



UNIVERSIDADE
ESTADUAL DE LONDRINA

CLAUDINEI ANTONIO MINCHIO

**DETERMINAÇÃO DA PROVÁVEL ORIGEM DO INÓCULO DE
Phakopsora pachyrhizi E INTERAÇÃO ENTRE ESTÁDIO
FENOLÓGICO, FAVORABILIDADE AMBIENTAL E
PRESENÇA DO INÓCULO PARA CONTROLE DA DOENÇA**

Londrina
2011

CLAUDINEI ANTONIO MINCHIO

**DETERMINAÇÃO DA PROVÁVEL ORIGEM DO INÓCULO DE
Phakopsora pachyrhizi E INTERAÇÃO ENTRE ESTÁDIO
FENOLÓGICO, FAVORABILIDADE AMBIENTAL E
PRESENÇA DO INÓCULO PARA CONTROLE DA DOENÇA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Estadual de Londrina, como requisito parcial para obtenção do Título de Mestre em Agronomia.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo G. Canteri

Londrina
2011

**Catálogo elaborado pela Divisão de Processos Técnicos da Biblioteca Central da
Universidade Estadual de Londrina.**

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)

M663d Minchio, Claudinei Antonio.

Determinação da provável origem do inóculo de *Phakopsora pachyrhizi* e interação entre estágio fenológico, favorabilidade ambiental e presença do inóculo para controle da doença / Claudinei Antonio Minchio. – Londrina, 2011.

110 f. : il.

Orientador: Marcelo Giovanetti Canteri.

Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual de Londrina, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, 2011.

Inclui bibliografia.

1. Ferrugem asiática – Teses. 2. Pragas agrícolas – Controle integrado – Teses. 3. Ferrugem da soja (Doença) – Teses. 4. Doenças e pragas – Controle – 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

CLAUDINEI ANTONIO MINCHIO

**DETERMINAÇÃO DA PROVÁVEL ORIGEM DO INÓCULO DE
PHAKOPSORA PACHYRHIZI E INTERAÇÃO ENTRE ESTÁDIO
FENOLÓGICO, FAVORABILIDADE AMBIENTAL E PRESENÇA DO
INÓCULO PARA CONTROLE DA DOENÇA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Estadual de Londrina, como requisito parcial para obtenção do Título de Mestre em Agronomia.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Marcelo Giovanetti Canteri
UEL – Londrina – PR

Prof. Dr. Dauri José Tessmann
UEM – Maringá – PR

Prof. Dr. Marcelo Augusto de Aguiar e Silva
UEL – Londrina – PR

Prof. Dr. Seiji Igarashi
UEL – Londrina – PR

Prof^a. Dr^a. Débora Cristina Santiago
UEL – Londrina – PR

Londrina, 08 de dezembro de 2011.

DEDICATÓRIA (S)

A Deus;

**Aos meus pais (Claudinei e Geralda (*in
memoriam*));**

**À minha esposa Neusa e filhas Beatriz e
Luísa;**

**Ao Prof. Dr. Clóvis Alberto Volpe (*in
memoriam*)**

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu orientador Professor Marcelo Giovanetti Canteri, não só pela constante orientação neste trabalho, mas sobretudo pela sua amizade, pelo apoio e confiança.

Ao professor Seiji Igarashi pelas importantes observações e desafios.

Ao professor Marcelo Augusto de Aguiar e Silva pela motivação.

Aos meus colegas de turma, que trago com muito carinho no coração.

Ao Técnico José Antonio de Souza pelo apoio físico, espiritual, familiar.

Ao produtor Arnaldo Francisco da Silva que confiou no trabalho e gentilmente cedeu sua propriedade para a execução deste ensaio.

Ao amigo Sebastião Lupércio Fávaro, do Instituto EMATER que muito contribuiu para a realização desse trabalho,

À Universidade Estadual de Londrina (UEL) por possibilitar que profissionais que trabalham possam ter a chance de concluir a pós-graduação;

Ao Instituto SIMEPAR pela gentileza da liberação dos dados meteorológicos tão necessários à análise dos resultados;

À Prefeitura Municipal de Engenheiro Beltrão pelo incentivo e apoio na divulgação do projeto;

Ao Instituto EMATER que acreditou no meu esforço e apoiou diretamente a realização deste trabalho.

MINCHIO, Claudinei Antonio. **Determinação da provável origem do inóculo de *Phakopsora pachyrhizi* e interação entre estágio fenológico, favorabilidade ambiental e presença do inóculo para controle da doença.** 2011. 110 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2011.

