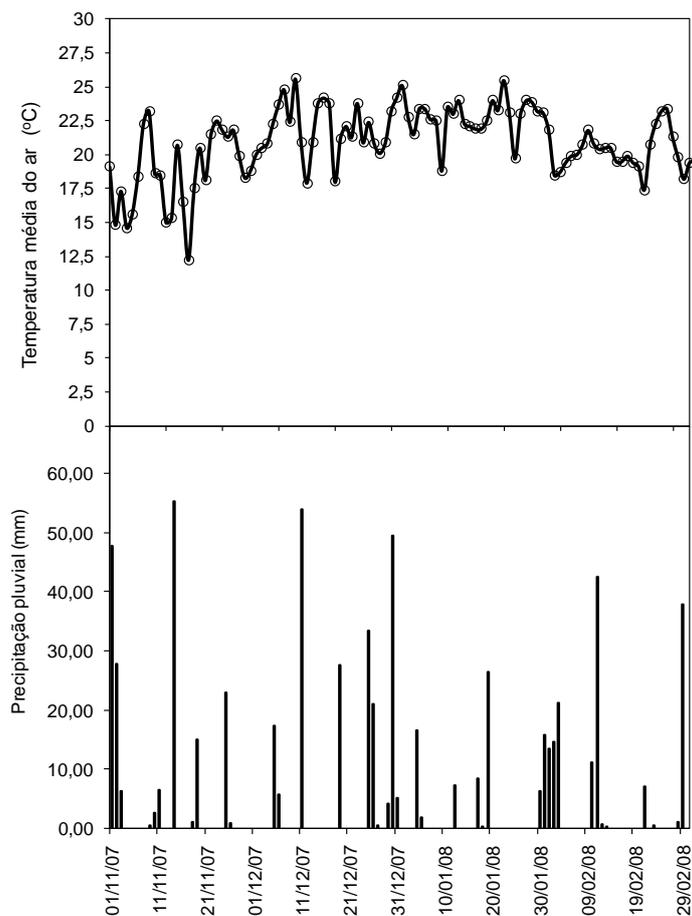


Figura 2 - Precipitação pluviométrica (mm) e temperatura média (°C) do ar; no período de 01/11/07 à 01/03/08 em Passo Fundo - RS.

A ferrugem da soja foi identificada no dia 02/02/2008 na primeira e segunda épocas de semeadura em todas as cultivares

(Tabela 2). Nessa data, as plantas encontravam-se entre os estádios fenológico de oito trifólios (V8) para a primeira época e de enchimento de grãos (R5.3) para a segunda época.

Na terceira época de semeadura (21/12/07) não foi observada a presença de sintomas da ferrugem e sinais do fungo nos folíolos de soja das três cultivares (Tabela 2). Por outro lado, na segunda avaliação realizada no dia 09/02/2008 (Tabela 3), foi observada a presença da ferrugem da soja na terceira época de semeadura, nos três cultivares. Portanto, no aparecimento no dia 02/02/2008 a ferrugem da soja já estava presente nas plantas da terceira época de semeadura, pois o período de latente pode variar de 10 dias 14 dias em regime de temperatura variando de 7 a 17°C, 9 dias no regime de 17 a 27°C e 11 dias no regime de 22 a 32°C (KOCHMAN, 1979). Assim, não foi possível observar os sintomas da ferrugem e sinais do fungo nos folíolos das plantas de soja.

Tabela 2. Incidência foliar (%) da ferrugem da soja no dia 02/02/2008 nas plantas dos três cultivares de ciclos distintos nas três épocas de semeadura. Passo Fundo - RS, 2008

Épocas de Semeadura	Cultivares			Média
	Nidera 4910 RR	Relmó Andrea 66 RR	Munasca RR	
11/11/07	2,2	1,45	1,8	1,85 A
03/12/07	1,6	2,65	1,55	1,9 A
21/12/07	0	0	0	0,0 B
Média ^{ns*}	1,27	1,33	1,16	
CV (%)Parcela	16,17			
Sub-parcela	8,9			

* Não significativo ; ** Médias seguidas da mesma letra maiúscula na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Outro fato de não detectar a ferrugem, nos cultivares da terceira época de semeadura, deve-se ao tamanho da amostra do número de plantas, não ser suficiente para identificar a doença com baixos valores de incidência.

De acordo com Tschanz & Wang (1985), as plantas podem ser infectadas em todas as fases de desenvolvimento da cultura, desde a fase cotiledonar até a maturação, ou seja, enquanto existir disponibilidade de foliar fotossinteticamente ativo.

Tabela 3. Incidência foliar (%) da ferrugem da soja no dia 09/02/2008 nas plantas dos três cultivares de ciclos distintos nas três épocas de semeadura. Passo Fundo - RS, 2008

Épocas de Semeadura	Cultivares			Média ^{ns*}
	Nidera 4910 RR	Relmó Andrea 66 RR	Munasca RR	
11/11/07	4,15	3,85	3,3	3,82
03/12/07	2,7	3,6	2,9	3,06
21/12/07	2,1	2,25	2,7	2,35
Média ^{ns}	3,03	3,23	2,97	
CV (%) Parcela				12,11
Sub-parcela				6,4

* Não significativo

Vale salientar que na primeira época o cultivar Nidera 4910 estava no estágio fenológico R5.3 (50% do enchimento de grãos), por outro lado, na terceira época o cultivar Munasca estava no estágio fenológico V8 (oito trifólios) (Tabela 4).

Bromfield (1976) relata que em Taiwam, a ferrugem da soja foi detectada logo após os 30 dias da semeadura. Casey (1979) realizando experimentos para quantificar danos, relata ter observado epidemias da ferrugem da soja antes do estágio de floração.

Tabela 4. Estádios fenológicos avaliados no aparecimento da ferrugem da soja no dia 02/02/2008 nas plantas dos três cultivares de ciclos distintos nas três épocas de semeadura. Passo Fundo - RS, 2008

Épocas de semeadura	Ciclos das cultivares	Estádios Fenológicos
Época 1 (11/11/2007)	Precoce (Nidera 4910 RR)	R5.3
	Médio (Relmó Andrea 66 RR)	R4
	Tardio (Munasca RR)	R2-R3
Época 2 (03/12/2007)	Precoce (Nidera 4910 RR)	R4
	Médio (Relmó Andrea 66 RR)	R2
	Tardio (Munasca RR)	V9
Época 3 (21/12/2007)	Precoce (Nidera 4910 RR)	R2
	Médio (Relmó Andrea 66 RR)	V9
	Tardio (Munasca RR)	V8

Não houve interação significativa para os fatores, épocas de semeadura x cultivares, portanto, os efeitos dos fatores atuam de forma independente. Analisando o fator, épocas de semeadura observar-se que na terceira época (21/12/2007), os cultivares demonstraram maiores valores de AACPD, independente do ciclo de maturação. Por outro lado, observou-se que o cultivar Nidera 4910 apresentou os maiores valores de AACPD, independente da épocas de semeadura (Tabela 5). A possível explicação destes resultados deve-se a emissão de novos trifólios nas plantas dos cultivares que estavam no estágio vegetativo no momento do aparecimento da doença,

consequentemente diminuindo o valor de severidade em cada avaliação. A mesma hipótese aplica-se aos cultivares que estavam nos estádios reprodutivos, ou seja, não haviam produzidos novos trifólios, portanto, obteve-se maiores valores de severidade. Essa observação está de acordo com Yorinori (2002), o qual relata que o progresso da doença é mais lento nas cultivares tardias do que nas cultivares precoces. Também afirma que o progresso da doença é mais lento na fase vegetativa, atingindo o máximo de doença na fase de enchimento das vagens, pois não há emissão de novos trifólios.

Tabela 5. Área abaixo da curva de progresso da severidade foliar da ferrugem da soja, nas cultivares Nidera 4910, Relmó Andrea 66 e Munasca em três épocas de semeadura. Passo Fundo - RS, 2008

Épocas de Semeadura	AACPD			Média
	Nidera 4910 RR	Relmó Andrea 66 RR	Munasca RR	
11/11/07	1153,5	822,5	788,1	921,4 c
03/12/07	1393,1	1193,2	1226,2	1270,8 b
21/12/07	1846,8	1590,1	1443,5	1626,8 a
Média	A 1464,5	B 1201,9	B 1152,6	
CV (%) Parcela				31,84
Sub- parcela				11,21

* Médias antecedidas por diferentes letras maiúscula na coluna apresentam diferenças significativas pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade de erro;

** Médias antecedidas por diferentes letras minúsculas na linha apresentam diferenças significativas pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade de erro;

O modelo logístico foi o qual se ajustou aos dados de incidência foliar. Além deste fato, os valores dos resíduos do modelo logístico plotados em função dos valores previstos, apresentaram

distribuição menos tendenciosa. Com base neste critério, o modelo logístico foi escolhido e os dados de incidência foliar foram utilizados para obter as taxas de infecção (r) por meio de análise da regressão não-linear, as quais foram utilizadas para comparar as epidemias (Tabela 6).

