



UNIVERSIDADE  
ESTADUAL DE LONDRINA

---

DANILO ANTONIO RINALDI

**ESTRATÉGIAS PARA TOMADA DE DECISÃO PARA O  
CONTROLE QUÍMICO DA FERRUGEM ASIÁTICA DA SOJA  
NA REGIÃO NORTE DO PARANÁ**

---

Londrina  
2009

**DANILO ANTONIO RINALDI**

**ESTRATÉGIAS PARA TOMADA DE DECISÃO PARA O  
CONTROLE QUÍMICO DA FERRUGEM ASIÁTICA DA SOJA  
NA REGIÃO NORTE DO PARANÁ**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação, em Agronomia da Universidade Estadual de Londrina, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Agronomia.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Giovanetti Canteri

Londrina  
2009

**Catálogo na publicação elaborada pela Divisão de Processos Técnicos da  
Biblioteca Central da Universidade Estadual de Londrina.**

**Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)**

R578e Rinaldi, Danilo Antonio.

Estratégias para tomada de decisão para o controle químico da ferrugem asiática da soja na região norte do Paraná / Danilo Antonio Rinaldi. – Londrina, 2009.  
43 f. : il.

Orientador: Marcelo Giovanetti Canteri.

Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual de Londrina, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, 2009.

Inclui bibliografia.

1. Soja – Ferrugem asiática – Teses. 2. Fungicidas – Teses. 3. Fungos fitopatogênicos – Teses. I. Canteri, Marcelo Giovanetti. II. Universidade Estadual de Londrina. Centro de Ciências Agrárias. Programa de Pós-Graduação em Agronomia. III. Título.

CDU 632.952

**DANILO ANTONIO RINALDI**

**ESTRATÉGIAS PARA TOMADA DE DECISÃO PARA O  
CONTROLE QUÍMICO DA FERRUGEM ASIÁTICA DA SOJA  
NA REGIÃO NORTE DO PARANÁ**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação, em Agronomia da Universidade Estadual de Londrina, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Agronomia.

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. Dr. Marcelo Giovanetti Canteri – UEL

---

Prof. Dr. Seiji Igarashi – UEL

---

Profa. Dra. Débora Cristina Santiago – UEL

---

Prof. Dr. Cássio Egídio Cavenaghi Prete – UEL

---

Prof. Dr. Dauri José Tessmann – UEM

---

Prof. Dr. Adilson Luiz Seifert – UEL

---

Prof. Dr. João Batista Vida – UEM

---

Prof. Dr. Marcelo Giovanetti Canteri  
Orientador – UEL

Londrina, 22 de abril de 2009.

## **DEDICATÓRIA**

Dedico às pessoas que mais amo e admiro.

Meu pai, Antonio M. Rinaldi, minha mãe Dirailde T. S. Rinaldi, meu irmão Diolando J. Rinaldi e minha irmã Denise R. Rinaldi, que sempre foram presentes em minha vida e me deram apoio na realização de meus sonhos.

À Camila Ladeira Scudeler pelo incentivo e apoio constantes, dedicação e compreensão durante a realização deste objetivo.

## **OFEREÇO**

À minha avó Juraci Becher Scremin “In Memoriam” que sempre será um exemplo de dignidade e força.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a DEUS que sempre guia meus passos.

Ao Prof. Dr. Marcelo Giovanetti Canteri pela orientação.

Ao apoio fundamental e dedicação das amigas Sheila A. Xavier e Daiane C. Martins na condução dos experimentos.

À Dra Cláudia Godoy pelo apoio na implementação dos experimentos.

À Embrapa Soja, em especial ao Dr Ademir Assis Henning pela liberação de área experimental para realização dos experimentos e a todos os funcionários do setor de melhoramento pelo apoio na condução dos mesmos.

À Wady José Mourão Cury, Carlos Eduardo Carvalho Rodrigues e Daniel Rascikevicuis do A. Nascimento, pelo fundamental apoio no momento de conclusão desta tese.

Pela amizade sempre presente e abençoada de Marcelo Gonçalves Balan.

À Seiji Igarashi, pela amizade e exemplo de ser humano.

A todos aqueles que estiveram sempre ao meu lado, apoiando, incentivando e se dispondo sempre a ajudar para que eu chegasse a esta conquista.

A todos os funcionários da Universidade Estadual de Londrina pelo apoio.

À Universidade Estadual de Londrina pela estrutura propiciada para a realização das pesquisas.

Agradeço a todos que de forma indireta me deram a oportunidade de adquirir conhecimento em uma universidade pública e de qualidade. Levo comigo a certeza de poder retribuir à sociedade a oportunidade que me foi dada!

RINALDI, Danilo Antonio. **Estratégias para tomada de decisão para o controle químico da ferrugem asiática da soja na região Norte do Paraná.** 2009. 52f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2009.

## RESUMO

A ferrugem asiática da soja (*Phakopsora pachyrhizi*) é uma das doenças mais agressivas que incidem nesta cultura, possuindo alto potencial de dano e sendo até o momento, o principal problema fitossanitário da cultura da soja. O objetivo deste trabalho foi avaliar estratégias para tomada de decisão do controle químico do progresso da epidemia da ferrugem asiática da soja. Cinco experimentos foram conduzidos em áreas experimentais no município de Londrina, no Estado do Paraná, durante as safras 2006/2007 e 2007/2008, utilizando-se os cultivares de soja BRS 133 e BRS 184. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso, com dezesseis tratamentos e quatro repetições, sendo cada parcela constituída por seis linhas de 5 m, espaçadas 0,45 m entre linhas. Os tratamentos diferenciaram-se de acordo com o estágio de desenvolvimento da cultura, intervalo de reaplicação, modelo de favorabilidade de infecção e precipitação. As aplicações necessárias foram realizadas utilizando o fungicida piraclostrobina + epoxiconazole (66,5 + 25 g i.a.ha<sup>-1</sup>). Os dados das variáveis climáticas, temperatura, precipitação e umidade relativa foram coletados durante o período de desenvolvimento da cultura. A severidade da doença foi estimada semanalmente a partir dos primeiros sintomas. Foram calculadas a área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD) e a taxa aparente de infecção (r) de todos os tratamentos. Foram avaliadas também as produtividades, o peso de 1000 grãos, o número de aplicações realizadas e o custo das aplicações. As estratégias de controle químico da ferrugem asiática da soja que apresentaram a maior eficiência e o menor custo foram as que consideraram intervalo de reaplicação de 21 dias, aplicações após 4 dias de favorabilidade climática acima de 90% para ocorrência da doença, períodos favoráveis de chuva e volume de chuva acumulada. A utilização da favorabilidade climática para ocorrência da doença e de parâmetros baseados na precipitação foram eficientes estratégias de tomada de decisão para o controle químico da ferrugem asiática da soja na região Norte do Paraná.

**Palavras-chave:** AACPD. Taxa aparente de infecção. Severidade. Epidemia.

RINALDI, Danilo Antonio. **Strategies for decision-making of chemical control of Asian soybean rust in northern Paraná State, Brazil.** 2009. 52p. Thesis (Doctor Degree in Agronomy) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2009.

## ABSTRACT

The Asian soybean rust (*Phakopsora pachyrhizi*) is one of the most aggressive soybean crop diseases, possessing high damage potential and being at the moment, the main problem of the soybean crop. The objective of this study was to evaluate the best strategy for decision-making of chemical control of the Asian soybean rust epidemic progress. Five experiments were conducted in experimental fields in Londrina, in Paraná State, during the growing seasons 2006/2007 and 2007/2008, using the soybean cultivars BRS 133 and BRS 184. The experimental design was arranged in randomized blocks, with sixteen treatments and four replications, each plot with six rows of 5 m, spaced 0,45 m between rows. The treatments differed in according to the stage of crop development, reapplication interval, model of infection favorability and rainfall. The necessary applications were made using the fungicide pyraclostrobin + epoxiconazole (66.5 + 25 g a.i. ha<sup>-1</sup>). The data of climatic variables, temperature, precipitation and relative humidity were collected during the soybean development. The severity of the disease was estimated weekly from the first symptoms. The area under the disease progress curve (AUDPC) was calculated as well as apparent infection rate (r) of all treatments. The yield, weight of 1000 grains, the number of applications and the cost of applications were also evaluated. The strategies for decision-making of chemical control of the Asian soybean rust that showed the highest efficiency and lower cost were the ones that took into consideration reapplication interval of 21 days, 4 days of favorable climate for disease occurrence over 90%, periods of favorable rainfall and volume of accumulated rain. The use of the favorable climate for the disease occurrence and parameters based on rainfall were efficient decision-making strategies for chemical control of Asian soybean rust in northern Paraná State, Brazil.

**Keywords:** AUDPC. Apparent infection rate. Severity. Epidemic.



## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	9
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	11
2.1 FERRUGEM ASIÁTICA DA SOJA .....	11
2.1.1 Sintomatologia e epidemiologia .....	12
2.1.2 Danos causados pela ferrugem asiática da soja .....	13
2.1.3 Quantificação de doença .....	14
2.1.4 Variáveis ambientais e progresso da doença.....	14
2.1.5 Controle Químico.....	16
<b>3 ARTIGO– AVALIAÇÃO DE ESTRATÉGIAS DE CONTROLE DO PROGRESSO DA FERRUGEM ASIÁTICA DA SOJA</b> .....	17
3.1 RESUMO E ABSTRACT.....	17
3.2 INTRODUÇÃO.....	19
3.3 MATERIAL E MÉTODOS.....	20
3.3.1 Experimentos de campo.....	20
3.3.2 Delineamento experimental.....	20
3.3.2.1 Variáveis avaliadas .....	24
3.3.2.1.1 Dados Climáticos.....	24
3.3.2.1.2 Favorabilidade climática .....	24
3.3.2.1.3 Severidade da ferrugem Asiática da soja e área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD) .....	25
3.3.2.1.4 Taxa aparente de infecção .....	26
3.3.2.1.5 Produtividade e peso de 1000 grãos .....	26
3.3.2.1.6 Análise de custos das aplicações.....	26
3.3.3 Análise dos dados .....	27
3.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	27
3.4.1 Dados Climáticos .....	27
3.4.2 Processo de desenvolvimento da ferrugem asiática da soja.....	32
3.4.3 Eficiência dos tratamentos .....	36
3.5 CONCLUSÃO .....	45

**4 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....46**

**REFERÊNCIAS.....47**

## 1 INTRODUÇÃO

A ferrugem asiática da soja causada pelo fungo *Phakopsora pachyrhizi* Syd. & P. Syd. é uma das doenças mais agressivas que incidem nesta cultura, possuindo alto potencial de dano e sendo até o momento, o principal problema fitossanitário da cultura da soja (JULIATTI et al., 2002; SOARES et al., 2004).

O fungo pode causar rápido amarelecimento e queda prematura de folhas, ocasionando danos na formação das vagens e enchimento de grãos (YANG et al., 1991). Reduções na produtividade foram relatadas no Brasil em cerca de 70% em áreas não controladas (YORINORI et al., 2005).

A taxa de desenvolvimento da ferrugem é fortemente relacionada com o crescimento e maturidade da planta de soja, essa relação entre a soja e o progresso da ferrugem é, provavelmente, a interação mais importante neste patossistema. Genótipos tardios são tão suscetíveis quanto os precoces quando comparados no mesmo estágio de crescimento (TSCHANZ; WANG, 1985; HARTMAN et al., 1991). A magnitude nas perdas da produção depende do estágio de desenvolvimento da planta em que a doença teve início e a sua intensidade. (HARTMAN et al., 1991; KAWUKI et al., 2003).

O controle da ferrugem asiática da soja compreende diversas medidas conjuntas, como a utilização de cultivares precoces e plantios antecipados, porém, após a doença instalada, o controle químico com fungicidas é o método de controle mais efetivo, até que se desenvolvam cultivares resistentes à doença (SOARES et al., 2004; GODOY; CANTERI, 2004; REIS et al., 2007).

O progresso da ferrugem asiática da soja sofre influência do ambiente e, portanto, o monitoramento das variáveis ambientais pode orientar a tomada de decisão sobre medidas de controle. Diversos estudos neste sentido foram realizados, considerando variáveis como temperatura, duração do período de molhamento e precipitação para analisar o processo de infecção (CANTERI et al., 2005; DEL PONTE et al., 2006a; TSUKAHARA et al., 2008).