RESUMO

A determinação do momento da primeira aplicação de fungicidas para controle da ferrugem asiática da soja (*Phakopsora pachyrhizi*) tem motivado debates no meio científico. Com o objetivo de avaliar a estratégia de monitoramento de esporos e condições de favorabilidade ambiental para o controle da doença, foi conduzido experimento em área comercial de soja no município de Engenheiro Beltrão - PR, na safra 2009/2010, utilizando a cultivar BRS 232 e na safra 2010/2011, a cultivar NK7059RR (VMax). O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso, com 13 tratamentos e 4 repetições. Os tratamentos diferenciaram-se para a tomada de decisão do controle químico de acordo com a presença de esporos coletados em armadilha caça-esporos, o estágio de desenvolvimento da cultura, o modelo de favorabilidade de infecção e a precipitação. Utilizou-se estação meteorológica automática para coletar dados de temperatura, precipitação e umidade relativa a partir da implantação da cultura. A favorabilidade ambiental foi calculada em função do número de horas de umidade relativa igual ou superior a 90% (HM) e temperatura média diária (T) pela fórmula $[Y=(0,00044/(1+485,5*\exp(-0,55*HM)))*(2,41*((T-9,99)*2,63*(33,3-T)^2))]$. A severidade da doença foi avaliada semanalmente a partir dos primeiros sintomas. Calculou-se a área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD), a taxa aparente de infecção (TAI), as produtividades e o peso de 1.000 grãos. Os dados foram submetidos à análise de variância pelo teste F e as diferenças entre as médias, quando significativas, foram comparadas pelo teste de Tukey, usando-se o programa SASM-Agri e SISVAR para a análise de contrastes, ambos ao nível de 5% de probabilidade. O melhor momento para iniciar as aplicações foi quando após constatado esporos viáveis na armadilha caça-esporos, contaram-se 12 dias de favorabilidade ambiental igual ou superior a 60% nas duas safras. A adoção do monitoramento de esporos possibilitou a redução de 1 a 3 aplicações de fungicida comparado ao tratamento com 3 aplicações calendarizadas. Houve diferença de severidade entre as safras, mesmo com semelhança das condições ambientais favoráveis ao desenvolvimento da doença. A precipitação não apresentou influência na determinação do momento da primeira aplicação. O progresso da doença foi influenciado pelo momento de detecção do inóculo inicial viável. Na determinação da provável origem da fonte de inóculo, existe a possibilidade de associação à produção de uredósporos em lavouras comerciais de plantio antecipado do que em soja voluntária. Estimando a quantidade de uredósporos que atingiu a safra de verão do Estado do Paraná, provenientes de safra de plantio antecipado no Paraguai em 2009/2010, esta foi 10 milhões de vezes superior à quantidade produzida por 1% da área paranaense de soja safrinha. A ação de sistemas frontais passando pelo Paraguai, contribuíram para o transporte de esporos para lavouras comerciais do Brasil.

Palavras-chave: Epidemiologia. Controle integrado. Aerobiologia.

MINCHIO, Claudinei Antonio. **Determination of the probable source of *Phakopsora pachyrhizi* and interaction between stage of the host, environmental favorability and presence of inoculum for disease control.** 2011. 110 f. Dissertation (Master's Degree in Agronomy) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2011.

ABSTRACT

The determination of when the first application of fungicides to control asian soybean rust (*Phakopsora pachyrhizi* Syd. & P. Syd.) has prompted much discussions among scientists. In order to evaluate the monitoring strategy of spores and conditions of environmental favorability for disease control, experiment was conducted in commercial soybean fields in the municipality of Engenheiro Beltrão - PR, latitude 23°47'50" and longitude 52°16'09" in the 2009/2010 harvest, using BRS 232 and 2010/2011 harvest, the cultivar NK7059RR (VMax). The experimental design was randomized blocks, with thirteen treatments and four replications. The treatments differed for the decision making of chemical control in accordance with the presence of spores collected in spores-trap, with the stage of crop development, the favorability of infection model and precipitation. The meteorological elements temperature, precipitation and relative humidity were collected from crop establishment in automatic weather station. The environmental favorability was calculated according to the number of hours of relative humidity less than 90% (HM) and average daily temperature (T), by the formula $[Y=(0,00044/(1+485,5*\exp(-0,55*HM)))*(2,41*((T-9,99)*2,63*(33,3-T)^2))]$. The disease severity was evaluated weekly from the first symptoms. The area under the disease progress curve (AUDPC) and apparent infection rate (TAI) of all treatments was calculated. It was evaluated the yield and 1.000 grains weight. The data were subjected to analysis of variance by F tests and differences between means when significant tests were compared by Tukey test, using the programs SASM-Agri and SISVAR for the analysis of contrasts, both at 5% probability. The best time to start applications when after it was found viable spores in the spores-trap were counted 12 days of environmental favorability equal or more than 60% in the two seasons. The adoption of monitoring of spores allowed the reduction of 1 to 3 applications of fungicide compared with to treatment with scheduled applications. It was no difference in disease severity, even with favorability conditions for disease development in the two seasons. The precipitation had no effect in determining the time of first application. The progression of disease was influenced by the time of initial detection of viable inoculum. In determining the probable origin of the inoculum source, there is the possibility of association urediniosporal in the production of commercial crops that were planting soybeans earlier than voluntary plants of soybean. In estimating the amount of urediniosporal hit the summer crop of the State of Paraná, from earliest planting in Paraguay in 2009/2010 was 10 million times the amount produced by 1% of the off-season soybean in Paraná. The action of frontal systems over areas of early planting of soybeans in Paraguay contributed to the transport of spores to commercial crops of Brazil. The epidemic control of Asian soybean rust should go through the discussion of the disease on a larger scale than that seen in our home scale viewing only.