Os maiores valores de r foram obtidos para a cultivar Nidera 4910, oscilando entre 0,173; 0,221 e 0,261 na primeira, segunda e terceira época, respectivamente. Por outro lado, os menores valores de r foram obtidas para a cultivar Munasca, variando de 0,128; 0,204 e 0,226 (Tabela 6), independente da época de semeadura, provavelmente pelo fato destes cultivares apresentarem maior índice de área foliar em relação as cultivares precoces e também pela maior permanência desses cultivares no campo.

As cultivares Relmó Andrea 66 e Munasca na ocorrência da ferrugem encontravam-se no estágio vegetativo, ou seja, emitindo novos folíolos, aumentando, portanto, a disponibilidade de tecido suscetível, ocorrendo decréscimo nos valores de severidade da doença ao longo das avaliações. De acordo com Alessio (2008), os cultivares precoces apresentam maior dependência da área foliar para obtenção de maiores rendimento.

Deste modo, observou-se que a ocorrência da ferrugem da soja não depende do estágio fenológico da cultura. Portanto, o aparecimento dos primeiros sintomas da doença e sinais do patógeno associam-se com disponibilidade de inóculo e aos fatores climáticos requeridos ao processo infeccioso.

Tabela 6. Resumo das análises de regressão não-linear, para os modelos Logístico, Gompertz e Monomolecular, dados de incidência foliar da ferrugem da soja nas diferentes cultivares e épocas de semeadura. Passo Fundo -RS, 2008

Cultivares	Modelos	Épocas de semeadura											
		11/11/2007				03/12/2007				21/12/2007			
		Y ₀	<i>r</i>	R ^{*2}	QMR	Y ₀	<i>r</i>	R ^{*2}	QMR	Y ₀	<i>r</i>	R ^{*2}	QMR
Nidera 4910	Log	0,028	0,173	0,99	0,007	0,033	0,221	0,99	0,002	0,048	0,261	0,99	0,004
	Gomp	0,054	0,112	0,94	0,022	0,084	0,137	0,91	0,091	0,104	0,131	0,89	0,101
	Mono	0,034	0,092	0,78	0,082	0,114	0,087	0,81	0,129	0,154	0,111	0,84	0,177
Relmó Andrea 66	Log	0,054	0,141	0,98	0,003	0,083	0,209	0,99	0,001	0,167	0,256	0,97	0,009
	Gomp	0,099	0,089	0,88	0,072	0,123	0,173	0,86	0,104	0,214	0,161	0,78	0,093
	Mono	0,089	0,096	0,71	0,191	0,134	0,099	0,75	0,188	0,259	0,127	0,81	0,088
Munasca	Log	0,067	0,128	0,99	0,009	0,074	0,204	0,98	0,005	0,098	0,226	0,98	0,012
	Gomp	0,101	0,112	0,9	0,097	0,127	0,115	0,84	0,098	0,115	0,174	0,87	0,101
	Mono	0,112	0,109	0,68	0,282	0,114	0,091	0,78	0,139	0,106	0,143	0,83	0,177

(a) inóculo inicial (y₀); (b) taxa de infecção (*r*); (c) coeficiente de determinação ajustado (R^{*2}) e quadrado médio dos desvios (QMR)

4 CONCLUSÕES

- A ocorrência da ferrugem da soja não depende do estágio fenológico da planta;
- Cultivares precoce apresentam a maior taxa de progresso da doença ;
- A intensidade da ferrugem é maior em plantas de soja semeaduras mais tardias;
- O aparecimento dos sintomas da ferrugem e sinais do fungo associa-se a disponibilidade de inóculo e com as condições climáticas que ocorrem em cada cultivo.

CAPÍTULO II

COMPARAÇÃO DE SISTEMAS DE AVISO PARA A FERRUGEM DA SOJA

EDER NOVAES MOREIRA¹ & ERLEI MELO REIS²

RESUMO – A ferrugem da soja é a doença foliar mais importante na cultura da soja. Os modelos ou sistemas de aviso de doenças podem ser usados para indicar o momento para aplicação de fungicida. O objetivo deste trabalho foi comparar o desempenho de quatro sistemas de aviso, no aparecimento da ferrugem da soja na região de Passo Fundo - RS. Os experimentos foram conduzidos na Área Experimental da Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da Universidade de Passo Fundo, na safra 2008. Foram comparados os quatros sistemas de aviso: a) Soma dos valores diários de severidade (SVDS), considerando a temperatura média no período de molhamento foliar; b) SVDS modificado, considerando o período de latência do fungo; c) valor diário de infecção (VDI) com base nos dados publicados de Alves, (2007) e d) redes neuronais (RN) usando o método de propagação retroativa do erro. Os dados climáticos foram coletados em estação meteorológica automática, Aura One e testados a cada sistema proposto. Para cada sistema foi usado, a temperatura média no período de molhamento foliar, duração do molhamento foliar,

¹Engenheiro Agrônomo, mestrando do Programa de Pós-graduação em Agronomia da FAMV/UPF, Área de Concentração em Fitopatologia – eder.paulista@gmail.com

²Orientador, Engenheiro Agrônomo, M. Sc., Ph.D., professor da FAMV/PPGAgro/UPF – erleireis@tpo.com.br

precipitação pluvial e umidade relativa do ar. Foram usadas as cultivares Nidera 4910 RR, Relmó Andrea 66 RR e Munasca RR dos respectivos ciclos precoce, médio e tardio. Estes foram semeados em três épocas: 11/11/2007, 03/12/2007 e 21/12/2007. Empregou-se o delineamento experimental de blocos ao acaso em esquema de parcelas subdivididas com três repetições, totalizando em 27 parcelas. As avaliações da ferrugem foram realizadas numa frequência de 8 a 10 dias com base na incidência e na severidade, a partir do estágio V5, coletando-se aleatoriamente cinco plantas por parcela de cada época e cultivar. O aparecimento dos primeiros sintomas da ferrugem ocorreu no dia 02/02/2008. Analisando os sistemas, quanto ao aparecimento da ferrugem da soja, observou-se que o sistema de RN e VDI apresentavam maior acurácia, em relação demais sistemas.

Palavras-chave: *Phakopsora pachyrhizi*, previsão de doenças, redes neurais

**COMPARISON OF WARNING SYSTEMS FOR SOYBEAN
RUST**

EDER NOVAES MOREIRA¹ & ERLEI MELO REIS²

ABSTRACT- Soybean rust is the most important foliar disease of soybean plants. Models or disease warning systems can be used to indicate the time for fungicide application. The aim of this study was to compare the performance of four warning systems on the appearance of soybean rust in the region of Passo Fundo - RS. The experiments were conducted at the Experimental School of Agronomy and Veterinary Medicine, University of Passo Fundo, in the 2008 crop season. We compared the four warning systems: a) Sum of the daily values of severity (SVDS), considering the average temperature during the wetness leaflets b) SVDS modified, considering the latency period of the fungus, c) the daily value of infection (VDI) based on the published data of Alves (2007) and d) neural networks (NN) using the method of backward propagation of error. The climate data was collected from an automatic weather station, Aura One, and tested every system proposed. Each system used the average temperature during the wetness leaflets, leaflets wetness duration, rainfall and relative humidity. The Cultivars Nidera 4910 RR, Reim Andrea 66 RR and Munasca RR with the early, mid and late cycles, respectively used. These cultivars were sown on three dates: 11/11/2007, 12/03/2007 and 12/21/2007. We applied the experimental design of randomized blocks in split plots with three replications, resulting in 27

plots. The evaluations of the rust disease were made at a frequency of 8 to 10 days based on the incidence and severity, from the V5 developmental stage was collected randomly from five plants per plot in each season and cultivar. The first symptoms of rust occurred on 02/02/2008. When the sensitivity of the systems was analyzed, as to the appearance of soybean rust, it was observed that the system of NN and VDI showed accuracy greater, in relation to the other systems.