A decisão sobre a estratégia a ser usada para determinar o momento adequado de aplicação, assim como a economicidade da medida de

controle pode levar em conta a previsão da severidade final da doença, variáveis climáticas e o estágio fenológico da cultura como forma de impedir e ou minimizar o progresso da doença.

Assim, o objetivo deste trabalho foi o de avaliar estratégias para tomada de decisão para o controle químico da ferrugem asiática da soja.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 FERRUGEM ASIÁTICA DA SOJA

A soja [*Glycine max* (L.) Merrill] representa atualmente um papel fundamental na cadeia produtiva de grãos da agricultura brasileira, sendo que, o Brasil possui a segunda maior produção mundial de soja. Porém, entre os principais fatores que limitam o desenvolvimento do potencial máximo de produção está a ferrugem asiática da soja, causada pelo fungo *Phakopsora pachyrhizi* Syd. & P. Syd., uma das doenças mais agressivas que incidem na cultura, sendo relatados danos de 10 a 90% (SINCLAIR; HARTMAN, 1999).

A ferrugem asiática da soja foi relatada pela primeira vez no Japão, em 1902, e desde então, causa grandes perdas em diversos países do continente asiático (BROMFIELD, 1984). Na década de 90 foi relatada pela primeira vez no Hawaí e na África (KAWUKI et al., 2003). Em 2001, na América do Sul, foi encontrada em campos de produção de soja safrinha e soja “guaxa” do Paraguai e Brasil (YORINORI et al., 2003). No outono de 2004 foi confirmada a presença do patógeno em campos de produção de soja nos estados de Louisiana, Mississippi, Florida, Geórgia e Missouri nos Estados Unidos (SCHNEIDER et al., 2005).

Hoje, praticamente todas as áreas produtoras de soja no Brasil, possuem focos da doença.

O prejuízo estimado em grãos causado pela ferrugem na safra brasileira de 2007/2008 foi de 418,5 mil toneladas, o que representa menos de 1% da produção nacional, porém, financeiramente a perda em grãos representou um prejuízo de US\$ 204,5 milhões e o gasto para o controle da doença resultou em um custo total de US\$ 1,97 bilhão (EMBRAPA, 2008).

### 2.1.1 Sintomatologia e epidemiologia

A ferrugem asiática da soja pode aparecer em qualquer estágio de desenvolvimento da planta, e os sintomas iniciais da doença são pequenas pústulas foliares, de coloração castanha a marrom-escura. Segundo Sinclair e Hartman (1999), a ferrugem asiática se manifesta nas folhas da soja através de lesões marrom claro (TAN), a marrom escuro ou marrom avermelhado (RB) com uma ou muitas urédias erumpentes, globosas e estioladas. As lesões TAN caracterizam genótipos suscetíveis à ferrugem, enquanto que as lesões RB, caracterizam a reação de resistência dos genótipos.

Na face inferior da folha pode-se observar uma ou mais urédias, que ao se romperem liberam os uredósporos, podendo aparecer em pecíolos, vagens e caules (OLIVEIRA, 2005).

A doença manifesta-se de forma irregular, dependendo das condições ambientais tais como a umidade e a temperatura (BROGIN, 2005).

O desenvolvimento da ferrugem asiática da soja ocorre numa faixa de temperatura ótima entre 15°C e 25°C, com mínima de 7°C e máxima de 28°C, e períodos de molhamento foliar entre 10 a 12 horas, com um mínimo de 6 horas (MARCHETTI et al., 1976; MELCHING et al., 1989; ALVES et al., 2006). No geral, o clima ideal para a soja coincide com o ótimo para o desenvolvimento da ferrugem. Regiões com temperaturas entre 18°C e 26°C e com boa distribuição de chuvas durante o crescimento da soja são mais favoráveis à ocorrência de epidemias de ferrugem. Por outro lado, as com temperaturas maiores que 30°C e menores que 15°C, e com distribuição irregular de chuvas retardam o desenvolvimento da epidemia (TSCHANZ, 1982, apud KAWUKI et al., 2003).

Estudos recentes realizados em 21 regiões produtoras de norte a sul do Brasil, durante três safras, mostram que o maior desenvolvimento da ferrugem asiática da soja no campo está altamente correlacionado com a precipitação e que os diferentes níveis de temperatura da maior parte das regiões avaliadas não são um fator limitante para o desenvolvimento de epidemias de ferrugem asiática da soja, exceto nos locais da região sul do país (abaixo da latitude S 23°) que apresentaram longos períodos de seca durante as safras e temperaturas mínimas mais baixas quando comparadas com as outras regiões (DEL PONTE et al., 2006a).

Os uredósporos germinam em uma hora à temperatura ambiente de 25° a 27°C, porém a penetração no tecido da folha pode ocorrer à temperatura variando de 8° a 28°C, e sob condição favorável, as primeiras lesões podem ser visíveis 4-5 dias após a inoculação e as primeiras frutificações (urédias) e esporulações aparecem aos 6-7 dias após a inoculação. A disseminação dos uredósporos de uma lavoura para a outra ocorre através do vento, podendo estes, percorrer longas distâncias (YORINORI et al., 2004).

Sintomas em diferentes cultivares de soja e outros hospedeiros sugerem a presença de numerosas raças patogênicas de *P. pachyrhizi*, todas essas raças de ferrugem aparentemente contêm vários graus de agressividade, sendo que muitas raças estão presentes em uma única área. No entanto, a ocorrência de fatores múltiplos de agressividade é incomum, porque nenhuma cultivar de soja ou acesso é conhecida como possuidora de mais do que dois genes específicos de resistência. Essas constatações indicam vantagem competitiva para o patógeno, e ainda a presença de grande número de hospedeiros selvagens pode estar contribuindo na manutenção e na diversidade das raças desse fungo (TSCHANZ; WANG, 1985; YAMAOKA et al., 2002; HARTMAN et al., 2005).

### **2.1.2 Danos causados pela ferrugem asiática da soja**

Os sintomas da ferrugem asiática da soja mais comumente observados são lesões com abundante esporulação na face abaxial das folhas inicialmente no terço inferior, que na sequência, em condições favoráveis, atingem toda a planta. Plantas severamente infectadas apresentam desfolha precoce, que compromete a formação e o enchimento de vagens e peso final do grão. Quanto mais cedo ocorrer a desfolha, menor será o tamanho do grão e, conseqüentemente, maior a perda de rendimento e de qualidade (YANG et al., 1991).

A taxa de desenvolvimento da ferrugem é fortemente relacionada com o crescimento e maturidade da planta de soja, essa relação entre a soja e o progresso da ferrugem é, provavelmente, a interação mais importante neste patossistema. Genótipos tardios são tão suscetíveis quanto os precoces quando comparados no mesmo estágio de crescimento (TSCHANZ; WANG, 1985;

HARTMAN et al., 1991). A magnitude nas perdas da produção depende do estágio de desenvolvimento da planta em que a doença teve início e a sua intensidade. (HARTMAN et al., 1991; KAWUKI et al., 2003).

### **2.1.3 Quantificação de doença**

A quantificação de doenças pode ser empregada através de diversas maneiras, como na determinação da eficiência de aplicação de um fungicida no momento ideal para o controle da doença, na construção de curvas de progresso da doença e também para determinar a taxa aparente de infecção, dentre outras funções. Sua importância tem sido frequentemente comparada à da diagnose, pois de nada adianta conhecer o patógeno de uma enfermidade se não for possível quantificar os sintomas por ele causados (BERGAMIN FILHO; AMORIM, 1996).

### **2.1.4 Variáveis ambientais e progresso da doença**

Variáveis ambientais têm sido empregadas em diversos modelos de previsão e de simulação de epidemias para diferentes patossistemas (DEL PONTE et al., 2006b). O progresso da ferrugem asiática da soja sofre influência do ambiente e, portanto, o monitoramento das variáveis ambientais pode orientar a tomada de decisão sobre medidas de controle.

As variáveis ambientais mais utilizadas em sistemas de previsão são temperatura e umidade. Embora crítica, a temperatura é, de modo geral, menos limitante que a umidade no desenvolvimento epidêmico (ROTEM, 1978).

Marchetti et al. (1976) estudaram sob condições controladas o efeito da temperatura e duração do período de molhamento no processo de infecção. No Brasil, recentemente Alves et al. (2006) obtiveram resultados semelhantes utilizando-se isolados coletados no país.

Resultados de literatura demonstram o efeito de variáveis climáticas,



principalmente temperatura e molhamento foliar sobre a capacidade dos fungos infectarem e provocarem doenças na parte aérea da soja (REIS, 2004). De acordo com Tsukahara et al. (2008), a presença do molhamento é fundamental para a ocorrência da ferrugem asiática da soja, já que a presença ou ausência da água livre na superfície foliar determina a possibilidade de germinação dos esporos e consequentemente a ocorrência da infecção.

Canteri et al. (2005) utilizaram-se da informação sobre favorabilidade para infecção para mapear zonas de risco de epidemias para o Estado do Paraná. A determinação de regiões geográficas com condições mais favoráveis para ocorrência da ferrugem asiática da soja foi estimada através dos modelos matemáticos de infecção adaptados de Marchetti et al. (1976). A validação foi realizada utilizando os dados de severidade e os dados meteorológicos coletados durante as safras 2003/2004 e 2004/2005.

Os mapas gerados indicaram menor probabilidade de infecção sobre as regiões oeste e noroeste do Estado do Paraná. A região Centro/Sul apresentou uma maior probabilidade de infecção. Outras regiões apresentaram níveis intermediários. Experimentos com a avaliação da severidade da doença em diferentes regiões do Estado confirmaram os mapas gerados, com exceção da região Centro/Sul, em que a probabilidade de infecção foi maior do que a severidade observada. De acordo com os autores, tal sistema permitiu otimizar os esforços para controlar epidemias de ferrugem asiática da soja.

Del Ponte et al. (2006a) estudaram a associação de variáveis climáticas com a severidade final da ferrugem asiática da soja de várias epidemias de 21 diferentes regiões produtoras do Brasil e observaram que as variações de chuva foram mais fortemente correlacionadas com a severidade final da doença do que variações de temperaturas. Os maiores coeficientes de correlação entre chuva e severidade da doença foram para precipitação acumulada e número de dias com chuva acima de 1mm.

Aliando as variáveis temperatura, precipitação e duração do período de molhamento no processo de infecção Tsukahara et al. (2008) avaliaram o processo de desenvolvimento da ferrugem em duas micro-regiões do Estado do Paraná e confirmaram uma alta correlação da precipitação com a severidade final da ferrugem asiática da soja.

Recentemente, Del Ponte e Esker (2008), reafirmaram a importância

do molhamento foliar como fator-chave para o processo infeccioso da ferrugem asiática da soja, porém, sugerem que novos estudos devem ser realizados para analisar as fontes de umidade, orvalho versus chuva. Sendo que, de acordo com os autores, até o momento, as epidemias mais graves estão ocorrendo em áreas com alta precipitação e o desenvolvimento da doença parece ser sensivelmente afetado por períodos de seca relativamente longos, comuns nas regiões produtoras no sul do Brasil.

Quando a quantidade de doença presente em uma população de plantas é avaliada ao longo do tempo, os resultados podem ser representados pela curva de progresso da doença, que nada mais é do que uma descrição da epidemia (KRANZ, 1978). Este tipo de curva reproduz a interação existente entre hospedeiro, patógeno e ambiente e fornece a oportunidade de analisar, comparar e entender o processo epidêmico (KRANZ, 1978; CAMPBELL; MADDEN, 1990). O registro de variáveis ambientais no decorrer de epidemias pode ser confrontado aos elementos da curva de progresso da doença e assim, permitir um incremento na análise da epidemia (ESKER et al., 2007).

### **2.1.5 Controle Químico**

O controle da ferrugem asiática da soja compreende diversas medidas conjuntas, como a utilização de cultivares precoces e plantios antecipados, porém, após a doença instalada, o controle químico com fungicidas é o método de controle mais efetivo, até que desenvolvam-se cultivares resistentes à doença (SOARES et al., 2004; GODOY; CANTERI, 2004; REIS et al., 2007).

Em estudo realizado por Godoy e Canteri (2004), os fungicidas que demonstraram melhor eficiência no controle da ferrugem asiática da soja são os pertencentes aos grupos das estrobilurinas e triazóis, independentes ou em misturas.