Keywords: Epidemiology. Integrated Control. Aerobiology.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 3.1** – Vista parcial da unidade experimental. À direita, o coletor de esporos, e à esquerda a estação meteorológica automática.....53
- Figura 3.2** – Escala diagramática utilizada para estimar a severidade de ferrugem asiática em folhas de soja (GODOY et al., 2006).....54
- Figura 3.3** – Favoabilidade ambiental (%), estágio fenológico, constatação da presença de esporos e primeiros sintomas nas safras 2009/2010 (A) e 2010/2011 (B).....64
- Figura 3.4** – Temperatura máxima (°C), temperatura mínima (°C), temperatura média (°C) e precipitação pluviométrica (mm) diárias, verificadas na unidade experimental, nas safras 2009/2010 (A) e 2010/2011 (B)66
- Figura 3.5** – Temperatura máxima (°C), temperatura mínima (°C), temperatura média (°C) e precipitação pluviométrica (mm), diários, obtidos em estações meteorológicas localizadas em Encarnación e Salto del Guairá (Paraguai), durante os períodos de 01/07/2009 a 30/09/2009(A) e 01/07/2010 a 30/9/2010(B).....85
- Figura 3.6** – Estimativa da quantidade de esporos depositados(D), oriundos de lavoura comercial de 1.000 ha a 700 km de distância, e soja voluntária de 10 ha, em plantios realizados na primavera, verão, outono e inverno de acordo com fórmula de Aylor (1986) e dados de Yang et al. (1990), para a cultivar TK5.86
- Figura 3.7** – Estimativa de esporos depositados provenientes de 405.000 ha de lavouras de primavera, produzidos no Paraguai e de 1.055 ha de soja voluntária do Estado do Paraná.....89
- Figura 3.8** – Direção predominante do vento mensal, período diurno, nas estações meteorológicas do Instituto SIMEPAR, em São Miguel do Iguaçu, Santa Helena, Guaíra, Foz do

	Iguaçu, Palotina, Toledo, Cascavel e Campo Mourão, no Estado do Paraná, safras 2009/2010 e 2010/2011.	91
Figura 3.9 –	Direção predominante diária do vento (período diurno) nas estações meteorológicas do SIMEPAR, de São Miguel do Iguaçu, Santa Helena, Guaíra, Foz do Iguaçu, Toledo, Palotina, Cascavel e Campo Mourão no Estado do Paraná, safras 2009/2010(A) e 2010/2011(B), com presença de principais sistemas frontais que atingiram a região e aparecimento dos primeiros esporos viáveis de ferrugem asiática.	95
Figura 3.10 –	Formação de sistema frontal no dia 11/12/2009, com deslocamento a partir de imagens registradas às 10:30h (A), 11:00h (B), 11:30h (C), 14:00h (D), 19:00h (E) e 20:00h (F), passando pelo Paraguai e atingindo o Estado do Paraná.....	96

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1	–	Tratamentos utilizados para o controle da ferrugem asiática da soja nos experimentos conduzidos nas safras 2009/2010 e 2010/2011.	50
Tabela 3.2	–	Descrição dos estádios fenológicos da soja.....	52
Tabela 3.3	–	Quantificação das lesões de <i>P. pachyrhizi</i> em plantas de soja, por estação do ano, cultivar TK 5, de acordo com Yang et al. (1990).....	57
Tabela 3.4	–	Índice de Área Foliar (IAF), esporos x lesão-1 x dia-1 e lesões x cm-2 de folha, obtidos de ensaio de Yang et al. (1990), com 400.000 plantas x ha-1, cultivar TK 5.....	57
Tabela 3.5	–	Número de aplicações de fungicidas e momento da primeira aplicação de fungicida por tratamento nos experimentos conduzido nas safras 2009/2010 e 2010/2011.....	62
Tabela 3.6	–	Número de uredósporos totais (viáveis e não viáveis) capturados em armadilha caça-esporos, nas safras 2009/2010 e 2010/2011, na unidade experimental de Engenheiro Beltrão PR.	71
Tabela 3.7	–	Área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD) e taxa aparente de infecção (TAI) nos tratamentos realizados nas safras 2009/2010 e 2010/2011.....	74
Tabela 3.8	–	Peso de 1.000 grãos (g) e produtividade (kg/ha) por tratamento, obtidos em ensaios para controle de ferrugem asiática sob diferentes momentos de início de aplicação de fungicidas, safras 2009/2010 e 2010/2011. Engenheiro Beltrão, PR.....	78
Tabela 3.9	–	Relação custo/produtividade (R\$/kg.ha-1) verificada nos tratamentos das safras 2009/2010 e 2010/2011. Engenheiro Beltrão PR.....	81
Tabela 3.10	–	Direção predominante do vento em número de observações (n) e porcentagem do número de observações (f(x)) durante o	

período diurno (7:00 – 19:00 h) para os meses de setembro, outubro, novembro, dezembro e janeiro, na safra 2009/2010.....90

Tabela 3.11 – Direção predominante do vento em número de observações (n) e porcentagem do número de observações (f(x)) durante o período diurno (7:00 – 19:00 h) para os meses de setembro, outubro, novembro, dezembro e janeiro, na safra 2010/2011.....90

Tabela 3.12 – Datas de ocorrência de sistemas frontais decorrentes de entradas de frentes frias que atingiram o sul do Brasil nas safras 2009/2010 e 2010/2011.....93