Keywords: *Phakopsora pachyrhizi*, diseases forecasting, modeling and neural network.

1 INTRODUÇÃO

A ferrugem da soja, causada pelo fungo *Phakopsora pachyrhizi*, é uma doença que pode causar perdas significativas, quando as condições climáticas são favoráveis ao progresso da doença e as medidas de controle não são adotadas.

Na ausência de cultivares comerciais resistentes para a ferrugem da soja, as medidas de controle baseiam-se na aplicação de fungicidas, seguindo o critério baseado no estágio fenológico da soja (R1), o qual não considera a presença ou ausência da doença. As posteriores aplicações são fixas, baseadas no período residual do fungicida, neste caso, não considera as condições favoráveis ao desenvolvimento da doença.

O aumento do número de aplicações de fungicidas na cultura da soja tem onerado o custo de produção, além dos riscos de contaminação dos aplicadores e do meio ambiente, e por fim, maior probabilidade de surgimento de populações resistentes aos grupos químicos.

Tal situação faz com que sejam empregadas alternativas para se efetuar o manejo da ferrugem da soja, sendo uma delas a utilização de sistemas de previsão ou aviso, com objetivo de racionalizar o uso de fungicidas.

Reis (2004) relata que os sistemas de aviso para doenças de plantas, têm por objetivo orientar os agricultores na tomada de decisão quanto ao momento da aplicação de fungicida no controle das doenças.

Os sistemas de aviso têm como base científica, os fatores determinantes de doença, sendo a presença da planta de soja suscetível, o patógeno e do ambiente favorável. Portanto, os sistemas de aviso podem ser obtidos através das variáveis climáticas determinantes de doença (REIS, 2004).

Zadoks & Schein (1979) definiram como período crítico, o tempo no qual os sítios de infecção permanecer continuamente molhados, a uma dada temperatura média do ar, para que se completem as subfases do estabelecimento do patógeno.

A duração do período de molhamento foliar, promovida pela deposição de água sobre as folhas, pelo orvalho, chuva, neblina ou irrigação, é o fator mais importante que influencia a ocorrência de doenças nas plantas (HUBER & GILLESPIE, 1992; KIM *et al.*, 2005). A água na forma líquida sobre o tecido foliar tem importante papel durante vários processos epidemiológicos, afetando principalmente a infecção e a esporulação (HUBER & GILLESPIE, 1992).

Portanto, grande parte dos sistemas prevê a infecção ou o aumento da intensidade da doença, baseando-se em informações relativas ao clima, à cultura, ou ao patógeno. Admitindo-se que os esporos do fungo estejam disponíveis na lavoura ou região.

No caso da ferrugem da soja, o primeiro modelo computacional para simular o desenvolvimento da ferrugem da soja foi o SOYRUST. Este modelo simula o desenvolvimento da doença em função da temperatura e do molhamento foliar, este foi validado com experimentos de campo, demonstrando resultados satisfatórios de

simulação do progresso da doença em diferentes épocas de plantio (YANG, 2006).

Considerando alguns limitações no processo de modelagem matemática tradicional para fornecer respostas em sistemas biológicos e ainda, a limitação na informação da previsão de erro, Batchelor *et al.* (1997), na procura de novas técnicas de modelagem, desenvolveram um modelo de previsão da ferrugem asiática da soja por meio de redes neuronais.

Reis *et al.* (2004) propôs para as condições do Brasil, um sistema de aviso para a ferrugem da soja, fundamentado no modelo climático, o qual foi validado em diferentes regiões. O modelo indica o momento da ocorrência da ferrugem baseando-se nos valores diários de probabilidade de infecção (VDS), dos dados publicados por Melching *et al.* (1989).

Com base nestes fatos, o presente trabalho teve como objetivo comparar o desempenho de quatro sistemas de aviso, na ocorrência da ferrugem da soja na região de Passo Fundo, RS. Foram comparados os sistemas: a) soma dos valores diários de severidade (SVDS), considerando a temperatura média no período de molhamento foliar; b) SVDS modificado, considerando o período de latência do fungo; c) valor diário de infecção (VDI) e d) redes neuronais (RN) usando o método backpropagation.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Local, coleta de dados e descrição dos experimentos

O trabalho foi conduzido na área experimental da Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da Universidade de Passo Fundo - FAMV/UPF, em Passo Fundo, RS (latitude: 28°15' S, longitude: 52° 24' W e altitude de 684 m).

Para este experimento foi usada a cultivar Reimó Andrea 66 RR, a qual foi semeada no dia 03/12/2007. Durante o ciclo da cultura foram registrados e armazenados os dados climáticos com uma estação meteorológica automática modelo Aura One, a qual foi instalada dentro das unidades experimentais, quando as plantas de soja estavam no estágio V4. Também foram usados dados da safra 2006 e 2007 para compor o banco de dados. Os dados foram registrados a cada de 15 minutos, para as 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. Os tratos culturais adotados para a condução do experimento seguiram as recomendações para a cultura da soja (RECOMENDAÇÕES, 2007).

As avaliações foram realizadas de 8 a 10 dias, iniciando em V4, coletando-se cinco plantas por unidade experimental,

quantificando-se a intensidade de ferrugem, a partir da infecção natural.

2.2 Sistemas de aviso usados

Foram avaliados e simulados quatro sistemas de aviso, para descrever a ocorrência da ferrugem da soja na região de Passo Fundo, RS.

2.2.1 Soma dos valores diários de severidade (SVDS), considerando a temperatura média no período de molhamento foliar

Com base no trabalho de Reis *et al.* (2004) o qual propôs uma tabela de períodos críticos para a ferrugem da soja, fundamentada no trabalho de Melching *et al.* (1989). Foram obtidos os dados e elaborado uma tabela de dupla entrada, contemplando as interações entre a temperatura e duração do molhamento foliar na intensidade da ferrugem da soja (Tabela 1). A elaboração deste tipo de tabela de períodos críticos foi proposta por Madden *et al.* (1978), no sistema de previsão FAST para pinta preta do tomateiro. Os autores estabeleceram quatro classes de temperatura e atribuíram cinco valores arbitrários, variando de 0 a 4 correspondentes aos valores diários de severidade (VDS) indicando uma probabilidade diária.

Tabela 1. Interações entre temperatura (°C) e duração do molhamento foliar (horas), com diferentes valores diários de severidade (VDS) da ferrugem da soja.

Temperatura (°C)	Valores diários de severidade (VDS)			
	0	1	2	3
9-14	< 11	11-14	> 14	-
15-19	< 7	7-13	14-17	> 17
20-24	< 7	7-10	11-17	> 17
25-29	< 7	7-11	12-18	> 18

VDPI: 0 = ausência de lesões;

1 = 0,1 a 3 cm²;

2 = 3,1 a 6 cm²;

3 = 6,1 a 9 cm².

Fonte: Reis, *et al.* (2004)

De acordo com a proposta de Rotem, (1978) a qual sugere que, quando as limitações de desfavorabilidade impostas por um fator podem ser compensadas pela alta favorabilidade de outro fator essencial para o desenvolvimento no processo de infecção e demais fases do ciclo biológico do patógeno (ROTEM, 1978). Portanto, para o desenvolvimento deste sistema, foram consideradas as temperaturas médias durante o período de molhamento foliar, como fator essencial para a ocorrência da doença.

2.2.2 Soma dos valores diários de severidade (SVDS) modificado, considerando o período de latência do fungo

Neste sistema foram usados os mesmos parâmetros do sistema anterior, no entanto, considerando as condições climáticas nos últimos

nove dias, que condiz ao período médio de latência do fungo, de acordo com Kochman, (1979).

2.2.3 Valor diário de infecção (VDI)

Para este sistema foi elaborada a tabela de períodos críticos com base no trabalho de Alves (2007).

Tabela 2. Interações entre temperatura (°C) e duração do molhamento foliar (horas), valores diários de infecção (VDI) da ferrugem da soja.

Temperatura	Valores diários de infecção				
	0	1	2	3	4
Horas de molhamento					
10 – 12	< 4	5 – 10	> 11	--	--
13 – 15	< 4	5 – 6	7 -- 12	> 13	--
16 – 18	< 4	5 – 6	7 – 9	10—14	> 15
19 – 21	< 4	5 – 6	7 – 8	9—12	> 13
22 – 24	< 4	5 – 6	7 – 9	10—14	> 15
25 – 27	< 4	5 – 6	7 -- 10	11—19	> 20
28 – 30	< 4	5 – 8	> 9	--	--

VDI: 0 = ausência de lesões;

1 = 0,1 a 5 cm⁻²;

2 = 5,1 a 20 cm⁻²;

3 = 20,1 a 35 cm⁻²;

4 = > 35 cm⁻².