### 3. ARTIGO: ESTRATÉGIAS PARA TOMADA DE DECISÃO PARA O CONTROLE QUÍMICO DA FERRUGEM ASIÁTICA DA SOJA NA REGIÃO NORTE DO PARANÁ

#### 3.1 RESUMO

A ferrugem asiática da soja (*Phakopsora pachyrhizi*) é uma das doenças mais agressivas que incidem nesta cultura, possuindo alto potencial de dano e sendo até o momento, o principal problema fitossanitário da cultura da soja. O objetivo deste trabalho foi avaliar estratégias para tomada de decisão do controle químico do progresso da epidemia da ferrugem asiática da soja. Cinco experimentos foram conduzidos em áreas experimentais no município de Londrina, no Estado do Paraná, durante as safras 2006/2007 e 2007/2008, utilizando-se os cultivares de soja BRS 133 e BRS 184. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso, com dezesseis tratamentos e quatro repetições, sendo cada parcela constituída por seis linhas de 5 m, espaçadas 0,45 m entre linhas. Os tratamentos diferenciaram-se de acordo com o estágio de desenvolvimento da cultura, intervalo de reaplicação, modelo de favorabilidade de infecção e precipitação. As aplicações necessárias foram realizadas utilizando o fungicida piraclostrobina + epoxiconazole (66,5 + 25 g i.a.ha<sup>-1</sup>). Os dados das variáveis climáticas, temperatura, precipitação e umidade relativa foram coletados durante o período de desenvolvimento da cultura. A severidade da doença foi estimada semanalmente a partir dos primeiros sintomas. Foram calculadas a área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD) e a taxa aparente de infecção (r) de todos os tratamentos. Foram avaliadas também as produtividades, o peso de 1000 grãos, o número de aplicações realizadas e o custo das aplicações. As estratégias de controle químico da ferrugem asiática da soja que apresentaram a maior eficiência e o menor custo foram as que consideraram intervalo de reaplicação de 21 dias, aplicações após 4 dias de favorabilidade climática acima de 90% para ocorrência da doença, períodos favoráveis de chuva e volume de chuva acumulada. A utilização da favorabilidade climática para ocorrência da doença e de parâmetros baseados na precipitação foram eficientes estratégias de tomada de decisão para o controle químico da ferrugem asiática da soja na região Norte do Paraná.

**Palavras-chave:** AACPD. Taxa aparente de infecção. Severidade. Epidemia.

## Strategies for decision-making of chemical control of Asian soybean rust in northern Paraná State, Brazil.

### ABSTRACT

The Asian soybean rust (*Phakopsora pachyrhizi*) is one of the most aggressive soybean crop diseases, possessing high damage potential and being at the moment, the main problem of the soybean crop. The objective of this study was to evaluate the best strategy for decision-making of chemical control of the Asian soybean rust epidemic progress. Five experiments were conducted in experimental fields in Londrina, in Paraná State, during the growing seasons 2006/2007 and 2007/2008, using the soybean cultivars BRS 133 and BRS 184. The experimental design was arranged in randomized blocks, with sixteen treatments and four replications, each plot with six rows of 5 m, spaced 0,45 m between rows. The treatments differed in according to the stage of crop development, reapplication interval, model of infection favorability and rainfall. The necessary applications were made using the fungicide pyraclostrobin + epoxiconazole (66.5 + 25 g a.i. ha<sup>-1</sup>). The data of climatic variables, temperature, precipitation and relative humidity were collected during the soybean development. The severity of the disease was estimated weekly from the first symptoms. The area under the disease progress curve (AUDPC) was calculated as well as apparent infection rate (r) of all treatments. The yield, weight of 1000 grains, the number of applications and the cost of applications were also evaluated. The strategies for decision-making of chemical control of the Asian soybean rust that showed the highest efficiency and lower cost were the ones that took into consideration reapplication interval of 21 days, 4 days of favorable climate for disease occurrence over 90%, periods of favorable rainfall and volume of accumulated rain. The use of the favorable climate for the disease occurrence and parameters based on rainfall were efficient decision-making strategies for chemical control of Asian soybean rust in northern Paraná State, Brazil.

**Keywords:** AUDPC. Apparent infection rate. Severity. Epidemic.

### 3.2 INTRODUÇÃO

A soja [*Glycine max* (L.) Merrill] representa atualmente um papel fundamental na cadeia produtiva de grãos da agricultura brasileira, sendo que o Brasil possui a segunda maior produção mundial de soja. Porém, entre os principais fatores que limitam o desenvolvimento do potencial máximo de produção está a ferrugem asiática da soja, uma das doenças mais agressivas que incidem na cultura, causada pelo fungo *Phakopsora pachyrhizi* Syd. & P. Syd., com relatos de danos de 10 a 90% (SINCLAIR; HARTMAN, 1999). A magnitude nas perdas da produção depende do estágio de desenvolvimento da planta em que a doença teve início e a sua intensidade (HARTMAN et al., 1991; KAWUKI et al., 2003).

O desenvolvimento da ferrugem asiática da soja ocorre numa faixa de temperatura ótima entre 15°C e 25°C, com mínima de 7°C e máxima de 28°C, e períodos de molhamento foliar entre 10 a 12 horas, com um mínimo de 6 horas (ALVES et al., 2006). No geral, o clima ideal para a soja coincide com o ótimo para o desenvolvimento da ferrugem. Regiões com temperaturas entre 18°C e 26°C, com boa distribuição de chuvas durante o crescimento da soja são mais favoráveis à ocorrência de epidemias de ferrugem. Por outro lado, as com temperaturas maiores que 30°C e menores que 15°C, e com distribuição irregular de chuvas retardam o desenvolvimento da epidemia (TSCHANZ, 1982, apud KAWUKI et al., 2003).

O controle da ferrugem asiática da soja compreende diversas medidas conjuntas, como a utilização de cultivares precoces e plantios antecipados, porém, após a doença instalada, o controle químico com fungicidas é o método de controle mais efetivo, até que desenvolvam-se cultivares resistentes à doença (SOARES et al., 2004; GODOY; CANTERI, 2004; REIS et al., 2007).

O progresso da ferrugem asiática da soja sofre influência do ambiente e, portanto, o monitoramento das variáveis ambientais pode orientar a tomada de decisão sobre medidas de controle. Diversos estudos neste sentido estão sendo realizados, considerando variáveis como temperatura, duração do período de molhamento e precipitação para analisar o processo de infecção (CANTERI et al., 2005; DEL PONTE et al., 2006a; TSUKAHARA et al., 2008).

O objetivo deste trabalho foi o de avaliar estratégias para tomada de decisão para o controle químico da ferrugem asiática da soja na região Norte do Paraná.

### 3.3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.3.1 Experimentos de campo

Foram conduzidos cinco experimentos a campo durante duas safras agrícolas nas áreas experimentais da Fazenda Escola da Universidade Estadual de Londrina (UEL), latitude 23°20'23" S, longitude 51°12'32" W e altitude de 532m; e da Embrapa Soja (CNPSo) latitude 23°11'37" S, longitude 51°11'03" W e altitude de 630m, em Londrina, PR, com cultivares comerciais suscetíveis a *P. pachyrhizi*, classificadas no grupo de maturação precoce e com hábito de crescimento determinado, de acordo com o RNC do MAPA, sendo indicadas para cultivo no Estado do Paraná.

As sementeiras foram realizadas estimando-se uma população final de 300.000 plantas ha<sup>-1</sup>, com adubação de base 250kg ha<sup>-1</sup> do adubo formulado 0-20-20. Durante todo o ciclo de desenvolvimento da cultura o controle de pragas e ervas daninhas foi realizado quando necessário, para manter a área livre da interferência desses fatores. Os experimentos são descritos na Tabela 3.1.

**Tabela 3.1** – Descrição dos experimentos realizados durante as safras 2006/2007 e 2007/2008 em Londrina, PR.

<b>Experimento</b>	<b>Safra</b>	<b>Local</b>	<b>Cultivar</b>	<b>Data de sementeira</b>	<b>Data de colheita</b>
I	2006/2007	UEL	BRS 133	24/11/2006	07/4/2007
II	2007/2008	UEL	BRS 184	30/10/2007	18/3/2008
III	2007/2008	UEL	BRS 184	21/12/2007	03/4/2008
IV	2007/2008	CNPSo	BRS 184	24/11/2007	05/4/2008
V	2007/2008	CNPSo	BRS 184	22/12/2007	19/4/2008

#### 3.3.2 Delineamento experimental

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso, com dezesseis tratamentos e quatro repetições, sendo cada parcela constituída por seis linhas de 5 m, espaçadas 0,45 m entre linhas. Considerou-se como área útil para a

coleta de dados as quatro linhas centrais, e como bordaduras as duas linhas externas e 0,50 m das extremidades da parcela. A descrição dos tratamentos avaliados encontram-se na Tabela 3.2.

De acordo com o tratamento, as parcelas experimentais receberam aplicações de  $0,5 \text{ L ha}^{-1}$  do fungicida piraclostrobina + epoxiconazole ( $66,5 + 25 \text{ g i.a.ha}^{-1}$ ). As aplicações foram realizadas utilizando-se pulverizador costal pressurizado com  $\text{CO}_2$ , equipado com barra de 2,5m com quatro bicos espaçados 0,5m entre si, conduzidas a 0,5m do alvo, com pontas tipo leque jato plano XR 11002, sendo  $110^\circ$  de ângulo de projeção com vazão nominal de  $0,64 \text{ L min}^{-1}$  na pressão de trabalho utilizada de 200 kPa gerando espectro de gotas médias, com taxa de aplicação de  $200 \text{ L ha}^{-1}$ . Para a padronização nas avaliações da severidade da ferrugem asiática da soja, após a constatação do primeiros sintomas todos os tratamentos, com exceção da testemunha sem controle, receberam a aplicação do fungicida e as reaplicações sequenciais nas parcelas tratadas respeitaram o intervalo determinado para cada tratamento.

O acompanhamento do estágio fenológico da cultura foi realizado semanalmente, utilizando-se a escala desenvolvida por Ritchie et al. (1982) (Tabela 3.3).

**Tabela 3.2** – Tratamentos utilizados para a determinação do momento de aplicação do fungicida para o controle da ferrugem asiática da soja nos experimentos conduzidos durante as safras 2006/2007 e 2007/2008.

<b>Tratamento</b>	<b>Descrição do tratamento</b>
1	Testemunha - sem controle da ferrugem asiática da soja.
2	Controle padrão, com aplicações de fungicida nos estádios de desenvolvimento R1, R4 e R5.5.
3	Após a constatação dos primeiros sintomas* realizar a 1ª aplicação de fungicida – respeitar intervalo de reaplicações de 15 dias para a próxima aplicação seqüencial (consecutivas até R5.5).
4	Após a constatação dos primeiros sintomas realizar a 1ª aplicação de fungicida – respeitar intervalo de reaplicações de 21 dias para a próxima aplicação seqüencial (consecutivas até R5.5).
5	Após a constatação dos primeiros sintomas realizar a 1ª aplicação de fungicida – respeitar intervalo de reaplicações de 28 dias para a próxima aplicação seqüencial (consecutivas até R5.5).
6	Após a constatação dos primeiros sintomas realizar a 1ª aplicação de fungicida – respeitar intervalo de reaplicações de 15 dias para a próxima aplicação seqüencial (consecutivas até R6).