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	REVISÃO DE LITERATURA	16
2.1	A FERRUGEM ASIÁTICA DA SOJA	16
2.2	EPIDEMIOLOGIA	16
2.2.1	Condições de Favorabilidade para Formação de Pústulas e Esporos	16
2.2.2	O Papel da Chuva no Desenvolvimento da Doença	18
2.2.3	Sobrevivência do Patógeno Como Parasita Obrigatório	20
2.2.4	Multiplicação do Patógeno em Cultivos Sucessivos – Ponte Verde	21
2.2.5	Mecanismos de Transporte de Esporos a Longa Distância	24
2.2.6	Sistemas Frontais na América do Sul	26
2.2.7	Direção Predominante do Vento no Paraná	27
2.2.8	Disseminação da Ferrugem Asiática em Mesoescala Geográfica – América do Sul	28
2.2.8.1	Análise da ponte verde no Paraguai	30
2.2.8.2	Aparecimento da doença no Brasil safras 2009/2010 e 2010/2011	32
2.3	ESTRATÉGIAS DE CONTROLE – DETERMINAÇÃO DO MOMENTO DA PRIMEIRA APLICAÇÃO	33
2.3.1	Medidas Culturais	33
2.3.2	Controle Químico	34
2.3.3	Medidas para Racionalização do Controle Químico	34
2.3.3.1	Modelos de previsão de risco de epidemia	35
2.3.3.2	Monitoramento de sintomas em plantas sentinelas	36
2.3.3.3	Calendarização das aplicações	37
2.3.3.4	Aparecimento dos sintomas iniciais	38
2.3.3.5	Monitoramento dos uredósporos antes da infecção primária	39
2.3.3.6	Monitoramento de uredósporos, favorabilidade ambiental e estágio fenológico	41
2.4	AÇÃO EM MESOESCALA GEOGRÁFICA	41
2.5	CUSTOS COM O CONTROLE	42

3 ARTIGO :DETERMINAÇÃO DA PROVÁVEL ORIGEM DO INÓCULO DE Phakopsora pachyrhizi e INTERAÇÃO ENTRE ESTÁDIO FENOLÓGICO, FAVORABILIDADE AMBIENTAL E PRESENÇA DO INÓCULO PARA CONTROLE DA DOENÇA.....	44
3.1 RESUMO E ABSTRACT	44
3.2 INTRODUÇÃO	46
3.3 MATERIAL E MÉTODOS	49
3.3.1 Implantação	49
3.3.2 Variáveis Avaliadas.....	52
3.3.2.1 Dados meteorológicos.....	52
3.3.2.2 Favorabilidade ambiental	53
3.3.2.3 Incidência e severidade da ferrugem asiática da soja e área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD)	53
3.3.2.4 Taxa aparente de infecção (TAI).....	54
3.3.2.5 Presença e viabilidade do inóculo.....	55
3.3.2.6 Produtividade e peso de 1.000 grãos.....	55
3.3.3 Análise dos Dados	56
3.3.4 Determinação da Provável Origem do Inóculo.....	56
3.3.4.1 Potencial de produção estacional de inóculo em culturas comerciais, plantas voluntárias de soja e kudzu	56
3.3.4.2 Direção predominante do vento na região oeste do Paraná durante a condução dos ensaios.....	59
3.3.4.3 Direção predominante do vento durante a entrada dos sistemas frontais.	60
3.3.4.4 Condições meteorológicas verificadas no plantio das safras 2009/2010 e 2010/2011 nas regiões produtoras do Paraguai.....	60
3.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	61
3.4.1 Momento da Primeira Aplicação e Número de Aplicações	61
3.4.2 Dados Meteorológicos na Área Experimental.....	65
3.4.3 Presença do Inóculo.	68
3.4.4 Aparecimento dos Primeiros Sintomas.	72
3.4.5 Taxa Aparente de Infecção (TAI) e Área Abaixo da Curva de Progresso da Doença (AACPD).....	73
3.4.6 Estádio Fenológico do Hospedeiro para Controle da Ferrugem.	74

3.4.7	Eficiência dos Tratamentos.....	77
3.4.7.1	Peso de 1.000 grãos	77
3.4.7.2	Produtividade.....	79
3.4.7.3	Custo de produção	80
3.5	DETERMINAÇÃO DA PROVÁVEL ORIGEM DO INÓCULO.....	82
3.5.1	Plantio da Soja no Paraguai nas Safras 2009/2010 e 2010/2011.....	82
3.5.2	A Construção da Ponte Verde Através do Plantio de Soja Safrinha (Outono) e a Soja “Tempranera” (Primavera) no Paraguai.....	84
3.5.3	Produção de Uredósporos em Lavoura Comercial de Soja e Plantas Voluntárias.....	85
3.5.4	Uso de Plantas Sentinelas e a Multiplicação do Patógeno de Forma Endêmica.....	87
3.5.5	Estimativa da Produção de Uredósporos em Área Reais de Plantio	88
3.5.6	Transporte de Uredósporos Através de Correntes Atmosféricas.....	89
3.5.7	Direção Predominante do Vento na Região Oeste do Paraná.....	90
3.5.8	Direção Predominante do Vento na Presença de Sistemas Frontais	92
3.5.9	Questionamento à Hipótese do Enfraquecimento da Epidemia Devido ao Maior Uso de Fungicidas na safra 2010/2011	97
3.6	AÇÃO EM MESOESCALA GEOGRÁFICA PARA O CONTROLE DA DOENÇA.....	97
3.7	CONCLUSÃO.....	98
4	CONCLUSÕES GERAIS.....	100
	REFERÊNCIAS.....	101

1 INTRODUÇÃO

A ferrugem asiática, causada pelo fungo *Phakopsora pachyrhizi* Syd. & P. Syd., é uma doença que causa perdas que podem ultrapassar 70% de produção sendo responsável por 2 a 4 aplicações de fungicidas para seu controle em áreas de cultivo de soja no Brasil.

O patógeno é um fungo biotrófico que no seu processo epidemiológico necessita ter hospedeiros vivos para a sua sobrevivência. O inóculo é disseminado para áreas produtoras de soja pela ação do vento e chuva, responsáveis pelas vias de deposição seca e úmida, respectivamente, sobre a superfície das folhas.