2.2.4 Redes neuronais (RN) usando o método de propagação retroativa do erro

Organizou-se uma estrutura da rede neuronal para o processamento de dados, sendo uma rede com três camadas e três neurônios. Testou-se a combinação e interação destes neurônios na busca da estrutura que tivesse o menor erro de previsão.

Esses dados foram processados usando-se o programa MATLAB, versão 4.0, na ferramenta Neural Network Toolbox, versão 3.0. Usou-se o método de propagação retroativa do erro (backpropagation). Os pesos sinápticos foram gerados aleatoriamente, usando a função de ativação sigmoideal.

Os dados usando na entrada foram à temperatura média no período de molhamento e a duração do molhamento foliar. Foram usados dados climáticos das safras 2006 e 2007 para treinar as redes e os dados da safra 2008 para simular. Sendo que 80% dos dados foram usados para treinamento das redes e 20% para validação do modelo. A partir da saída foi calculado o erro médio de predição, o qual representa a diferença entre o valor observado e o esperado. O método de propagação retroativa do erro consiste, em reduzir continuamente o erro até uma convergência aceitável. Geralmente esta convergência é alcançada com o ajuste dos pesos entre as conexões dos neurônios.

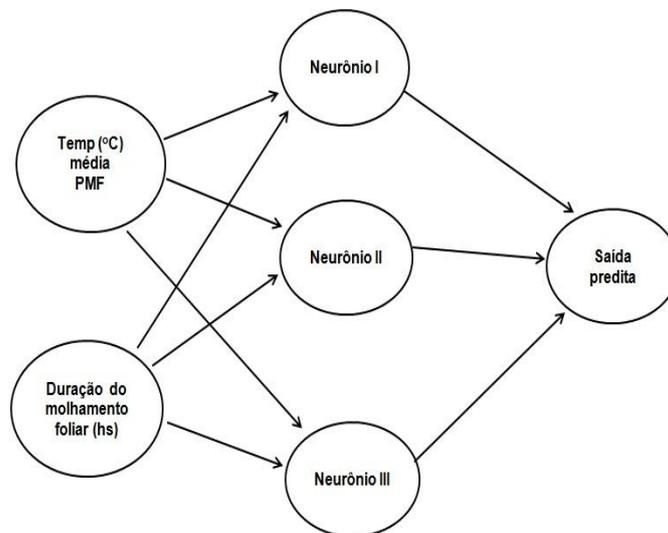


Figura 1. Estrutura genérica da rede neuronal usada.

2.3 Medidas de Erro de previsão

Para se avaliar o desempenho dos sistemas de aviso, usou-se uma medida de erro de previsão, a fim de identificar qual dos quatro sistemas apresentaria maior acurácia em prever a possível ocorrência da ferrugem da soja na safra 2008.

Diversos métodos e índices podem ser usados para estimar o erro de previsão, sendo eles: a comparação gráfica, diagramas de dispersão, coeficiente de correlação, erro quadrático acumulado, erro médio quadrático, raiz do erro médio quadrático, erro percentual médio absoluto, entre outros. Neste trabalho foi usada a raiz do erro médio quadrático (RMSE), sendo um índice ou medida de exatidão da previsão em valores absolutos ou relativos, quanto menor o valor calculado, melhor a previsão do sistema.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Durante a safra 2008, foram registrados vários períodos críticos que favorecem o processo de infecção da ferrugem da soja, no entanto, a doença foi diagnosticada a campo dia 02/02/2008. As principais variáveis climáticas que favoreceram o processo de infecção e posterior ocorrência da doença foram a temperatura média no período de molhamento foliar (TMPMF) e a duração do molhamento foliar (DMF). De acordo com as observações realizadas por Melching *et al.* (1989), temperatura entre 18 e 26,5°C são favoráveis ao processo de infecção de *P. pachyrhizi*. Entretanto, em observações realizadas por Pivonia & Yang, (2006) a campo, sugerem que a probabilidade de infecção é maior após o pôr-do-sol e ao amanhecer, pois umidade relativa e a duração do período de molhamento foliar são maiores no período noturno.

Foram registradas valores de TMPMF variando de 12,5 a 20,5°C (Figura 2 a e b). Em relação DPM, todos os dias após V4 foram registrados valores de molhamento foliar, atingindo 26 horas contínuas.

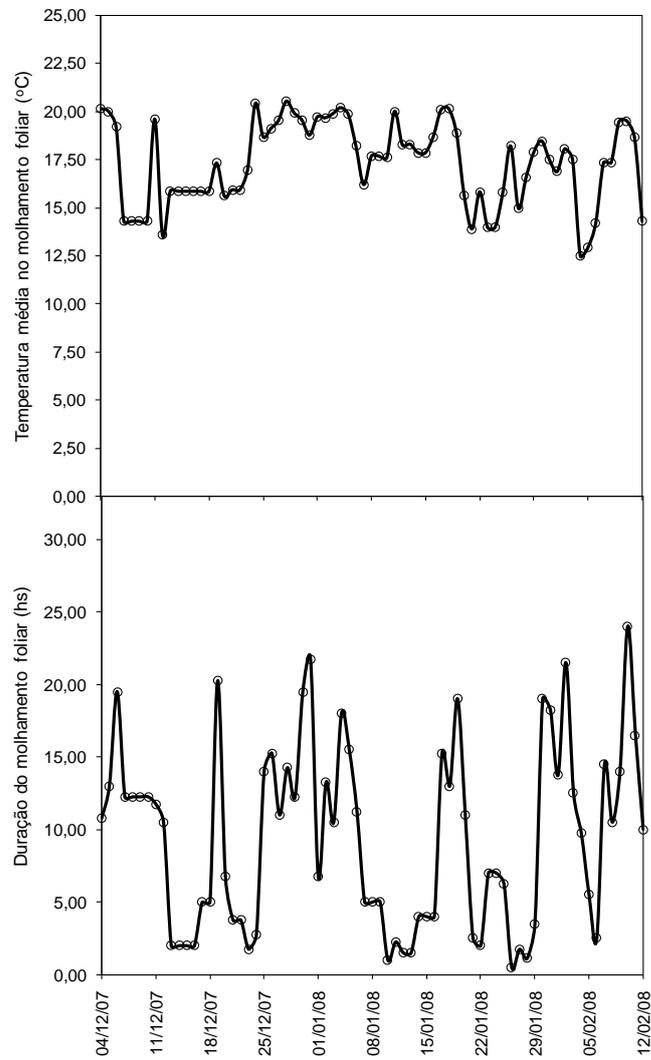


Figura 2. Temperatura média no período de molhamento foliar (°C), duração do molhamento foliar (hs) no período de 01/12/2007 à 15/02/2008 em Passo Fundo, RS.

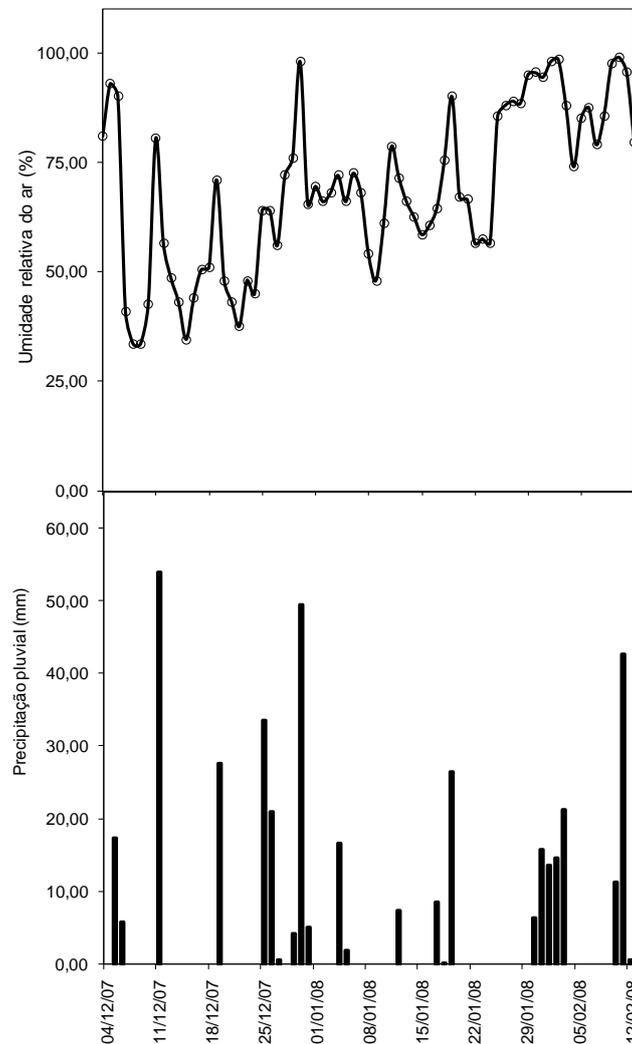


Figura 3. Umidade relativa do ar (%) e precipitação pluvial (mm); no período de 01/12/2007 à 15/02/2008 em Passo Fundo, RS.