- 7** Após a constatação dos primeiros sintomas realizar a 1ª aplicação de fungicida – respeitar intervalo de reaplicações de 21 dias para a próxima aplicação seqüencial (consecutivas até R6).
- 8** Após a constatação dos primeiros sintomas realizar a 1ª aplicação de fungicida – respeitar intervalo de reaplicações de 28 dias para a próxima aplicação seqüencial (consecutivas até R6).
- 9** Após a constatação dos primeiros sintomas realizar a 1ª aplicação de fungicida e reaplicar após 2 dias com favorabilidade climática igual ou superior a 90%, respeitar intervalo de reaplicações de 15 dias (até R5.5).
- 10** Após a constatação dos primeiros sintomas realizar a 1ª aplicação de fungicida e reaplicar após 4 dias com favorabilidade climática igual ou superior a 90%, respeitar intervalo de reaplicações de 15 dias (até R5.5).
- 11** Após a constatação dos primeiros sintomas realizar a 1ª aplicação de fungicida e reaplicar após 8 dias com favorabilidade climática igual ou superior a 90%, respeitar intervalo de reaplicações de 15 dias (até R5.5).
- 12** Após a constatação dos primeiros sintomas realizar a 1ª aplicação de fungicida e reaplicar após 1 período favorável\*\* de chuva, respeitar intervalo de reaplicações de 15 dias (até R5.5).
- 13** Após a constatação dos primeiros sintomas realizar a 1ª aplicação de fungicida e reaplicar após 2 períodos favoráveis de chuva, respeitar intervalo de reaplicações de 15 dias (até R5.5).
- 14** Após a constatação dos primeiros sintomas realizar a 1ª aplicação de fungicida e reaplicar após 3 períodos favoráveis de chuva, respeitar intervalo de reaplicações de 15 dias (até R5.5).
- 15** Após a constatação dos primeiros sintomas realizar a 1ª aplicação de fungicida e reaplicar após 10 mm de chuva acumulada, respeitar intervalo de reaplicações de 15 dias para a próxima aplicação seqüencial (até R5.5).
- 16** Após a constatação dos primeiros sintomas realizar a 1ª aplicação de fungicida e reaplicar após 40 mm de chuva acumulada, respeitar intervalo de reaplicações de 15 dias para a próxima aplicação seqüencial (até R5.5).

---

\*Constatação da primeira pústula em folhas das plantas da área útil da parcela, avaliadas pelo menos uma vez por semana, durante o ciclo de desenvolvimento da cultura.

\*\* Período favorável de chuva: de 1 a 3 dias com pelo menos uma precipitação acima de 2 mm.



**Tabela 3.3** – Descrição dos estádios fenológicos da soja.

Estádio	Descrição
I. Fase vegetativa	
VC	Da emergência a cotilédones abertos.
VI	Primeiro nó; folhas unifolioladas abertas.
V2	Segundo nó; primeiro trifólio aberto.
V3	Terceiro nó; segundo trifólio aberto.
Vn	Enésimo (último) nó com trifólio aberto, antes da floração.
II. Fase Reprodutiva (observação da haste principal)	
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 de comprimento.
R4	Maioria das vagens no terço superior com 2 - 4 cm, sem grãos perceptíveis.
R5.1	Grãos perceptíveis ao tato 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	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 76% de folhas e vagens amarelas.
R8.1	Início a 50% de desfolha.
R8.2	Mais de 50% de desfolha à pré-colheita.
R9	Ponto de maturação de colheita.

**Fonte:** Ritchie et al. (1982).

### 3.3.2.1 Variáveis avaliadas

#### 3.3.2.1.1 Dados Climáticos

As variáveis climáticas (temperatura máxima, temperatura mínima, temperatura média, umidade relativa, precipitação pluviométrica e número de horas de umidade relativa acima de 90%) foram registradas durante todo o ciclo das cultivares, diariamente, por estações meteorológicas localizadas próximas às áreas experimentais, pertencentes às instituições de pesquisa de cada área. O número de horas com umidade relativa acima de 90% foi utilizado como uma estimativa da duração do período de molhamento, uma vez que o orvalho é geralmente formado nas folhas quando a umidade relativa excede 90% (SUTTON et al., 1984; FRIESLAND; SCHRÖDTER, 1998).

De acordo com Sentelhas et al. (2008), em geral, os modelos que utilizam número de horas com umidade relativa acima de 90% como uma estimativa da duração do período de molhamento apresentam o melhor desempenho em estimativas corretas.

#### 3.3.2.1.2 Favorabilidade climática

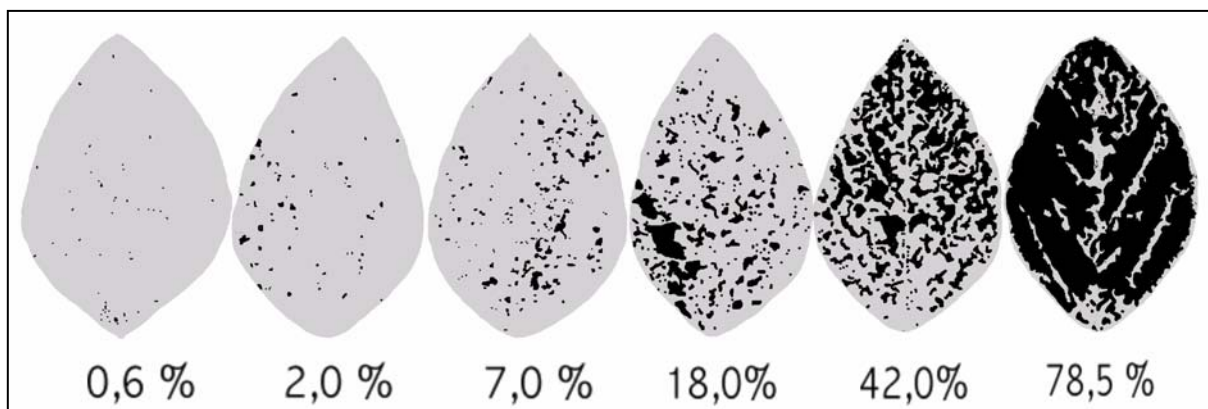
Para determinação da favorabilidade climática diária utilizou-se a função adaptada por Canteri et al. (2005) a partir dos trabalhos de Marchetti et al. (1976) e Melching et al. (1989):

$$[Y=(0,00044/(1+485,5 \exp(-0,55 HM)))*(2,41 ((T-9,99)^{2,63} (33,3-T)^2))], \text{ onde:}$$

As variáveis  $T$  (temperatura média diária) e  $HM$  (horas de molhamento sendo igual ao número de horas com umidade relativa acima de 90%) podem estimar a favorabilidade climática para a ocorrência da ferrugem asiática da soja ( $Y\%$ ).

### 3.3.2.1.3 Severidade da ferrugem Asiática da soja e área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD)

As avaliações do progresso da doença foram realizadas semanalmente, a partir da identificação do primeiro sintoma, até o final do ciclo da cultura, quantificando a severidade com o auxílio de escala diagramática (Godoy et al., 2006) (Figura 3.1). Foram amostrados quatro pontos aleatórios da área útil em cada uma das parcelas dos experimentos, dos quais foram coletados um trifólio do terço inferior, do terço médio e superior das plantas, estimando-se a severidade média, em porcentagem, da doença na planta toda. O valor da severidade média das parcelas foi, portanto, resultado da severidade média de 12 trifólios por parcela.



**Figura 3.1** – Escala diagramática utilizada para estimar a severidade de ferrugem Asiática em folhas de soja (GODOY et al., 2006).

Através das médias das severidades estimadas por tratamento ao longo das avaliações, foram construídas as curvas de progresso da doença e a partir daí calculada a área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD) para cada tratamento, pela fórmula:

$$AACPD = \sum_i^{n-1} \left( \frac{x_i + x_{i+1}}{2} \right) (t_{i+1} - t_i), \text{ onde:}$$

$n$  é o número de avaliações,  $x$  é a proporção de doença e  $(t_{i+1} - t_i)$  é o intervalo de avaliações consecutivas (CAMPBELL; MADDEN, 1990). O valor da AACPD sintetiza todas as avaliações de severidade da doença em um único valor. Para

comparação entre as diferentes épocas a AACPD foi padronizada dividindo-se o valor encontrado pelo tempo de duração da epidemia  $(t_n - t_1)$ .

#### **3.3.2.1.4 Taxa aparente de infecção**

Para se estimar a taxa aparente de infecção utilizou-se a metodologia descrita por Bergamin Filho et al. (1995a), ajustando-se os dados de severidade de todos os experimentos ao modelo logístico, conforme estudos realizados por Gastaldi (2005), Hikishima (2008), Carneiro (2007) e Tsukahara et al. (2008).

Em função do ajuste pelo modelo logístico, foi realizado o cálculo da taxa aparente de infecção ( $r$ ) de cada tratamento, por experimento realizado, sendo:

$$r = (1/t) * (\ln(x/(1-x)) - \ln(x_0/(1-x_0))), \text{ onde:}$$

$t$  = tempo (dias),  $x$  = proporção de doença inicial (%severidade/100) e  $x_0$  = proporção de doença final (%severidade/100).

#### **3.3.2.1.5 Produtividade e peso de 1000 grãos**

A produtividade ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) e o peso de 1000 grãos (g) foram estimados colhendo-se 50 plantas nas linhas centrais da área útil de cada parcela, desprezando-se 1 metro do início e ao fim da parcela. A umidade das amostras foi corrigida para 13%.

#### **3.3.2.1.6 Análise de custos das aplicações**

A estimativa de custos das aplicações realizadas durante a condução dos experimentos foi baseada em informações disponibilizadas pela

Secretaria de Estado da Agricultura e do Abastecimento do Paraná (Seab), através do preço médio de R\$ 88,08, pago pelo agricultor em fevereiro de 2009, pelo litro do representante comercial do fungicida piraclostrobina + epoxiconazole (66,5 + 25 g i.a.ha<sup>-1</sup>) (SEAB, 2009). Não foram consideradas despesas além do custo por litro do produto comercial.

### **3.3.3 Análise dos dados**

Os dados foram submetidos à análise de variância pelo teste de F e as diferenças entre as médias, quando significativas, foram comparadas pelos testes de Scott-Knott, ao nível de 10% de probabilidade, usando-se o programa SASM-Agri (CANTERI et al., 2001).

## **3.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **3.4.1 Dados Climáticos**

A constatação dos primeiros sintomas da ferrugem asiática da soja nos experimentos avaliados são apresentados na Tabela 3.4.

A precipitação diária, temperatura média, temperatura máxima e mínima coletadas durante o ciclo de desenvolvimento da cultura nas áreas experimentais são apresentados nas Figuras 3.2, 3.3 e 3.4.

O experimento I, na safra 2006/2007, apresentou temperaturas médias a partir da constatação dos primeiros sintomas de 24,7 °C, com mínimas de 18,2 °C e máximas de 31,3 °C, e precipitação acumulada de 294,2 mm.

Durante a safra 2007/2008, as condições climáticas após a constatação dos primeiros sintomas no experimento II e III apresentaram temperaturas médias de 22,3 °C, com mínimas de 18,1 °C e máximas de 26,9 °C. A precipitação acumulada no período de 31/01/2008 a 20/04/2008 foi igual a 190,3

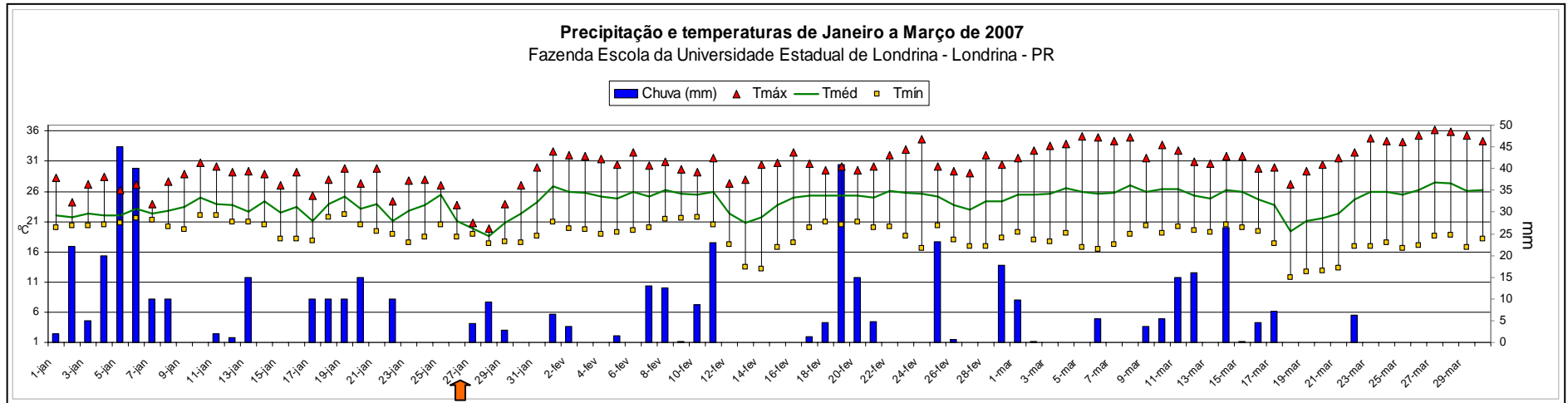
mm, apresentando um período de seca de 9 dias logo após a constatação dos primeiros sintomas. Para os experimentos IV e V a precipitação acumulada na área experimental no período de 07/02/2008 a 31/03/2008 foi de 270,5 mm, com temperaturas médias de 22,6 °C, com mínimas de 18,6 °C e máximas de 27,9 °C.