Sob condições adequadas de temperatura e de duração do molhamento foliar, os uredósporos germinam e infectam a planta, dando início ao ciclo primário da epidemia na cultura. A contaminação de novas plantas se dá por sucessivos ciclos secundários, onde a produção do inóculo ocorre no próprio local de infecção.

O controle químico da doença através da aplicação de fungicidas associado ao uso de cultivares resistentes, são estratégias utilizadas para que o produtor garanta boa produtividade da cultura.

As estratégias atuais para definição da primeira aplicação de fungicidas para o controle da ferrugem asiática da soja levam em consideração o estágio fenológico da cultura e a presença do patógeno já causando infecção.

O controle da doença com fungicidas torna-se mais eficiente quando se antecipam as ações de controle antes do surgimento dos sintomas. Isto não significa uso de aplicações aleatórias e desnecessárias de fungicidas, mas a necessidade de monitoramento da presença do patógeno antes da ocorrência da infecção e monitoramento das condições ambientais favoráveis ao progresso da doença.

Levando em consideração estes princípios, o objetivo deste trabalho foi comparar as diversas estratégias recomendadas atualmente para o controle da ferrugem asiática da soja com uma nova proposta que é a do monitoramento dos esporos e das condições de favorabilidade ambiental para a determinação do momento da primeira aplicação de fungicida, de acordo com os resultados obtidos em ensaios nas safras 2009/2010 e 2010/2011.

Buscando aprofundar as razões dos diferentes resultados nas duas safras, o trabalho também objetivou determinar a provável origem do inóculo de *Phakopsora pachyrhizi* que infecta as lavouras do Estado do Paraná.

Existia uma suspeita de que os uredósporos do fungo fossem provenientes do Paraguai, por se ter evidências de que os produtores daquele país semearam a soja no final do mês de agosto de 2009. Como neste momento, no Brasil ainda estamos no período do vazio sanitário, não haveria razão para acompanharmos somente o processo epidemiológico desencadeado por plantas voluntárias de soja.

Através da investigação sobre a quantidade de uredósporos produzidos por plantas voluntárias e de cultivos comerciais feitos em plantios antecipados na primavera, associados ao conhecimento da área plantada de soja no Paraguai e ao estudo dos sistemas frontais que passam por aquele país e atingem o Brasil, este trabalho apresenta a proposta de se monitorar o desenvolvimento da epidemia, através de ações conjuntas em mesoescala regional, envolvendo os países produtores, para se ter um controle eficiente da doença.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 A FERRUGEM ASIÁTICA DA SOJA

O Brasil se destaca no cenário mundial como o segundo maior produtor mundial de soja, produzindo 68,7 milhões de toneladas do grão, numa área de 23,4 milhões de hectares na safra 2009/2010 e em 2010/2011 colhendo uma safra recorde de 74,99 milhões de toneladas em 24,1 milhões de hectares (BRASIL, 2010b).

Neste levantamento, o Estado do Paraná, se destaca como o segundo maior estado produtor da união com área de plantio de 4,4 milhões de hectares na safra 2009/2010 e de 4,6 milhões de hectares na safra 2010/2011.

Um dos entraves que dificultam a plena produtividade da cultura é o complexo de doenças e dentre elas, está a ferrugem asiática da soja, causada pelo fungo *Phakopsora pachyrhizi*, que tem um grande potencial destrutivo da lavoura. Em condições favoráveis à doença, são relatadas perdas ao redor de 80% da produção (YORINORI et al.; HARTMAN et al., 2005).

O fungo vem ocorrendo há décadas na Ásia oriental e na Austrália e a partir de 2001, foi encontrado em campos de soja do Paraguai e do Brasil. A rápida expansão e o montante de perdas conferem grande importância a esta doença (PIVONIA; YANG, 2004; YORINORI et al., 2005).

2.2 EPIDEMIOLOGIA

2.2.1 Condições de Favorabilidade para Formação de Pústulas e Esporos

Após a queda de esporos viáveis na superfície das folhas da soja, a infecção e o desenvolvimento da epidemia subsequentes são dependentes das condições ambientais. Geralmente, a infecção ocorre quando as folhas estão molhadas e as temperaturas entre 8 °C e 28 °C, com um ótimo de 16 °C a 28 °C. A 25 °C, alguma infecção ocorre em apenas 6 horas de molhamento foliar, mas 12 horas são ótimas para a ocorrência da máxima germinação. Após a infecção, lesões e pústulas com esporos podem aparecer dentro de 7 ou 8 dias. Este ciclo de vida curto indica a velocidade com que ocorre a epidemia (MARCHETTI et al., 1975;

KOCHMAN, 1979; MELCHING et al., 1989; Tan et al., 1994; PATIL et al., 1998; BONDE et al., 2007; RUPE; SCONYERS, 2008).

Após infecção e colonização dos órgãos da planta, o fungo passa para a fase reprodutiva, onde na face inferior da folha pode-se observar o aparecimento das urédias, que ao se romperem, liberam os uredósporos, que estão prontos para contaminarem a mesma área ou outras lavouras, dando início a novos ciclos (MARCHETTI et al., 1975; DEL PONTE, 2007).

Diferentes isolados de *P. pachyrizi* foram inoculados em plantas de soja, em casa de vegetação sob temperatura diurna entre 25-29°C e noturna entre 20-24°C. O número total de esporos coletados por lesão aos 39 dias após inoculação variou de acordo com o isolado de 2.028 a 6.600 (MELCHING et al., 1979).