Analisando os sistemas de aviso, estimou-se uma variação de 68% entre os sistemas e durante a validação, desvios (valor observado - valor predito) com amplitude de 34%.

As variações dos valores RMSE na tabela 3, entre os sistemas, demonstram falta de exatidão em relação aos valores

relativos. Possivelmente outras variáveis deveriam ser analisadas, a fim de minimizar o erro de previsão.

Tabela 3. Valores da raiz do erro médio quadrático (RMSE) para a variável temperatura média no período de molhamento foliar e período de molhamento fôliar, nos diferentes sistemas de aviso. Passo Fundo, RS, safra 2008.

Sistemas de aviso	Raiz do erro médio quadrático	
	Temperatura média PMF	PMF ¹
1. SVDS	6,01	5,67
2. SVDS modificado	5,44	5,56
3. VDI	4,84	4,72
4. RN	3,13	3,02

¹ Período de molhamento foliar

O sistema RN apresentou os menores valores RMSE para as duas variáveis analisadas, portanto, foi considerado o sistema que melhor estimou a ocorrência da ferrugem da soja. Batchelor *et al.* (1997), sugeriram o potencial de uso de redes neurais na previsão de ferrugem asiática, sendo que os resultados obtidos foram superiores aos modelos regressão linear.

Entre os sistemas, dos quais usam tabelas de períodos críticos, o sistema VDI obteve os menores valores de RMSE, portanto, superior entre estes sistemas.

Na figura 3 estão representados os valores preditos pelos sistemas SVDS, SVDS modificado, VDI e RN no período até a ocorrência da ferrugem da soja.

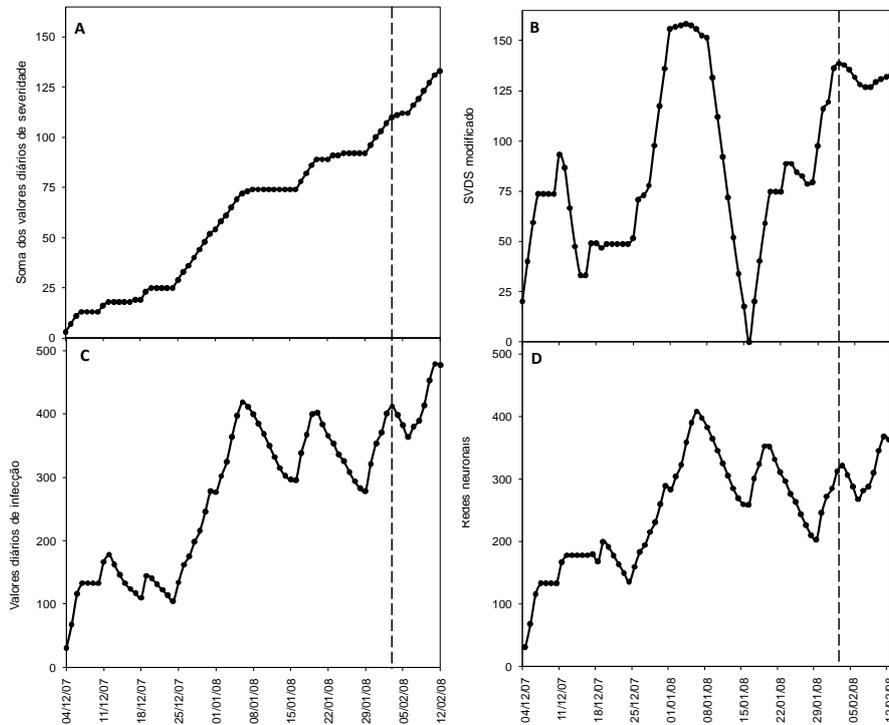


Figura 4. Validação e simulação dos sistemas de aviso, na ocorrência da ferrugem da soja. Passo Fundo, RS, safra 2008.

O sistema SVDS (Figura 3a) não demonstrou entendimento biológico, porque mesmo em condições desfavoráveis os valores de SVDS sempre aumentam. Já o sistema de SVDS modificado apresenta uma correção, considerando apenas os períodos críticos ocorridos nos últimos nove dias.

Portanto, conclui-se que o sistema RN apresentou maior acurácia para identificar a ocorrência da ferrugem, quando comparado aos demais sistemas.

4 CONCLUSÕES

- O sistema de valor diário de infecção e redes neuronais permitiu detectar a ocorrência da ferrugem da soja nas condições estudadas;
- Os sistemas testados apresentaram diferentes performances, necessitando serem testados em outras regiões e vários anos;
- A técnica de redes de neuronais apresenta potencial de uso, no entanto, devem ser validadas por varias safras e também outras regiões, a fim de minimizar os erros de previsão;
- As variáveis TMPMF e PMF usadas para simular e validar os sistemas, não foram suficientes para determinar a ocorrência da ferrugem da soja.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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: 05 dez. 2008.

AKAMATSU, M.A.; BARRETO, M.; AKAMATSU, R. Detecção e distinção de *Phakopsora pachyrhizi* e *P. meibomia* em amostras do herbário uredinológico do Instituto Biológico. Fitopatologia Brasileira, Brasília, v. 29, n. 4, p. 277-278, 2004.

ALESSIO, D. Momentos e número de aplicações de fungicidas e seu efeito sobre a duração da área foliar e o rendimento de grãos em soja. 2008. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Fitopatologia) – Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, RS, 2008.

ALVES, S. A. M. Quantificação de parâmetros da pré-penetração e monocíclicos relacionados ao patossistema *Phakopsora pachyrhizi* – soja. 2007. Tese (Doutorado em Agronomia/Fitopatologia) – Escola Superior de Agronomia “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.

ALVES, S.A.M., FURTADO, G.Q., BERGAMIN FILHO, A. Influência das condições climáticas sobre a ferrugem da soja. In: Zambolim L. (Ed.) Ferrugem asiática da soja. Viçosa MG. Suprema Gráfica e Editora. pp. 37-59., 2006.

ARIAS, C.A.A., RIBEIRO, A.S., YORINORI, J.T., BROGIN, R.L., OLIVEIRA, M.F. & TOLEDO, J.F.F. Inheritance of resistance of soybean to rust (*Phakospora pachyrhizi* Sidow). In: VII WORLD SOYBEAN RESEARCH CONFERENCE, 2004, Foz do Iguaçu. Anais... Foz do Iguaçu: Embrapa, 2004, p.100.

ARTHUR, J. C. Uredinales of Porto Rico based on collections by H. H. Whetzel and E. W. Olive. Mycologia 9 : 55-104. 1917.

AZEVEDO, L.A.S.; JULIATTI, F.C.; BARRETO, M. Resistência de genótipos de soja à *Phakopsora pachyrhizi*. Summa Phytopathologica, v.33, n.3, p.252- 257, 2007.

BAIER, W. Note on the terminology of crop-weather models. Agricultural Meteorology, Amsterdã, v.20, n.2, p.137-145, 1979.

BAKER, C. F. The lower fungi of the Philippine Islands, Bibliographic list chronologically arranged, and with localities and hosts. Leaflets. Philippine Bot. 6:2065-2190. 1914

BALARDIN, R. S.; NAVARINI, L.; DALL'AGNOL, L. J. Relato da ferrugem asiática no Estado do Rio Grande do Sul, In: JULIATTI, F. C.; POLIZEL, A. C.; HAMAWAKI, O. T. I. Workshop Brasileiro sobre a Ferrugem Asiática, Uberlândia, 2005. Uberlândia: EDUFU, 2005.