As condições climáticas dos experimentos nas duas safras favoreceram o desenvolvimento da ferrugem asiática da soja, exceto durante o período de estiagem ocorrido durante a safra 2007/2008, no início do processo infeccioso, na área experimental da Fazenda Escola da Universidade Estadual de Londrina.

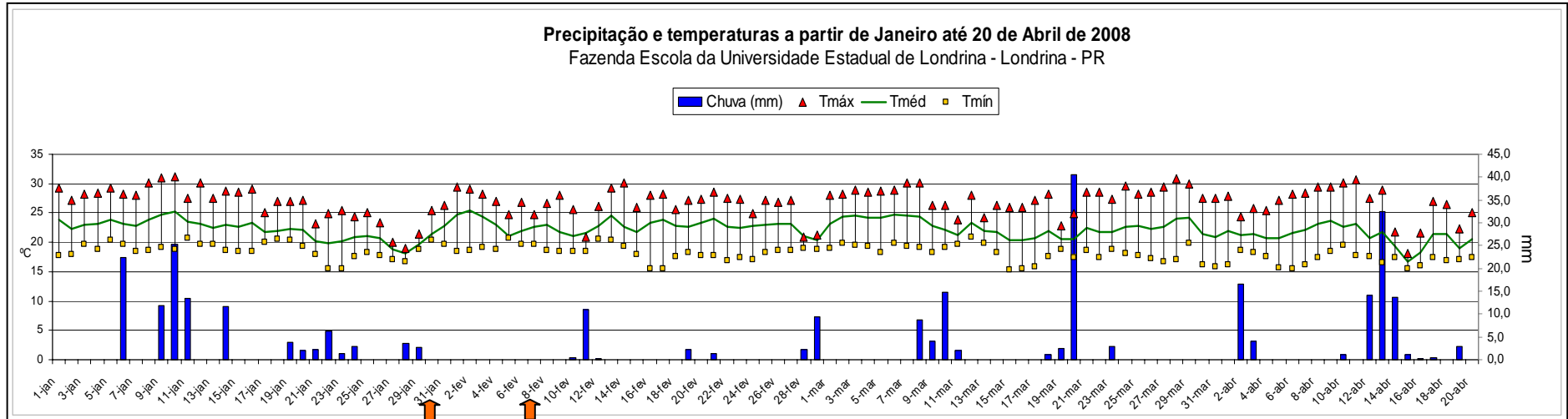
Segundo Marchetti et al. (1976), Melching et al. (1989) e Alves et al. (2006), o desenvolvimento da ferrugem asiática da soja ocorre numa faixa de temperatura ótima entre 15°C e 25°C, com mínima de 7°C e máxima de 28°C, e períodos de molhamento foliar entre 10 a 12 horas, com um mínimo de 6 horas.

A chuva é um fator importante para a ocorrência e desenvolvimento de doenças em plantas (BERGAMIN FILHO et al., 1995b), pois eleva a umidade do ar, proporciona o molhamento foliar e influencia, associado ao vento, na dispersão dos esporos. Estudos conduzidos na Tailândia por Kawuki et al. (2003) demonstraram que reduções de 10 a 15% na produção devido à *P. pachyrhizi* ocorreram em estações secas, comparadas com 100% de perdas ocorridas durante estações chuvosas.

Del Ponte et al. (2006a) e Tsukahara et al. (2008) avaliaram o processo de desenvolvimento da ferrugem a campo e confirmaram uma alta correlação da precipitação com a severidade final da ferrugem asiática da soja, portanto, de acordo com estes estudos, períodos de chuvas bem distribuídas ao longo do ciclo de desenvolvimento da cultura ou a ocorrência de estiagens podem interferir significativamente no processo epidêmico da ferrugem asiática da soja.

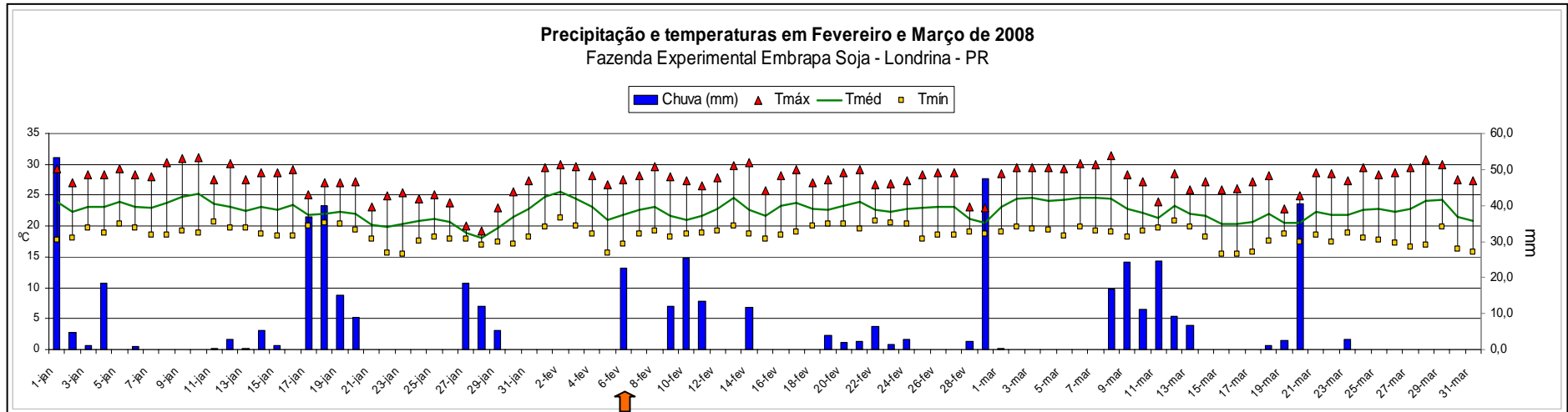


**Figura 3.2** – Precipitação diária (mm), temperatura média, temperatura máxima e mínima (°C) coletadas na área experimental da Fazenda Escola da Universidade Estadual de Londrina durante a safra 2006/2007, com a constatação dos primeiros sintomas da ferrugem asiática da soja no experimento I no dia 27 de janeiro de 2007.



**Figura 3.3** – Precipitação diária (mm), temperatura média, temperatura máxima e mínima (°C) coletadas na área experimental da Fazenda Escola da Universidade Estadual de Londrina durante a safra 2007/2008, com a constatação dos primeiros sintomas da ferrugem asiática da soja no experimento II no dia 31 de janeiro de 2008 e no experimento III no dia 08 de fevereiro de 2008.





**Figura 3.4** – Precipitação diária (mm), temperatura média, temperatura máxima e mínima (°C) coletadas na área experimental da Embrapa Soja durante a safra 2007/2008, com a constatação dos primeiros sintomas da ferrugem asiática da soja nos experimentos IV e V no dia 07 de fevereiro de 2008.

### 3.4.2 Processo de desenvolvimento da ferrugem asiática da soja

A constatação dos primeiros sintomas da ferrugem asiática da soja nos experimentos avaliados mostra uma relação entre data de semeadura e data de constatação dos primeiros sintomas (Tabela 3.4). No experimento II os primeiros sintomas ocorreram quando a cultura estava no estágio reprodutivo R5 (granação), aos 93 dias após a semeadura. Já os experimentos III e V tiveram a constatação dos primeiros sintomas em estádios de desenvolvimento anteriores, R1 e V5, respectivamente. Para os experimentos I e IV, na data de constatação dos primeiros sintomas a cultura apresentava-se no estágio de desenvolvimento em R4 e R5.1, respectivamente. Costamilan et al. (2005) em experimentos sequenciais, constataram a tendência de o início da epidemia ocorrer mais cedo em semeaduras cada vez mais tardias, fato este, devido a uma maior pressão de inóculo nas áreas produtivas.

**Tabela 3.4** – Época de constatação dos primeiros sintomas de ferrugem asiática da soja (*Phakopsora pachyrhizi*) observados nos experimentos conduzidos nas safras 2006/2007 e 2007/2008.

Experimento	Data de semeadura	Data de constatação dos primeiros sintomas	DAS*	Estádio de desenvolvimento	Incidência observada (%)
I	24/11/2006	27/01/2007	64	R4	0,01
II	30/10/2007	31/01/2008	93	R5.2	0,01
III	21/12/2007	08/02/2008	49	R1	0,01
IV	24/11/2007	07/02/2008	75	R5.1	0,01
V	22/12/2007	07/02/2008	47	V5	0,01

\*DAS = Dias após a semeadura.

Analisando a Tabela 3.5, pode-se afirmar que, de acordo com a ACCPD do tratamento 1 (testemunha não tratada), as condições ambientais para o desenvolvimento da doença foram favoráveis nos experimentos conduzidos em Londrina, PR.

**Tabela 3.5** –Área abaixo da curva de progresso da ferrugem asiática da soja (*Phakopsora pachyrhizi*) (AACPD) e taxa aparente de infecção (r) por tratamento nos experimentos conduzidos nas safras 2006/2007 e 2007/2008.

Trat.	Exp. I		Exp. II		Exp. III		Exp. IV		Exp. V		AACPD - média						
	AACPD	r	AACPD	r	AACPD	r	AACPD	r	AACPD	r							
1	51,30	a*	0,52	45,48	a	1,01	44,23	a	1,17	27,03	a	1,07	35,68	a	0,53	40,74	a
2	34,48	b	0,58	39,98	b	1,10	26,00	c	0,95	13,00	d	0,76	11,20	e	0,66	24,93	c
3	21,90	f	0,34	39,25	c	1,05	18,80	e	0,64	13,85	d	0,71	15,30	d	0,71	21,82	d
4	24,40	e	0,44	41,10	b	1,05	27,83	b	0,93	13,93	d	0,69	11,33	e	0,66	23,71	c
5	31,08	c	0,53	36,83	c	0,88	27,78	b	0,87	17,95	c	0,82	25,08	c	0,78	27,76	b
6	25,25	e	0,46	36,95	c	0,96	23,20	d	0,94	14,08	d	0,79	10,60	e	0,67	22,00	d
7	26,50	d	0,50	38,70	c	0,94	19,53	e	0,82	13,00	d	0,71	9,93	e	0,65	21,52	d
8	33,30	b	0,59	36,50	c	1,01	29,28	b	1,17	20,38	b	0,91	26,25	c	0,83	29,14	b
9	31,35	c	0,57	38,40	c	0,99	24,90	c	0,88	12,85	d	0,73	9,70	e	0,63	23,44	c
10	31,50	c	0,58	38,05	c	1,02	28,90	b	0,96	13,83	d	0,77	11,73	e	0,68	24,81	c
11	34,35	b	0,65	38,28	c	1,02	31,28	b	1,21	16,98	c	0,80	27,53	b	0,85	29,69	b
12	24,68	e	0,42	36,30	c	1,01	25,60	c	0,86	13,75	d	0,69	9,75	e	0,64	22,01	d
13	25,28	e	0,44	38,05	c	0,87	20,08	e	0,86	15,18	d	0,76	10,33	e	0,67	21,79	d
14	28,23	d	0,51	41,13	b	1,07	21,88	d	0,95	15,13	d	0,72	10,33	e	0,65	23,34	c
15	28,03	d	0,50	33,38	c	0,87	18,85	e	0,71	13,70	d	0,69	10,48	e	0,64	20,89	d
16	25,98	d	0,43	36,58	c	0,92	22,90	d	0,90	14,15	d	0,74	10,73	e	0,64	22,06	d
<b>CV%</b>	7,12			8,14			9,12			8,40			9,33			15,28	

\* Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Skott-Knott ( $P < 0,10$ ).

**Tabela 3.6** – Produtividade obtida ( $\text{kg/ha}^{-1}$ ), número de aplicações de fungicida (N.A.) e custo (R\$/ha) das aplicações realizadas por tratamento nos experimentos conduzidos nas safras 2006/2007 e 2007/2008; e análise conjunta dos dados obtidos durante o período.