Yeh et al. (1982), encontraram entre 1.823 a 2.386 a quantidade de uredósporos por urédia duas diferentes cultivares de soja submetidas a temperatura diurna de 24°C e noturna de 15°C, após 30 dias de inoculação, com uma média de 6,2 a 6,3 urédias por lesão. Melching et al (1989) verificaram que esta produção de urédia por lesão é variável de acordo com a faixa de temperatura em que as lesões são expostas. Para faixa de temperatura entre 10°C e 14°C, este número pode cair para 1,12 urédias/cm².

Adicionando-se a este fato, em condições de temperatura ambiente mais baixa, Canteri et al. (2007a) verificaram a ocorrência de aumento do período latente da doença, favorecendo a diminuição da severidade, devido a um menor número de ciclos do patógeno.

A sobrevivência dos uredósporos no período de inverno pode ser comprovada por Park et al. (2008) em ensaio com uredósporos armazenados sob as condições do inverno do sudeste da Louisiana (E.U.A.), de 12°C, 14h diurno e 1°C, 10h noturno, e inoculados em folhas de soja por 14, 30, 44 e 60 dias nestas condições, produziram 16, 3, 1,5 e 0,4 pústulas por folha inoculada.

A afirmação de que a altas temperaturas, acima dos valores observados em estudos controlados (> 28°C) poderiam desfavorecer a doença em algumas regiões, deve ser examinada com cuidado, principalmente pelo fato de que a temperatura no dossel da cultura pode não refletir a mesma temperatura do ar medida a 1,5 metros acima do dossel (DEL PONTE, 2007).

Bergamin Filho (2006) relatou que a via anti-horária de infecção, relacionada com o crescimento da lesão a partir da lesão inicial é o principal componente da epidemiologia da ferrugem asiática, proporcionando uma contínua formação de novas urédias, mesmo em condições ambientais desfavoráveis.

Epidemias de ferrugem da soja podem progredir de baixos níveis detectáveis até o desfolhamento dentro de um mês. As infecções precoces ocorrem na parte inferior. Geralmente, as lesões de ferrugem não são encontrados em soja até o florescimento, a menos que existam níveis elevado de inóculo no ambiente na fase vegetativa (RUPE; SCONYERS, 2008).

Isto pode ser devido à maior suscetibilidade das plantas à ferrugem quando o hospedeiro entra na fase reprodutiva, quando nas partes mais baixas da copa, os esporos estão mais protegidos contra a radiação ultra violeta, ou pode ser porque as condições na copa tornam-se mais úmidas, com o dossel fechado. Em qualquer caso, as lesões podem se formar em qualquer fase de crescimento, mas um grande aumento da doença não ocorre até o florescimento completo (RUPE; SCONYERS, 2008).

Isard et al. (2006) demonstraram a existência de sensibilidade dos uredósporos de *P. pachyrhizi* quando expostos à radiação solar, que pode reduzir a sua viabilidade e conseqüente movimentação de uma região para outra. Condições de tempo encoberto por nuvens, favorecem maior viabilidade do inóculo devido à menor ação da radiação solar sobre sua sobrevivência.

2.2.2 O Papel da Chuva no Desenvolvimento da Doença

Há uma tendência entre diversos pesquisadores em se relacionar o desenvolvimento da epidemia de ferrugem asiática da soja com a precipitação pluviométrica, uma vez que esta carrega os esporos que estão no ar para o interior do dossel, facilitando a disseminação do inóculo na lavoura.

Tal vinculação à chuva, mais do que pela temperatura, se dá pelo fato de que o fungo consegue sobreviver e se reproduzir em uma larga amplitude térmica, onde a chuva propicia condições de molhamento mais prolongado, o que facilitaria a penetração do patógeno para o interior dos tecidos do hospedeiro (TSCHANZ et al., 1984; TAN et al., 1994; SINCLAIR; HARTMAN, 1995; DEL PONTE

et al., 2006a; DEL PONTE, 2007; CANTERI et al., 2007a; BARNES et al.; DEL PONTE; ESKER; LI et al.; TSUKAHARA et al., 2008; SCHMITZ; GRANT, 2009).

Relatos da ocorrência de ferrugem asiática ocorridas na China, de 1971 a 1980, na província de Zhejiang, indicaram que as epidemias mais severas ocorreram nos anos de 1973 e 1976, considerados mais chuvosos do que os demais períodos avaliados (BROMFIELD, 1984).

Tschanz et al. (1984) na comparação com dois anos de plantio de soja, safra 1979 e 1980 realizados em Taiwan, relataram que a precipitação teve influência significativa sobre o desenvolvimento da doença.

Tschanz e Shanmugasundaram (1985), avaliaram que a epidemia de *P. pachyrhizi* era dependente de vários fatores. Dois deles foram temperatura e duração do período de molhamento foliar. Outros fatores como a ocorrência da primeira chuva e a sua quantidade, tornaram-se responsáveis pelo desenvolvimento da doença.

Del Ponte et al. (2006a) em seus estudos com 34 campos experimentais no Brasil durante 3 épocas de plantio consecutivas, observaram haver uma forte correlação entre severidade final da doença com precipitação pluviométrica (acima de 1 mm), do que com as variáveis temperatura máxima e mínima.