BARROS, A.H.C. Análise de crescimento, do desenvolvimento e da produtividade da cultura da cultura do milho (*Zea mays* L.): Experimentos e modelos. 1998. 85p. Dissertação de (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1998.

BATCHELOR, W. D.; YANG, X. B. & TSCHANZ, A. T. Development of a neural network for soybean rust epidemics. *American Society of Agricultural Engineers*, v.40, p.247-252, 1997.

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

BERGAMIN FILHO, A. & AMORIM, L. Doenças de Plantas tropicais: Epidemiologia e controle econômico. São Paulo: Editora Agronômica Ceres, 1996.

BOEDIJIN, K. B. The Uredinales of Indonesia. *Nova Hedwigia* 1:463-496, 1959.

BONDE, M. R.; MELCHING, J. S.; BROMFIELD, K.R. Histology of the susceptible pathogen relationship between *Glycine max* and *Phakopsora pachyrhizi*, the cause of soybean rust. *Phytopathology*, v.66, p.1290-1294, 1976.

BONDE, M.R.; NESTER, S.E.; AUSTIM, C.N.; STONE, C.L.; FREDERICK, R.D. Evaluation of virulence of *Phakopsora pachyrhizi* and *P. meibomia* isolates. *Plant Disease*, Saint Paul, v.78, p.706-716, 2006.

BONETTI, L. P. Distribuição da soja no mundo. In: MIYASAKA, S.; MEDINA, J.C. (Ed.). *A soja no Brasil*. Campinas: ITAL, 1977. p. 1-6.

BRAGA, A. B.; CARVALHO, A. C. P. L. F.; LUDERMIR, T. B. *Redes Neurais Artificiais: Teoria e Aplicações*. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 2000. 262p.

BROMFIELD, K.R. World soybean rust situation. In: Hill, L.D. *WORLD SOYBEAN RESEARCH CONFERENCE*, Danville. *Proceedings...* The Interstate Printers and Publishers, 1976. p. 491-500.

BROMFIELD, K.R. Differential reaction of some soybean accessions to *Phakopsora pachyrhizi*. *Soybean Rust News*, n.4, p. 2, 1981.

CAIXETA FILHO, J.V. *Pesquisa operacional: Técnicas de otimização aplicadas a sistemas agroindustriais*. São Paulo: Atlas, 2001. 171p.

CÂMARA, G. M. S. Desempenho produtivo dos cultivares de soja IAC-17, IAC-12 e IAC-19, semeados em três épocas de semeadura e em cinco densidades de plantas. Piracicaba, 1998a. 165 p. Tese (Livre-Docência) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.

CAMPBELL, C.L. & MADDEN, L.V. Introduction to Plant Disease Epidemiology. New York. John Wiley & Sons. 1990, 532p.

CASA, R. T. & REIS, E. M. Doenças relacionadas à germinação, emergência e estabelecimento de plântulas de soja em semeadura direta. In: Erlei Melo Reis. (Org.). Doenças na cultura da soja. Passo Fundo: Aldeia Norte Editora Ltda, 2004, v. I, p. 21-32.

CASEY, P. S. The epidemiology of soybean rust *Phakopsora pachyrhizi* (Ph.D. Thesis). University of Sydney, Australia, 1979.

CASSETARI NETO, D. Comparação do grau de suscetibilidade a *Phakopsora pachyrhizi* H. & P. Sydow, entre espécies de leguminosas. ESAL - Lavras, MG, 1984. 46 p. (Dissertação de Mestrado).

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. Safras-grãos. Brasília, DF. Disponível em: <www.conab.gov.br/conbweb/download/safra> Acesso em: 10 jan. 2009.

COSTAMILAN, L.M. BERTAGNOLLI, P. F. & YORINORI, J. T. Perda de rendimento de grãos de soja causada pela ferrugem asiática (*Phakopsora pachyrhizi*). Fitopatologia Brasileira 27: 100. 2002. (Suplemento).

CUMMINS, G. B. Uredinales of New Guinea III. Mycologia 33:144. 1941.

CUMMINS, G. B. Descriptions of tropical rusts, 6. Bull. Torrey Bot. 70:68-81. 1943.

CUMMINS, G. B. Uredinales of Continental China Collected by S. Y. Cheo. Mycologia 42:779-797. 1950.

D'UTRA, G. Soja. Jornal do Agricultor, Rio de Janeiro, 4 (7): 185-88. 16 Set., 1882.

De WIT, C.T. Simulation for assimilation, respiration, and transpiration of crops, Wageningen: A Halsted Press book. John Wiley, 1978. 140p.

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.

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

EMBRAPA SOJA – Embrapa sistemas de produção 4, Tecnologia de produção de soja – Região Central do Brasil. Londrina, 2003. 237p.

EMBRAPA SOJA. Tecnologias de Produção de Soja, Paraná, 2007. Londrina, 2006. 220p. Disponível em: <www.cnpso.embrapa.br>. Acesso em: 21 mar. 2008.

FORMENTO, A. N., de SOUZA J.. & VICENTIN, I. G. Field Survey of *Phakopsora pachyrhizi* of Several Hosts in Argentina. Proceedings of National Soybean Rust Symposium. Nov. 14-16. Nashville.TN. 2005.

FREDERICK, R.D.; SNYDER, C.L.; PETERSON, G.L.; BONDE, M.R. Polimerase chain reaction assays for the detection and discrimination of the soybean rust pathogens *Phakopsora pachyrhizi* and *P. meibomia*. Phytopathology, Lancaster, v. 92, p. 217-227, 2002.

FURTADO, G. Q. Ferrugem asiática da soja: métodos de preservação dos uredinosporos e fatores relacionados à infecção do hospedeiro. 2007. Tese (Doutorado em Agronomia/Fitopatologia) – Escola Superior de Agronomia “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.

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*, 2008.

GODOY, C. V.; KOGA, L. J.; CANTERI, M .G. Diagrammatic scale for assessment of soybean rust severity. *Fitopatologia Brasileira*, v.31, p.63- 68, 2006.

GODOY, C.V. Prejuízo com ferrugem da soja: estável nesta safra. Disponível em : <<http://agrolink.com.br/artigostécnicos.htm>>. Acesso em: 18 setembro. 2007.

GREEN, A. Soybean Rust. Pests Not Known to Occur in the United States or of Limited Distribution. USDA-APHIS-PPQ. N.56, 1984.

HARTWIG, E.E. Identification of a fourth major genes conferring to rust in soybeans. *Crop Science* . Londrina, n. 26, p. 1135-1136, 1986.

HAYKIN, S. Redes Neurais – Princípios e Prática. Tradução: Paulo Martins Engel. 2 ed. Porto Alegre: Editora Bookman, 2001. 900p.

HENNINGS, P. Some new Japanese Uredinales. Parte IV. *Hedwigia* (Suppl.) German.: 42:107-108. 1903.

HEWITT, H. G. Fungicides in Crop Protection. Cambrigde: CAB International, 1998. Chapter 4. Fungicide performance. p. 87- 153.

HIRATSUKA, N. & YOSHINAGA, T. Uredinales of Shikoku, Japan. Agr.Coll. Mem. 3:249-377. 1935.

HIRATSUKA, N. Notes on soybean rust. Trans. Biol. Soc. Tottori 1:8-11. (In Japanese). 1932.

HIRATSUKA, N. Uredinales collected in Kuska (Japan) III. J. Japan Bot. 12:265-272. 1936.

HUBER, L.; GISLLESPIE, T. J. Modelling leaf wetness in relation to plant disease epidemiology. Annual Review of Phytopathology, v.30, p.553- 557, 1992.

ISARD, S.A., DUFAULT, N.S., MILES, M.R., HARTMAN, G.L., RUSSO, J.M., DE WOLF, E.D., MOREL, W. The effect of solar irradiance on the mortality of *Phakopsora pachyrhizi* urediniospores. Plant Disease 90:941-945, 2006.

KEOGH, R.C. Studies on *Phakopsora pachyrhizi* Syd.: The causal agent of soybean rust. Sydney, Australia, University of Sydney, 1974. 94 p. (Dissertação de Mestrado).

KERN, F. D. & THURSTON, H. W. JR. Additions to the Uredinales of Venezuela, II. Mycologia 35:434-445. 1943.

KHARE, M. N & BHALE, M. S (2000) Soybean Rust : Present Scenario and Future Strategies, pp. 363-373. In: Mukerji, K.G., Chamola, B.P. & Sharma, A.K. (Editores.). Glimpses in Botany. A.P. H. New Delhi, India.