Trat.	Exp. I			Exp. II			Exp. III			Exp. IV			Exp. V			Análise Conjunta								
	( $\text{kg/ha}^{-1}$ )	N.A.	R\$/ha	( $\text{kg/ha}^{-1}$ )	N.A.	R\$/ha	( $\text{kg/ha}^{-1}$ )	N.A.	R\$/ha	( $\text{kg/ha}^{-1}$ )	N.A.	R\$/ha	( $\text{kg/ha}^{-1}$ )	N.A.	R\$/ha	( $\text{kg/ha}^{-1}$ ) <sup>(1)</sup>	N.A. média <sup>(2)</sup>	R\$/ha <sup>(3)</sup>						
1	1855	a*	0	0	1614	a	0	0	1075	b	0	0	1606	a	0	0	709	b	0	0	1372	c	0	0
2	1743	a	3	132,12	2160	a	3	132,12	2693	a	3	132,12	2350	a	3	132,12	2109	a	3	132,12	2211	a	3	132,12
3	2150	a	3	132,12	1942	a	2	88,08	2374	a	3	132,12	1601	a	3	132,12	1774	a	3	132,12	1968	a	3	132,12
4	1907	a	3	132,12	1822	a	1	44,04	2689	a	3	132,12	2093	a	2	88,08	1850	a	2	88,08	2072	a	2	88,08
5	1896	a	2	88,08	1711	a	1	44,04	2388	a	2	88,08	1890	a	1	44,04	1022	b	1	44,04	1781	b	1	44,04
6	2098	a	4	176,16	1554	a	3	132,12	2290	a	3	132,12	2608	a	3	132,12	1649	a	3	132,12	2040	a	3	132,12
7	1861	a	3	132,12	2268	a	2	88,08	2652	a	2	88,08	2262	a	2	88,08	2002	a	2	88,08	2209	a	2	88,08
8	1623	a	2	88,08	1497	a	2	88,08	2353	a	1	44,04	2228	a	1	44,04	1276	b	1	44,04	1796	b	1	44,04
9	1866	a	3	132,12	1335	a	3	132,12	2711	a	3	132,12	2110	a	3	132,12	2181	a	3	132,12	2041	a	3	132,12
10	1953	a	2	88,08	1821	a	1	44,04	3250	a	2	88,08	2355	a	1	44,04	1946	a	2	88,08	2265	a	2	88,08
11	2028	a	2	88,08	1698	a	1	44,04	2542	a	1	44,04	2252	a	1	44,04	1639	a	1	44,04	2032	a	1	44,04
12	1862	a	3	132,12	2266	a	2	88,08	2455	a	1	44,04	2781	a	2	88,08	1656	a	3	132,12	2204	a	2	88,08
13	1841	a	3	132,12	1726	a	1	44,04	2733	a	2	88,08	2832	a	1	44,04	2182	a	2	88,08	2263	a	2	88,08
14	1970	a	2	88,08	1697	a	1	44,04	2840	a	2	88,08	2692	a	1	44,04	2368	a	2	88,08	2313	a	2	88,08
15	1975	a	3	132,12	1416	a	2	88,08	3162	a	2	88,08	2466	a	2	88,08	1669	a	2	88,08	2137	a	2	88,08
16	2054	a	3	132,12	2125	a	1	44,04	3010	a	2	88,08	2321	a	1	44,04	1872	a	2	88,08	2276	a	2	88,08
<b>CV%</b>	21,26	-	-	-	29,25	-	-	-	20,13	-	-	-	39,47	-	-	-	30,60	-	-	-	29,22	-	-	-

\* Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Skott-Knott ( $P < 0,10$ ).

<sup>(1)</sup> Produtividade média durante o período de realização dos experimentos. <sup>(2)</sup> Número médio de aplicações de fungicida realizadas durante o período de realização dos experimentos. <sup>(3)</sup> Custo médio das aplicações do fungicida, com base nos dados da Secretaria de Estado da Agricultura e do Abastecimento do Paraná (Seab), através do preço médio pago pelo agricultor em fevereiro de 2009.

**Tabela 3.7** – Peso de 1000 grãos (g) obtido por tratamento nos experimentos conduzidos nas safras 2006/2007 e 2007/2008.

<b>Peso de 1000 grãos (g)</b>						
<b>Trat.</b>	<b>Exp. I</b>	<b>Exp. II</b>	<b>Exp. III</b>	<b>Exp. IV</b>	<b>Exp. V</b>	<b>Média<sup>(1)</sup></b>
<b>1</b>	144 a*	139 a	105 b	85 a	83 c	111 c
<b>2</b>	146 a	159 a	175 a	107 a	111 a	140 a
<b>3</b>	150 a	161 a	170 a	98 a	107 a	137 a
<b>4</b>	136 a	162 a	167 a	105 a	114 a	137 a
<b>5</b>	145 a	157 a	162 a	95 a	90 b	130 b
<b>6</b>	149 a	155 a	162 a	105 a	113 a	137 a
<b>7</b>	146 a	162 a	175 a	103 a	116 a	140 a
<b>8</b>	139 a	146 a	158 a	99 a	93 b	127 b
<b>9</b>	146 a	143 a	159 a	102 a	117 a	133 a
<b>10</b>	152 a	152 a	162 a	104 a	111 a	136 a
<b>11</b>	149 a	147 a	151 a	102 a	95 b	129 b
<b>12</b>	149 a	160 a	158 a	106 a	111 a	137 a
<b>13</b>	150 a	151 a	173 a	104 a	120 a	140 a
<b>14</b>	144 a	148 a	170 a	102 a	115 a	136 a
<b>15</b>	149 a	141 a	172 a	107 a	113 a	136 a
<b>16</b>	152 a	154 a	167 a	104 a	112 a	138 a
<b>CV%</b>	7,32	10,36	7,86	9,00	5,51	9,23

\* Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Skott-Knott ( $P < 0,10$ ).

<sup>(1)</sup> Peso médio de 1000 grãos (g) durante o período de realização dos experimentos.

### 3.4.3 Eficiência dos tratamentos

A severidade média de cada tratamento foi representada pela área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD) e juntamente com a taxa aparente de infecção ("r") propiciaram a análise do comportamento do processo epidêmico. Todos os experimentos, em ambas as safras, apresentaram baixo CV%, ficando abaixo de 10% (Tabela 3.5).

#### Experimento I – safra 2006/2007

Os tratamentos que apresentaram menor valor de AACPD e "r" e, conseqüentemente, propiciaram o melhor controle da ferrugem asiática da soja, foram os tratamentos 3, 4, 6, 12 e 13. O intervalo entre aplicações para os tratamentos 3 e 4 foram respectivamente de 15 e 21 dias, com aplicações consecutivas até R5.5 e para o tratamento 6 intervalo entre aplicações definido em 15 dias com aplicações consecutivas até R6. Os tratamentos 12 e 13 tinham intervalo entre aplicações definido em 15 dias e aplicações após 1 e 2 períodos favoráveis de chuva, respectivamente (Tabela 3.5).

O número de aplicações (N.A.) dos tratamentos 3,4,12 e 13 foram de 3 aplicações, sendo que o tratamento 6 teve maior N.A. e maior custo.

Em relação à produtividade e peso de 1000 grãos, não houve diferenças estatísticas pelo teste de Skott-Knott ( $P < 0,10$ ) entre os tratamentos do experimento I, mostrando que a tomada de decisão pelo controle químico, independente do parâmetro adotado ou da eficiência no controle, não propiciou um acréscimo nos componentes de rendimento avaliados em relação ao não controle do progresso da ferrugem asiática da soja; tal fato nos mostra que a intensidade da doença não provocou danos suficientes na área foliar para impactar na redução do potencial produtivo do experimento, mesmo sendo a constatação dos primeiros sintomas em R4, no início da formação dos grãos (Tabelas 3.6 e 3.7).

Considerando a imprevisibilidade do impacto do processo epidêmico nos componentes de rendimento durante a safra, quando analisamos comparativamente os custos das aplicações para o controle da ferrugem asiática da soja, observou-se que os tratamentos com duas aplicações seriam economicamente

a melhor opção.

### **Experimento II – safra 2007/2008**

Os tratamentos do experimento II apresentaram alto valor de AACPD e “r”, mas somente os tratamentos 1 (testemunha não tratada), 2, 4 e 14 diferiram estatisticamente pelo teste de Skott-Knott ( $P < 0,10$ ) dos outros tratamentos, apresentando o pior controle do progresso da doença.

A alta AACPD e “r” do tratamento 14 pode ser explicada pelo atraso no controle da doença, pois havia a necessidade de três períodos favoráveis de chuva para a realização do controle químico e durante o início da epidemia houve um período em que as chuvas foram irregulares e não atingiram o volume necessário de acordo com o parâmetro estipulado, porém foram suficientes para o progresso da doença.

O atraso na aplicação programada do tratamento 2 (R5.5) em relação ao início da doença (R5.2) foi determinante para o aumento do progresso da ferrugem asiática da soja, apresentando alta AACPD, com maior valor de “r” em relação aos demais tratamentos. Esse resultado é semelhante ao observado por Reis et al. (2007) e Godoy e Henning (2008), evidenciando que a calendarização não é a maneira mais eficiente para definição de reaplicações no controle da ferrugem asiática da soja, pelo fato de que o processo de infecção pode ocorrer em qualquer estágio de desenvolvimento das plantas de soja.

A diferença estatística do valor da AACPD observada no tratamento 4 em relação aos tratamentos 3 e 5, provavelmente ocorreu devido a um erro durante a condução do experimento, em que uma das aplicações programadas não foi realizada.

Não houve diferenças estatísticas entre os tratamentos do experimento III, pelo teste de Skott-Knott ( $P < 0,10$ ), em relação à produtividade e peso de 1000 grãos, mostrando que a decisão pelo controle químico, independente do parâmetro adotado ou da eficiência no controle, não evidenciou um acréscimo nos componentes de rendimento avaliados em relação ao não controle do progresso da ferrugem asiática da soja, tal fato nos mostra que a intensidade da doença não provocou danos suficientes na área foliar para impactar na redução do potencial produtivo do experimento, mesmo sendo a constatação dos primeiros sintomas em

R5.2, com a maioria das vagens ainda entre 10% e 25% de granação (Tabelas 3.6 e 3.7).

Os tratamentos 5, 10, 11, 13 e 16 apresentaram apenas 1 aplicação e conseqüentemente o menor custo, não apresentando diferenças estatísticas pelo teste de Skott-Knott ( $P < 0,10$ ) em relação aos demais tratamentos equivalentemente eficientes porém com N.A. e custo superiores (Tabelas 3.5 e 3.6).

### **Experimento III – safra 2007/2008**

Os tratamentos mais eficientes para o controle da ferrugem asiática da soja foram o 3, 7, 13 e 15, pois, apresentaram baixos valores de AACPD e da “r”; sendo que o intervalo entre aplicações definido para o tratamento 3 foi de 15 dias com aplicações consecutivas até R5.5 e do tratamento 7 de 21 dias com aplicações consecutivas até R6. O tratamento 13 teve reaplicações após 2 períodos favoráveis de chuva e intervalo entre aplicações definido de 15 dias e o tratamento 15 com reaplicações após 10 mm de chuva acumulada.

A diferença observada entre o tratamento 12 e os tratamentos 13 e 14 ocorreu devido a um erro durante a condução do experimento, em que a última das aplicações não foi realizada. As chuvas melhor distribuídas em relação ao período de infecção (R1) foi um fator decisivo para a eficiência dos tratamentos que tinham como parâmetro a precipitação, quando comparamos o mesmo período em relação ao experimento II, em que a constatação dos primeiros sintomas se deu com a cultura no estádio R5.2.

Assim como nos estudos desenvolvidos por Del Ponte et al. (2006a) e Tsukahara et al. (2008), fica evidente que a precipitação possui alta relação com o processo de desenvolvimento da ferrugem asiática da soja.

Apenas o tratamento 1 (testemunha não tratada), apresentou diferenças estatísticas pelo teste de Skott-Knott ( $P < 0,10$ ) em relação aos outros tratamentos do experimento III, para a produtividade e peso de 1000 grãos, evidenciando que a tomada de decisão pelo controle químico, independente do parâmetro adotado ou da eficiência no controle, foi determinante para o controle do progresso da ferrugem asiática da soja, com a constatação dos primeiros sintomas em R1, em que a formação dos grãos ainda não havia iniciado (Tabelas 3.6 e 3.7).