Del Ponte (2006b) confirmaram a importância da chuva no desenvolvimento da epidemia e a coloca num patamar de única variável preditora de níveis de severidade da doença no campo explicando em mais de 85% da variação da severidade máxima da ferrugem asiática, contribuindo para o prolongamento do período de molhamento foliar, redução de temperatura no interior do dossel e liberação de uredósporos das urédias. A temperatura ficou num patamar secundário.

A alta correlação entre chuva e severidade final de doença pode ser explicada pela característica incomum da *P. pachyrhizi*, não compartilhada com a maioria das outras ferrugens: uredósporos do fungo tendem a permanecer firmemente juntos, não sendo facilmente liberados pela ação do vento. As gotas de chuva liberam os esporos pelo efeito do “splash” originado pelo impacto das gotas sobre as folhas. Assim, a via anti-horária sempre supre a epidemia com urédias frescas, independentemente da temperatura, e a chuva, quando cai, encarrega-se de disseminar os esporos nelas produzidos (BERGAMIN FILHO, 2006).

Canteri et al. (2007b) e Del Ponte (2006b), relataram que até o momento a chuva exerce forte influência sobre a epidemia de *P. pachyrhizi*, porém não é apenas o clima ou o ambiente que regulam as epidemias, pois o progresso da doença é fortemente influenciado pela quantidade do inóculo inicial que explica grande variação na severidade da doença em sementeiras antecipadas ou tardias.

Del Ponte (2006b) alertou para um papel da chuva que seria a dispersão da doença em macro escala, associada à prevalência e dispersão da doença na América do Sul. Analisando as detecções no Paraná e Rio Grande do sul verificou dispersão mais lenta da doença em anos mais secos do que em anos chuvosos, que resultaram em maior risco da doença.

Beck (2006) em seu ensaio, encontrou que a chuva reduziu drasticamente a liberação de uredósporos do dossel da cultura por um período de 24 a 48 horas após esse evento.

2.2.3 Sobrevivência do Patógeno como Parasita Obrigatório

Phakopsora pachyrhizi é considerado parasita obrigatório, sobrevivendo em outras plantas hospedeiras, plantas voluntárias de soja e lavouras de soja cultivadas na entressafra. O patógeno pode vir de regiões onde se encontra o hospedeiro, multiplicando-se pelo caminho, até chegar nas demais regiões produtoras isentas do patógeno (HENNEN, 1995; PIVONIA; YANG, 2004; TECNOLOGIAS, 2011).

O kudzu (*Pueraria lobata* L.) é um dos hospedeiros alternativos mais estudados, está presente no Brasil e da mesma forma como a planta voluntária de soja, pode multiplicar o patógeno antes do plantio comercial da soja.

Souza et al. (2006), em avaliação de plantas voluntárias encontradas entre junho de 2004 a dezembro de 2005, verificaram que baixas temperaturas não são fator limitante para a sobrevivência de *P. pachyrhizi* e que cultivos comerciais e soja voluntária poderiam representar as principais fontes de inóculo para a infecção de novos plantios.

Del Ponte (2006b) relatou que soja voluntária e plantas de kudzu infectadas com *P. pachyrhizi* parecem não contribuir para a severidade da doença. Esta constatação em kudzu foi feita por Christiano e Scherm (2007), onde relataram que no sudeste dos Estados Unidos, esta planta morre durante o inverno e a

retomada do seu crescimento vegetativo é verificada no início da primavera, antes que a soja seja plantada.

Para Christiano e Scherm (2007), o desenvolvimento da doença em kudzu é lento e entra em fase exponencial somente no final da safra de soja. Observaram que enquanto 25% das folhas de kudzu estavam infectadas com *P. pachyrhizi*, 65% das folhas de soja, na mesma época, estavam com a doença.

Os hospedeiros alternativos, soja voluntária e plantios de safrinha, embora difícil de ser quantificado na prática, mantêm vivo o patógeno no período de entressafra servindo de fonte precoce de inóculo para a safra normal, todavia, somente o fato de sua presença não significa alto risco de infecções (DEL PONTE; ESKER, 2007).

O controle mal feito da soja voluntária com o uso de herbicidas inadequados ou em sub-dosagem poderiam permitir o desenvolvimento destas plantas no período de entressafra e como invasoras nas culturas do milho safrinha, trigo ou nos plantas utilizadas como adubo verde de inverno.

O plantio de soja comercial considerado de alto risco para a produção de uredósporos de ferrugem asiática é realizado no início do período de outono, também chamada de soja safrinha. Sua colheita deve ser feita no máximo até 15/06 dependendo da região, conforme estabelecido na legislação que rege o período do vazio sanitário.

2.2.4 Multiplicação do Patógeno em Cultivos Sucessivos – Ponte Verde

Nas conclusões de Bergamin Filho e Amorim (1996), do ponto de vista fitossanitário, o encurtamento do intervalo entre culturas nas regiões temperadas é uma atitude imprópria, pois o aumento do inóculo inicial leva a altas taxas aparentes de infecção, ocasionando epidemias de graves proporções.

Bergamin Filho (2006) relatou que *P. pachyrhizi* em soja comporta-se como fungo de características de um patossistema tropical, onde a redução da quantidade de inóculo inicial seria uma estratégia eficiente para manejar adequadamente a doença.

Bergamin Filho e Amorim (1996) afirmam que o inóculo inicial de origem externa exerce papel maior na fitopatologia temperada e que não pode ser extrapolado para as condições dos trópicos e subtropicais, que se caracterizam por

uma sobreposição de estações de cultivo, favorecendo convívio contínuo patógeno-hospedeiro.