KIM, K. S.; TAYLOR, S. E.; GLEASON, M. L.; VILLALOBOS, R.; ARAUZ, L. F. Estimation of leaf wetness duration using empirical models in northwestern Costa Rica. *Agricultural and Forest Meteorology*, Amsterdam, v.129, p. 53-67, 2005.

KITANI, K.; INOUE, Y. Studies on soybean rust and its control measure. Part 1. Studies on the soybean rust. *Bulletin of the Shikoku Agricultural Experiment Station, Zentsuju-Shi*, v. 5, p. 319-342, 1960.

KOCH, E.; EBRAHIM-NESBAT, F.; HOPPE, H.H. Light and electron microscopic studies on the development of soybean rust (*Phakopsora pachyrhizi* Syd.) in susceptible soybean leaves. *Phytopathologische Zeitschrift*, Hamburg, v.106, p.302-320, 1983.

KOCHMAN, J.K. The effect of temperature on development of soybean rust (*Phakopsora pachyrhizi*). *Australian Journal of Agricultural Research*, Victoria, v. 30, p. 273-277, 1979.

LAUNDON, G.F. 1965. The generic names of uredinales. *Mycol. Pap.* 99: 1- 22.

LEVY, C. Z. A country report on soybean rust control, In: WORLD SOYBEAN RESEARCH CONFERENCE, 7.; INTERNATIONAL SOYBEAN PROCESSING AND UTILIZATION CONFERENCE, 4.; CONGRESSO BRASILEIRO DE SOJA, 3., 2004, Foz do Iguaçu. Proceedings ... Londrina: Embrapa Soja, 2004. p. 340-348.

LIMA, G. M. M. Importância da qualidade nutricional da soja e de seus subprodutos no mercado de rações: situação atual e perspectivas futuras. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SOJA, 1999. Londrina. Anais... Londrina: Fund. CARGILL, 1999. p.165.

LYNCH, T. N.; MAROIS, J. J.; WRIGHT, D. L.; HARMON, P. F.; HAMON, C. L.; MILES, M. R.; HARTMAN, G. L. First report of soybean rust caused by *Phakopsora pachyrhizi* on *Phaseolus* spp. In the United States. Plant Disease, v.90, p.970, 2006.

MADDEN, L.V., PENNYPACKER, S.P. & MACNAB, A.A. FAST a forecast system for *Alternaria solani* on tomato. Phytopathology 68:1354-1358. 1978.

MAGALHÃES, C. M. Introdução e evolução da soja no Brasil. 2. No estado do Rio Grande do Sul. In: MIYASAKA, S. & MEDINA, J. C. A soja no Brasil. Campinas, ITAL, 1981. p.18-20.

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

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

MELCHING, J.S.; DOWLER, W.M.; KOOGLE, D.L.; ROYER, M.H. Effect of plant age on susceptibility of soybean to soybean rust. *Canadian Journal of Plant Pathology, Ontario*, v.10, n. 10, p.30-35, 1988.

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* 73:117-122. 1989.

MILES, M. R.; LEVY, C.; MOREL, W.; MUELLER, T.; STEINLAGE, T.; VAN RIJ, N.; FREDERICK, R. D.& HARTMAN, G. L. Internacional Fungicide Efficacy Trials for the Managment of Soybean Rust. *Plant Disease*, v. 91, p. 1450-1458, 2007.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. Brasil e Agronegócio. Brasília, DF. 2008. Disponível em <http://www.agricultura.gov.br/> . Acesso em: 02 nov. 2008.

MONTEITH, J. L.; BUTLER, D. R. Dew end thermal lag: a model for cocoa pods. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, v.105, p.207-215, 1979.

MORCELI, T. G. S. Desenvolvimento de marcador molecular para a resistência à ferrugem em soja. 2008. Tese (Doutorado em Agronomia/ Genética e Melhoramento de Plantas) – Unesp - Jaboticabal, 2008.

MOREL, W. Roya de la soja. Itapúa: Paraguay. Ministerio de Agricultura y Ganaderia. Subsecretaria de Agricultura, Dirección de Investigación Agrícola. Centro de Investigación Agrícola (CRIA) Capitan Miranda. Comunicado técnico: Reporte oficial. Serie Fitopatologica nº1, 2001.

MYASAKA, S. & MEDINA, J. C. Introdução e evolução da soja no Brasil. 5. No estado de São Paulo. In: MIYASAKA, S. & MEDINA, J. C. A soja no Brasil. Campinas, ITAL, p.24-6.1981

NAVARRO, J.C.; NAKASATO, R.; UTIAMADA, C.M.; YORINORI, J.T. First report of "asian" Soybean rust in Bolivia. In: WORLD SOYBEAN RESEARCH CONFERENCE, 7.;

INTERNATIONAL SOYBEAN PROCESSING AND UTILIZATION CONFERENCE, 4.; CONGRESSO BRASILEIRO DE SOJA, 3., 2004, Foz do Iguaçu. Proceedings ... Londrina: Embrapa Soja, 2004. p. 85-86. (Embrapa Soja. Documentos, 228).

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

ONO, Y.; BURITICÁ, P. ; HENNEN, J.F. Delimitation of *Phakopsora*, *Physopella* and *Cerotelium* and their species on Leguminosae. *Mycological Research*, Cambridge, v.96, p.825- 850, 1992.

PARRA, J.R.P. Editorial. Visão Agrícola: soja. Piracicaba, v.5, p.60-62, jan. 2006.

PAUSTIAN, R.; PARTON W.J.; PERSSON J. Modeling soil organic matter in organic-amended and nitrogen-fertilized long-term plots. *Soil Science Society America Journal*, Madison, v.56, p.476-488, 1992.

PEDRO JÚNIOR, M. J.; GILLESPIE, T. J. Estimating dew duration. I-Utilizing micrometeorological data. *Agricultural Meteorology*, v.25, p.283-296, 1982 A.

PEDRO JÚNIOR, M.; GILLESPIE, T. J. Estimating dew duration. II- Utilizing standard weather station data. *Agricultural Meteorology*, v.25, p.297-310, 1982 A.

PESSOA, M.C.P.Y.; LUCHIARI JUNIOR, A.; FERNANDES, E.N.; LIMA, M.A. Principais modelos matemáticos e simuladores utilizados para a análise de impactos ambientais das atividades agrícolas. Brasília, EMBRAPA, 1997, 44p.

PIVONIA, S.; YANG, X. B. Assessment of the potencial year-round establishment of soybean rust throughout the world. *Plant Disease*, v.88,p.523-529, 2004.

PIVONIA, S.; YANG, X. B. Assessment of epidemic potential of soybean rust in the United States. *Plant Disease*, v.89, p.678-682, 2005.

POLIZEL, A. Identificação de novos marcadores ligados ao gene de resistência à ferrugem asiática da soja na cultivar 'FT-2'. Monografia, Fundação Faculdades Luís Meneghel, Bandeirantes, 51p., 2005.

RAO, P. S.; GILLESPIE, T. J.; SCHAAFSMA, A. W. Estimating wetness duration on maize ears from meteorological observations. *Canadian Journal Plant Science*. v.78, p.149-154, 1998.

RECOMENDAÇÕES. Reunião de Pesquisa de Soja da Região Sul, 35, 2007, Santa Maria, RS. Indicações Técnicas para a Cultura da Soja

no Rio Grande do Sul e em Santa Catarina 2007/2008. Santa Maria: Orium, 2007. 168 p.

REINKING, O. A. Host index of diseases of economic plants in the Philippines. *Philippines Agr.* 8:38-54, 1919.

REIS, E.M. Doenças do Trigo V: Ferrugens. São Paulo, 1991. 20p.

REIS, E. M.; CASA, R. T.; MICHEL, C. Ocorrência de epidemia da ferrugem da soja no Rio Grande do Sul na safra 2001/2002. *Fitopatologia brasileira* 27:198-199 (Suplemento). 2002.

REIS, E. M.; SARTORI A. F.; CAMARA, R. K. Modelo climático para a previsão da ferrugem da soja. *Summa Phytopathologica*, 30:290-92, 2004.

REIS, E. M. Previsão de doenças de plantas. Passo Fundo: Editora Universidade de Passo Fundo. 2004 . 316p.

REIS, E. M. & CARMONA, M. La roya de la soja. Buenos Aires, Argentina, p.1-20, 2005.