Todos os tratamentos com uma aplicação e conseqüentemente com



menor custo, foram tão eficientes quanto os demais, com mais aplicações, para garantir o potencial produtivo do experimento, em comparação à testemunha sem controle da ferrugem asiática da soja (Tabelas 3.5 e 3.6).

#### **Experimento IV – safra 2007/2008**

Durante a safra 2007/2008 os tratamentos 1 (testemunha não tratada), 5, 8 e 11 do experimento IV, apresentaram diferença estatística significativa pelo teste de Skott-Knott ( $P < 0,10$ ) dos demais em relação a AACPD, apresentando os maiores valores, conseqüentemente, propiciando o pior controle do progresso da doença. Sendo que os tratamentos 5 e 8 tinham como parâmetro definido 28 dias de intervalo entre aplicações, com aplicações consecutivas até R5.5 e R6, respectivamente, e o tratamento 11 um período de 8 dias de favorabilidade climática igual ou superior a 90%.

De acordo com o teste de Skott-Knott ( $P < 0,10$ ), não houve diferenças estatísticas entre os tratamentos do experimento IV em relação a produtividade e peso de 1000 grãos, evidenciando que a tomada de decisão pelo controle químico, independente do parâmetro adotado ou da eficiência no controle, não mostrou um acréscimo nos componentes de rendimento avaliados em relação ao não controle do progresso da ferrugem asiática da soja, tal fato nos mostra que a intensidade da doença não provocou danos suficientes na área foliar para impactar na redução do potencial produtivo do experimento, mesmo sendo a constatação dos primeiros sintomas em R5.1, com a maioria das vagens com grãos em início de formação, perceptíveis ao tato a 10% da granação (Tabelas 3.6 e 3.7).

Os tratamentos com menor custo foram os tratamentos 5, 8, 10, 11, 13, 14 e 16, com uma aplicação. Dentre estes, os tratamentos 10, 13, 14 e 16 foram agrupados entre os mais eficientes no controle da ferrugem asiática da soja, apresentando, assim a melhor eficiência e o menor custo (Tabelas 3.5 e 3.6).

#### **Experimento V – safra 2007/2008**

Neste experimento o início da doença ocorreu ainda na fase vegetativa, V5, mas tal fato não influenciou para um aumento significativo da taxa aparente de infecção ( $r$ ) quando comparado com os outros experimentos.

Os maiores valores de AACPD foram para os tratamentos 1 (testemunha não tratada), 5, 8 e 11, mostrando que o intervalo de 28 dias entre uma aplicação e outra é excessivo para garantir o controle químico do progresso da doença, quando comparado com os outros tratamentos, bem como um período de 8 dias com favorabilidade climática igual ou superior a 90%. Estes tratamentos tiveram apenas uma aplicação no decorrer do processo de desenvolvimento da ferrugem asiática da soja (Tabela 3.6). Estes valores foram semelhantes aos verificados no experimento IV.

O tratamento 1 (testemunha não tratada), 5 e 8, apresentaram diferença estatística significativa pelo teste de Skott-Knott ( $P < 0,10$ ) dos demais tratamentos do experimento V, para produtividade e peso de 1000 grãos, com o tratamento 11 diferenciando-se estatisticamente apenas para o peso de 1000 grãos. Esta observação nos mostra que as diferenças de eficiência de controle do progresso da doença entre os tratamentos interferiram nos componentes de rendimento avaliados (Tabelas 3.6 e 3.7). Os tratamentos 5, 8 e 11 apresentaram apenas uma aplicação de fungicida durante a safra.

A infecção ocorrida em V5 foi fundamental para identificar as diferenças observadas entre os tratamentos em relação à interferência nos componentes de rendimento avaliados.

Os tratamentos com duas aplicações foram tão eficientes quanto aqueles que receberam três aplicações, porém com menor (Tabelas 3.5 e 3.6).

Analisando todos os experimentos realizados nas duas safras, observou-se que nos experimentos I, II e IV não foram verificadas diferenças estatísticas significativas pelo teste de Skott-Knott ( $P < 0,10$ ) para produtividade e peso de 1000 grãos, sendo que apresentaram constatação dos primeiros sintomas da ferrugem asiática da soja nos estádios R4, R5.2 e R5.1, respectivamente, semelhante ao obtido por Oliveira et al. (2005), em estudos de avaliação de resistência de cultivares precoces e tardios à ferrugem asiática da soja, semeados em diferentes épocas, que afirmam que quanto mais tarde a ferrugem asiática da soja iniciar no ciclo da cultura, menor será o número de pulverizações necessárias, maior será a eficiência do fungicida e conseqüentemente menor será a redução da produtividade (Tabela 3.6).

De acordo com Hikishima (2008), devido o fungo *P. pachyrhizi* ser

um parasita biotrófico existe a tendência das sementeiras tardias terem maior quantidade de inóculo, o que aumenta a chance de infecções bem sucedidas, mesmo em situações de clima desfavorável. Assim, a doença poderá ocorrer nos estádios fenológicos iniciais da cultura e aumentar os danos na produtividade, como observado nos experimentos III e V, que apresentaram constatação dos primeiros sintomas da ferrugem asiática da soja nos estádios R1 e V5, respectivamente (Tabela 3.6).

Carneiro (2007), sob condições de campo, observou que a produtividade foi reduzida em 11,4%, 48,8% e 77% à medida que a sementeira foi atrasada em três diferentes épocas de sementeira, comparando-se parcelas não tratadas e tratadas com fungicida para o controle da ferrugem asiática da soja. Tais dados corroboram com o perda ocorrida no tratamento 1, nas sementeiras mais tardias, nos experimentos III e V, em diferentes locais e condições climáticas, que apresentaram perdas de produtividade de 60% em relação à média de produtividade dos tratamentos com controle químico (Tabela 3.6).

Quando analisamos os dados obtidos de todos os experimentos de forma conjunta verificamos que a tomada de decisão para o controle químico evitou perdas de produtividade de 35%, em média, quando comparamos a produtividade média da testemunha sem controle com a média dos demais tratamentos durante os experimentos realizados nas safras 2006/2007 e 2007/2008 (Tabela 3.6).

De acordo com os experimentos realizados, os tratamentos com melhor desempenho no controle do progresso da ferrugem asiática da soja, em relação ao intervalo entre aplicações, foram os tratamentos com menor intervalo entre aplicações, de 15 e 21 dias, sendo que, as aplicações realizadas até R5.5 não diferiram das realizadas até R6, em relação à produtividade e peso de 1000 grãos, como constatado por Hoffmann (2004), em seus estudos, nos quais aplicações com fungicidas a partir dos estádios R5.5 (vagens entre 75% e 100% de granação) não têm originado incremento de rendimento, apesar de trazer benefícios à qualidade das sementes (germinação, vigor e menor incidência do fungo).

Soares et al. (2004) em estudos com nove diferentes fungicidas, observaram também maior eficiência no controle da ferrugem asiática da soja com reaplicações após 15 dias.

O tratamento 2, com aplicações de fungicida nos estádios de desenvolvimento R1, R4 e R5.5, mostrou eficiência variável quando analisado em

todos os experimentos, devido principalmente ao estágio fenológico da cultura no momento da constatação dos primeiros sintomas, aliado às condições climáticas ideais para o desenvolvimento da doença.

Muitas vezes o intervalo entre uma aplicação e outra pode não ser suficiente para garantir o controle da ferrugem asiática da soja, principalmente, quando a taxa de progresso doença for alta, como visto na “r” dos experimentos I e II, comparando os tratamentos. Portanto, esta estratégia de controle pode não ser a mais adequada no momento de tomada de decisão para o controle químico. Resultados semelhantes foram observados por Reis et al. (2007) e Godoy e Henning (2008), que salientam que o monitoramento da ferrugem asiática da soja para a identificação dos primeiros sintomas deve ser realizado para se definirem as aplicações iniciais.

Os tratamentos 9 e 10, que consideraram períodos de 2 e 4 dias com favorabilidade climática igual ou superior a 90% para determinar o controle químico, foram mais eficientes no controle do progresso da ferrugem asiática da soja durante as safras 2006/2007 e 2007/2008, de acordo com a AACPD média (Tabela 3.5). Nos experimentos I e III, estes tratamentos não foram agrupados dentre os mais eficientes, porém, foram eficazes para evitar reduções estatisticamente significativas na produtividade e peso de 1000 grãos (Tabelas 3.6 e 3.7).

Nestes experimentos o processo de infecção simulado com dados de temperatura e molhamento, não foram suficientes para determinar o melhor momento de controle químico de maneira tão eficaz, quanto nos outros experimentos realizados. Porém, o fato da utilização de um modelo de previsibilidade de ocorrência da doença tem papel importante como ferramenta de análise de risco, visando orientar a tomada de decisão quanto ao manejo da ferrugem asiática da soja e gerando subsídio para sistemas de alerta de ocorrência de doenças, em conjunto com o monitoramento da chegada do inóculo nas áreas produtoras (DEL PONTE et al., 2006b).

Considerando o custo médio das aplicações durante as safras 2006/2007 e 2007/2008, de acordo com a Tabela 3.6, observamos que o tratamento 2, com aplicações calendarizadas de acordo com o estágio fenológico da cultura, os tratamentos 3 e 6, com intervalo de 15 dias entre aplicações e o tratamento 9 com reaplicações após 2 dias com favorabilidade climática igual ou superior a 90%, apresentaram os maiores custos de estratégia de controle da ferrugem asiática da

soja, com uma média de 3 aplicações.

Os tratamentos 5 e 8, com intervalo de 28 dias entre aplicações e o tratamento 11, com reaplicações após 8 dias com favorabilidade climática igual ou superior a 90%, apresentaram os menores custos de estratégia de controle da ferrugem asiática da soja, porém não foram os mais eficazes em relação às demais estratégias de controle químico para evitar danos no peso de 1000 grãos e na produtividade, que teve como exceção o tratamento 11.

Os tratamentos 12, 13 e 14, que tiveram como estratégia para o controle químico da ferrugem asiática da soja aplicações após a constatação dos primeiros sintomas e reaplicações com a ocorrência de períodos favoráveis de chuva, foram tão eficientes quanto os tratamentos que tinham como parâmetro reaplicações de acordo com intervalo de 15 e 21 dias entre aplicações, em relação a produtividade e peso de 1000 grãos, sendo que, o número de aplicações realizadas foram menores, com média de 2 aplicações durante os experimentos avaliados nas duas safras, e conseqüentemente, menor custo (Tabelas 3.6 e 3.7). Quando consideramos a AACPD média, os tratamentos 12 e 13 foram superiores em relação ao tratamento 14, quanto ao controle da ferrugem asiática da soja, porém, como visto anteriormente, esta diferença não foi significativa para impactar nos componentes de rendimento avaliados (Tabela 3.5).

Seguindo o mesmo padrão anteriormente citado, os tratamentos 15 e 16, que tiveram como parâmetro de reaplicação após a constatação dos primeiros sintomas a chuva acumulada, apresentaram controle eficiente da ferrugem asiática da soja, com AACPD média semelhante aos outros tratamentos equivalentemente eficientes, garantindo o potencial dos componentes de rendimento avaliados e apresentando duas aplicações, em média, nos experimentos conduzidos nas safras 2006/2007 e 2007/2008.

Os dados apresentados confirmam os obtidos por Del Ponte et al. (2006a) que estudaram a associação de variáveis climáticas com a severidade final da ferrugem asiática da soja de várias epidemias em 21 diferentes regiões produtoras do Brasil e observaram que a severidade final da ferrugem asiática da soja está fortemente correlacionado com as chuvas. Os maiores coeficientes de correlação entre chuva e severidade da doença foram para precipitação acumulada e número de dias com chuva acima de 1mm.

Tsukahara et al. (2008) também avaliaram o processo de

desenvolvimento da ferrugem a campo e obtiveram uma alta correlação da precipitação com a severidade final da ferrugem asiática da soja.

Estes resultados, aliados aos resultados observados nas estratégias de controle químico baseadas na precipitação deste estudo, indicam a viabilidade destas estratégias no sentido de determinar o momento de aplicação de fungicidas para o controle químico do processo epidêmico da ferrugem asiática da soja.

Como citado por Bergamin Filho e Amorim (1996), a chuva provavelmente permite a perfeita sincronização para ocorrência da doença por favorecer a liberação dos uredósporos, fornecer água líquida para a germinação e sob condições tropicais manter a temperatura para infecção próxima ao ideal. Pode-se acrescentar a estes fatores o vento associado à ocorrência da chuva, favorecendo a disseminação da doença, além da nebulosidade que protege os esporos da radiação solar.