REIS, E. M.; BRESOLIN, A. C. R. ; CARMONA, M. . Doenças da soja I : Ferrugem asiática. 1. ed. Passo Fundo: Editora Universidade de Passo Fundo, 2006. v. I. 48 p.

REIS, E. M. & CASA, R. T. Doenças dos cereais de inverno: diagnose, epidemiologia e controle. 2. ed. Lages: GrapheI, 2007. v. 1. 176 p.

REIS, E. M. ; FORCELINI, C .A. ; BRESOLIN, A. C. R. . Manual de fungicidas: Guia para o controle químico de doenças de plantas. 5. ed. Passo Fundo: Editora Universidade de Passo Fundo, 2007. v. I. 153 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. 20p. (Special Report, 53).

ROTEM, J. Climatic and weather influences on epidemics. In Plant Disease an Advanced Treatise. How Disease Develops in Populations (Vol. II). Horsfall, J.G. & Cowling, E.B., ed. Academic Press, New York. 1978.

ROURE, L.A. The rusts of Puerto Rico. University of Puerto Rico Agricultural Experiment Station Technical Paper No. 35, 1–145, 1963.

SAKSIRIRAT, W. & HOPPE, H. H. Teliospore germination of soybean rust fungus (*Phakopsora pachyrhizi*). Journal of Phytopathology, Berlin, v.132, n.2, p.339-342, 1991.

SAS Institute Inc. SAS[®]. Learning Edition 2.0. Cary, NC, 2004. 86p.

SATO, T. & SATO, S. Infective ability of soybean rust to several leguminous plants. Soybean Rust Newsletter, 5 (1):22-6, 1982.

SAWADA, K. Materials of the Formosan Fungi (28) Formosa Nao. Hist. Soc. Trans. 21:227-235. Japanese text. 1931.

SCHAFER, J.F. Tolerance to plant disease. Annual Review of Phytopathology, Palo Alto, v.8, p.235-252, 1970.

SCHNEIDER, R.W., HOLIER, C.A., WHITAM, H.K., PALM, M.E., MCKEMY, J.M., HERNANDEZ, J.R., LEVY, L. & DEVRIES-PATERSON, R. First Report of Soybean Rust Caused by *Phakopsora pachyrhizi* in the Continental United States. Sain Paul Plant Disease 89:774. 2005.

SENTELHAS, P. C. Duração do Período de molhamento foliar: Aspectos operacionais da sua medida, variabilidade espacial em diferentes culturas e sua estimativa a partir do modelo de Penman Monteith. 2004. 161 f. Tese. (Livre Docência em Agrometeorologia). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2004.

SENTELHAS, P. C.; GILLESPIE, T. J.; GLEASON, M. L.; MONTEIRO, J. E. B. M.; PEZZOPANE, J. R. M.; PEDRO JR., M. J. Evaluation of a Penman– Monteith approach to provide reference and crop canopy leaf wetness duration estimates. Agricultural and Forest Meteorology, v.141, p.105–117, 2006.

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

SINCLAIR, J.B. & HARTMAN, G. L. Soybean diseases. In: Hartman, G.L., Sinclair, J.B. & Rupe, J.C. (Eds.) *Compendium of soybean diseases*. 4 ed. Saint Paul Minnesota: American Phytopathological Society, p. 25-26, 1999.

SYDOW, H. P. & BUTLER, E. J. *Fungi Indiae Orientalis*. *Annual Mycology* 4:424-445, 1906.

SYDOW, H. P. A contribution to knowledge of the parasitic fungi of the island of Formosa. *Annual Mycological* 12:105. 1914.

TAN-YUJUN; FEI-FUHUA; SHAN-ZHIHUI; ZHOU-LECONG; SHEN-MIGZHEN; LI-SONG; TAN-YJ; FEI-FH; SHAN-ZH; ZHOU-LC; SHEN-MZ; LI-S. Study on teliospore formation of *Phakopsora pachyrhizi* Sydow. *Chinese Journal of Oil Crop Sciences*, Wuhan, v.23, n.1, p.57- 59, 2001

THORNLEY, J.H.M. *Mathematical models in plant physiology: a quantitative approach to problems in plant and crop physiology*. London: Academic Press, 1976. 318p.

THURTON. W.H. The Rusts of Minas Gerais, Brazil based on collections of A.S. Muller. *Mycologia*, 32:290-309, 1940.

TSCHANZ, A.T. & WANG, T.C. Interrelationship between soybean development resistance, and *Phakopsora pachyrhizi*. In: FIFTH INTERNATIONAL CONGRESS OF THE SOCIETY FOR THE ADVANCED OF BREEDING RESEARCH IN ASIA AND OCEANIA, 1985. Bangkok. Anais... Bangkok: SABRAO, p. 14-20, 1985.

UNFRIED, J.R. Estratégias para seleção de linhagens experimentais de soja para tolerância à ferrugem e associações com outras doenças. 2007. 220 p. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.

USDA. UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. Circular Maio 2006. Disponível em: <www.fas.usda.gov/oilseeds>. Acesso em: 15 ago. 2008.

VAKILI, N. G.; BROMFIELD, K. R. *Phakopsora* rust on soybean and other legumes en Puerto Rico. Plant Disease Reporter, v.60, p.995-999, 1976.

VALE, F. X. R. Aspectos epidemiológicos da ferrugem (*Phakopsora pachyrhizi* Sydow) da soja (*Glycine max* (L.) Merrill). 1985. 104 f. Tese (Doutorado em Fitopatologia) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1985.

VARGAS, M. A. T. & HUNGRIA, M. Fixação biológica do nitrogênio na cultura da soja. In: VARGAS, M. A. T. & HUNGRIA, M., eds. *Biologia dos solos dos cerrados*. Planaltina, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados, 1997. p.297-360.

VIANELLO, R. L.; ALVES, A. R. *Meteorologia Básica e Aplicações*. Viçosa: Imprensa Universitária, 1991. 449 p.

YAMAOKA, Y.; FUJIWARA, Y.; KAKISHIMA, M.; KATSUYA, K.; YAMADA, K.; HAGIWARA, H. Pathogenic races of *Phakopsora pachyrhizi* on soybean and wild host plants collected in Japan. *Plant Pathology*, v. 68, p. 52-56, 2002.

YANG, X. B. Framework development in plant disease risk assessment and its application. *European Journal of Plant Pathology*, v. 115, p. 25-34, 2006.

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

YORINORI, J. T. Situação atual das doenças potenciais no cone sul. In: Congresso Brasileiro de Soja, II. 2002, Foz do Iguaçu. Anais... Londrina: Embrapa Soja, 2002. P. 171-187.

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

YORINORI, J. T. Country report and rust control strategies in Brazil. In: WORLD SOYBEAN RESEARCH CONFERENCE, 7, SOYBEAN PROCESSING AND UTILIZATION CONFERENCE, 4, CONGRESSO BRASILEIRO DA SOJA, 3, 2004, Foz do Iguaçu. Proceedings... Londrina: Embrapa Soja, 2004. p. 447-455.

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.

YORINORI, J.T. O que aprendemos sobre a ferrugem “asiática” da soja, de 2001 a 2006, e como aprimorar o seu controle. In: CONGRESSO DE SOJA DO MERCOSUR, 2006, Rosario, Argentina. **Resumes ...** Rosario: ACSOJA, 2006. p. 347-352.

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

YORINORI, J. T. Controle da ferrugem “asiática” da soja na safra 2006/07. Disponível em: <http://www.cnpso.embrapa.br/download/Tadashi_set_2006.doc> Acesso em: 04 set. 2007.

ZADOKS, J.C. & SCHEIN, R.D. Epidemiology and Plant Disease Management. New York. Oxford University Press. 1979.

ZADOKS, J. C. A quarter century of disease warning, 1958-1983. Plant disease, v.68, p.352-355, 1984.

ZAMBENEDETTI MAGNANI, E. B., ALVES, E. & ARAÚJO, D.V. Eventos dos processos de pré-penetração, penetração e colonização de *Phakopsora pachyrhizi* em folíolos de soja. Fitopatologia Brasileira 32:156-160. 2007.

ZAMBOLIM, L. Manejo integrado da ferrugem asiática da soja. In: In: ZAMBOLIM, L. (Ed.). Ferrugem Asiática da Soja. Viçosa: UFV, DFP, 2006. p. 73-98.

APÊNDICE

Apêndice A - 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 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).