Uma vantagem da utilização da precipitação diária como parâmetro de estratégia de tomada de decisão para o controle da ferrugem asiática da soja é a facilidade de obtenção a campo dos dados em comparação com outras variáveis como a duração molhamento foliar, porém, modelos de estimativas da favorabilidade climática para ocorrência da doença que sejam disponibilizados ao agricultor na forma de mapas de risco, facilitam a empregabilidade da estratégia.

### 3.5 CONCLUSÃO

De acordo com as estratégias avaliadas para tomada de decisão para o controle químico da ferrugem asiática da soja, com a utilização do fungicida piraclostrobina + epoxiconazole (66,5 + 25 g i.a.ha<sup>-1</sup>), considerando o controle do progresso da doença e o número adequado de aplicações, os tratamentos 4, 10, 12, 13, 14, 15 e 16 foram os mais eficientes.

Aplicações realizadas até R5.5 não diferiram das aplicações realizadas até R6 no sentido de incrementar os componentes de rendimento avaliados.

A utilização da favorabilidade climática para ocorrência da doença e de parâmetros baseados na precipitação foram eficientes estratégias de tomada de decisão para o controle químico da ferrugem asiática da soja.

#### **4 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

A tomada de decisão para o controle químico da ferrugem asiática da soja deve considerar a constatação dos primeiros sintomas da doença, estágio de desenvolvimento da cultura, a precipitação e o intervalo entre aplicações.

A utilização de estratégias que possibilitem determinar o melhor momento de tomada de decisão para a aplicação de fungicidas no controle da ferrugem asiática da soja podem contribuir para a redução das perdas de produtividade, das aplicações de fungicidas desnecessárias e dos custos de produção.



## REFERÊNCIAS

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, Suprema. 2006. p.37-59.

BERGAMIN FILHO, A. & AMORIM, L. Curvas de progresso da doença. In: Armando Bergamin Filho. (Org.). **Manual de fitopatologia: princípios e conceitos**. 3 ed., v.1, São Paulo: Ceres, 1995a. p. 602-626.

BERGAMIN FILHO, A.; LOPES, D.B.; AMORIM, L.; GODOY, C.V. & BERGER, R.D. Avaliação de danos causados por doenças de plantas. **Revisão Anual de Patologia de Plantas**, v.3 p.133-170. 1995b.

BERGAMIN FILHO, A. & AMORIM, L. **Doenças de plantas tropicais: epidemiologia e controle econômico**. São Paulo: Editora Agronômica Ceres Ltda, 1996. 289p.

BROGIN, R.L. **Mapeamento de genes de resistência à ferrugem e de QTLs envolvidos na resistência à septoriose em soja**. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2005. 93p. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas).

BROMFIELD, K.R. Soybean rust.. St. Paul, MN, 1984. 64p. **American Phytopathological Society**. Monograph N<sup>o</sup>. 11.

CAMPBELL, C.L. & MADDEN, L.V. **Introduction to plant disease epidemiology**. New York: John Wiley, 1990. 531p.

CANTERI, M.G., ALTHAUS, R.A., VIRGENS FILHO, J.S., GIGLIOTI, E.A. & GODOY, C.V. SASM – Agri.Sistema para análise e separação de médias em experimentos agrícolas pelos métodos Scott-Knott, Tukey e Duncan. **Revista Brasileira de Agrocomputação**, v.1, n.2, p.18-24. 2001.

CANTERI, M.G., CARAMORI, P., TSUKAHARA, R., SILVA, O.C., FARIA, R. & GODOY, C.V. A system to map risk of infection by *Phakopsora pachyrhizi* for Parana State, Brazil. **Phytopathology** St. Paul, v.95 S16, 2005.

CARNEIRO, L.C. **Caracterização epidemiológica da resistência parcial e análise de tolerância de genótipos de soja à ferrugem Asiática**. 2007.75p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, da Universidade de São Paulo, SP.

COSTAMILAN, L.M.; GODOY, C.V.; ROESE, A.D.; SANTOS, A.M. & ANDREATTA, R.B. . Evolução de ferrugem em quatro épocas de semeadura de soja. In: Congresso Brasileiro de Fitopatologia, 2005, Brasília. **Fitopatologia Brasileira**, v. 30 (Suplemento), p.69, S118, 2005.

DEL PONTE, E.M. & ESKER, P.D. Meteorological factors and Asian soybean rust epidemics – A systems approach and implications for risk assessment. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.65, special issue, p.88-97, 2008.

DEL PONTE, E.M.; GODOY, C.V.; LI, X. & YANG, X.B. Predicting Severity of Asian Soybean Rust Epidemics with Empirical Rainfall Models. **Phytopathology**, St. Paul, v. 96, n.7, p. 797-803, 2006a.

DEL PONTE, E.M.; GODOY, C.V.; CANTERI, M.G.; REIS, E.M. & YANG, X.B. Models and applications for risk assessment and prediction of soybean rust epidemics. **Fitopatologia Brasileira**, v.31, p.533-544, 2006b.

EMBRAPA – **Empresa Brasileira de pesquisa agropecuária**. Disponível em <[http://www.cnpso.embrapa.br/noticia/ver\\_noticia.php?cod\\_noticia=469](http://www.cnpso.embrapa.br/noticia/ver_noticia.php?cod_noticia=469)> Acesso em 5 ago 2008.

ESKER, P.D., DEL PONTE, E.M., MARTINS, M.C. KATO, F.V., SIQUERI, F.V., SILVA, L.H. & GODOY, C.V. Effects of location and year on the temporal disease progress of Asian soybean rust in Brazil. **Phytopathology**, v.97, S.33, 2007.

FRIESLAND, H. & SCHRÖDTER, H. The analysis of weather factors in epidemiology. In: KRANZ, J.; ROTEM, L. (Ed.) **Experimental techniques in plant disease epidemiology**. Heidelberg: Springer-Verlag, 1998. p.115-134.

GASTALDI, L.F. **Eficiência de fungicidas e efeito do ambiente na severidade da ferrugem asiática causada por *Phakopsora pachyrhizi* em soja**. Londrina, PR, 2005. 66p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual de Londrina.

GODOY, C.V. & CANTERI, M.G. Efeito protetor, curativo e erradicante de fungicidas no controle da ferrugem causada por *Phakopsora pachyrhizi*, em casa de vegetação. **Fitopatologia Brasileira**, v.29, p.97-101, 2004.

GODOY, C.V. & HENNING, A.A. Tratamento de semente e aplicação foliar de fungicidas para o controle da ferrugem-da-soja. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.43, n.10, p.1297-1302, 2008.

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

HARTMAN, G.L.; WANG, T.C. & TSCHANZ, A.T. Soybean rust development and quantitative relationship between rust severity and soybean yield. **Plant Disease**, v.75, n.6, p.596-600, 1991.

HARTMAN, G.L.; MILES, M.R. & FREDERICK, R.D. Breeding for resistance to soybean rust. **Plant Disease**, (symposium) v. 89, p.664-666, 2005.

HIKISHIMA, M. **Quantificação de danos e relações entre severidade da doença, medidas de refletância e produtividade no patossistema ferrugem asiática da soja**. Londrina, PR, 2008. 71p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual de Londrina.

HOFFMANN, C.M. & BLOMBERG, M. Estimation of leaf area index of Beta vulgaris L. based on optical remote sensing data. **Journal of Agronomy & Crop Science**, v.190, p.197-204, 2004.

JULIATTI, F.C.; POLIZEL, A.C. & JULIATTI, F.C. **Manejo integrado de doenças na cultura da soja**. 1 ed. Uberlândia-MG. 327p.:il. 2002. p15 - 39.

KAWUKI, R.S.; ADIPALA, E. & TUKAMUHABWA, P. Yield loss associated with soya bean rust (*Phakopsora pachyrhizi* Syd.) in Uganda. **Phytopathology**, v.151, p.7-12, 2003.

KRANZ, J. & ROYLE, J. Perspectives in mathematical modeling of plant disease epidemics. In: SCOTT, P.R. & BAINBRIDGE, A. (Ed.) **Plant Disease Epidemiology**. Oxford:Blackwell, 1978, p.111-119.

MARCHETTI, M.A.; MELCHING, J.S. & BROMFIELD, K.R. The effects of temperature and dew period on germination and infection by uredospores of *Phakopsora pachyrhizi*. **Phytopathology**, v.66, nº 6, 1976.

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

OLIVEIRA, A.C.B., GODOY, C.V. & MARTIN.S., M.C. Avaliação da tolerância de cultivares de Soja à ferrugem Asiática no oeste da Bahia. **Fitopatologia Brasileira**, v.30, n.6, p.658-662, 2005.

REIS, E.M.; LIMA NETO, V.C. & GODOY, C.V.; ROSA, C.T.; CASTANHO, H.E.; VICENTE, N.G. Controle químico da ferrugem asiática da soja na região Sul do Paraná. **Scientia Agraria**, v.8, n.3, p.319-323, 2007.

REIS, E.M. & BRESOLIN, A.C.R. Fatores climáticos e doenças de plantas. In: **Previsão de doenças de plantas**. 1 ed. Passo Fundo-RS. UPF Editora. 316p. 2004. p.23-45.

RITCHIE, S.; HANWAY, J.J. & THOMPSON, H.E. How a Soybean Plant Develops. Ames, Iowa State University of Science and Technology, Coop. Ext. Serv., 1982. 20 p. (Special Report, 53)

ROTEM, J. Climatic and weather influences on epidemics. In: HORSFAL, J.G. & COWLING, E.B. **Plant Disease**. New York, v.2, p.317-334, 1978.

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. **Plant Disease**, v.89, p.774, 2005.

SEAB, 2009. Secretaria de Estado da Agricultura e do Abastecimento do Paraná. Preços / Preços Pagos. Disponível em:<<http://www.seab.pr.gov.br/>>. Acesso em: 25 abr. 2009.

SENTELHAS, P.C.; DALLA MARTA, A.; ORLANDINI, S.; SANTOS, E.A.; GILLESPIE, T.J. & GLEASON, M.L. Suitability of relative humidity as an estimator of leaf wetness duration. **Agricultural and Forest Meteorology**. v. 148, p. 392-400, 2008.

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

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

SUTTON, J.C.; GILLESPIE, T.J. & HILDEBRAND, P.D. Monitoring weather factors in relation to plant disease. **Plant disease**, v.68 p.78-84, 1984.

TCHANZ, A.T. Soybean rust epidemiology: Final report. **Asian Vegetable Research and Development Center**, Shanhau, Taiwan. 1982.

TCHANZ, A.T. & WANG, T.C. Interrelationship between soybean development, resistance, and *Phakopsora pachyrhizi*. **Phytopathology**, v.81, n.11, p.1.420-1.426, 1985.

TSUKAHARA, R.Y.; HIKISHIMA, M. & CANTERI, M.G. Relações entre clima e o progresso da ferrugem asiática (*Phakopsora pachyrhizi*) em duas micro-regiões do Estado do Paraná. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v.29, n.1, p.47-52, 2008.

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

YANG, X.B.; TSCHANZ, A.T.; DOWLER, W.M. & WANG, T.C. Development of yield loss models in relation to reductions of components of soybeans infected with *Phakopsora pachyrhizi*. **Phytopathology**, v.81, n.11, p.1.420-1.426, 1991.

YORINORI, J.T.; UTIAMADA, C.M.; SATO, L.N.; MUTTA; F.T.T. & ROIN, F.B. Perdas ocasionadas pela ferrugem da soja (*Phakopsora pachyrhizi*). In: Congresso Brasileiro de fitopatologia, 2003, Uberlândia. **Fitopatologia Brasileira** (Suplemento), v.28, p.210, 2003.

YORINORI, J.T.; NUNES JUNIOR, J. & LAZZAROTTO, J.J. Ferrugem "Asiática" da soja no Brasil: evolução, importância econômica e controle. In: Documentos Embrapa Soja, n. 247, 2004, Londrina. **Documentos...**Londrina: Embrapa Soja, 2004. 36p.

YORINORI, J.T.; PAIVA, W.M.; FREDERICK, R.D.; COSTAMILAN, L.M.;  
BERTAGNOLLI, P.F. HARTMAN, G.L.; 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.