Seixas e Godoy (2007), relatam que pesquisadores e técnicos chamavam a atenção para o risco de se cultivar soja durante o período de safrinha pelo fato de se estabelecer uma “ponte verde” que favorecesse a sobrevivência e multiplicação do fungo biotrófico. Além disso, plantas voluntárias oriundas de grãos caídos durante a colheita podem contribuir para a manutenção do fungo nas áreas de produção.

Esker et al. (2007), em análise de curvas de progresso da doença em ensaios brasileiros de plantios de 2002 a 2006, verificaram que o começo do aparecimento dos sintomas, era uma função da data de plantio.

Na tentativa de se buscar formas de fuga da epidemia de *P. pachyrhizi*, alguns autores recomendaram a adoção de plantio antecipado e utilização de variedades de ciclo precoce, o que implicaria na redução do número de aplicações de fungicida para o controle da doença (ESKER et al.; GODOY, 2007; RUPE; SCONYERS, 2008).

No entanto, Yorinori (2006) destacou que o cultivo contínuo da soja na entressafra e a presença permanente de plantas voluntárias, somadas à antecipação do plantio de verão, não deixaram intervalo sem ferrugem no campo, promovendo a cada ano uma antecipação no início da ocorrência da doença.

Buscando elucidar o avanço da epidemia e a importância da fonte de inóculo, Hartman (1995), do Centro Asiático de Desenvolvimento e Pesquisa Vegetal (AVRDC), informou que algumas questões teriam que ser aprofundadas com relação à epidemiologia da ferrugem asiática da soja, pois até aquele momento, não se conhecia de onde se originava o inóculo de estação para estação.

A resposta porém, a esta indagação talvez esteja no fato de que em Taiwan, a soja é cultivada durante o ano todo e a ferrugem asiática de ocorrência em todas as estações, possibilitando a multiplicação constante do inóculo. As epidemias mais severas verificadas nos plantios da primavera e do outono (YANG et al., 1990; HARTMAN, 1995; PIVONIA; YANG, 2004).

No plantio de inverno, realizado em dezembro, em Taiwan, não se conseguiu verificar o desenvolvimento de ferrugem até o início de fevereiro, apesar de se verificar a presença de esporos acima do dossel da cultura (TSCHANZ et al., 1984).

Os experimentos com épocas de plantio e duas cultivares testadas por Yang et al. (1990), mostraram que o nível máximo de doença foi atingido nos plantios de primavera e outono do que no plantio de verão. A diferença, segundo os autores, pode ser resultado das diferentes respostas tanto da planta como do patógeno às condições observadas no verão, como resposta da planta ao fotoperíodo e maiores temperaturas, dificultando o desenvolvimento da doença.

De acordo com Tecnologias (2011), para reduzir o risco de danos à cultura, as estratégias de manejo recomendadas no Brasil para o controle de ferrugem asiática são a utilização de cultivares de ciclo precoce e semeaduras no início da época recomendada (início de outubro), para evitar a maior carga de esporos do fungo que irá iniciar a multiplicação nas primeiras semeaduras.

A adoção do vazio sanitário, período de ausência de plantas de soja vivas no campo, proposto pela EMBRAPA SOJA, é uma forma de se impedir a formação da ponte verde. Para o Estado do Paraná, este período vai de 15 de junho a 15 de setembro, sendo que o período normal de plantio de cultivares inicia-se em 05 de outubro. Os estados de MG, MT, MS, GO, SP, MA, TO, PR, SC, RS instituíram o vazio sanitário legalmente (SEIXAS; GODOY, 2007)

Brasil, Argentina e Paraguai são os principais produtores de soja da América Latina. O vazio sanitário estabelecido no Brasil, até o momento não foi adotado pelos demais países, ficando a dúvida quanto à possibilidade de movimentação de uredósporos provenientes tanto da Argentina como do Paraguai.

A Argentina por ter seus campos de produção de soja localizados nos paralelos mais ao sul, tem época de plantio diferenciada devido ao fato de que a temperatura baixa no outono/inverno acaba atuando como fator impeditivo para o plantio tanto de safrinha como de antecipação de plantio.

No caso do Paraguai, as áreas produtoras de soja estão localizadas na mesma latitude onde estão as lavouras do Estado do Paraná (Brasil), com condições climáticas semelhantes, separadas pelo rio Paraná, divisa Brasil/Paraguai. Neste país, o vazio sanitário não existia até a safra 2010/2011, devendo ser adotado para esta próxima safra, entre o final de maio e final de agosto.

2.2.5 Mecanismos de Transporte de Esporos a Longa Distância

P. pachyrhizi de maneira similar a outros fungos, é capaz de se movimentar na atmosfera, percorrendo longas distâncias de uma localização geográfica para outra (GREGORY, 1973).

Isard et al. (2005) descreveram a aerobiologia como o estudo do processo biológico que envolve o movimento dos organismos na atmosfera de uma localidade geográfica para outra. Chamados de aerobiotas, estes organismos, dentre eles destaca-se a ferrugem asiática, se utilizam dos movimentos atmosféricos para facilitar o seu transporte pelo espaço.

A velocidade de transporte dos esporos na atmosfera é governada por fluxos de ar em escala sinótica, enquanto que a difusão turbulenta e a direção do vento governam a diluição das nuvens de esporos. Durante o transporte aéreo, os esporos têm a sua sobrevivência afetada pela radiação ultravioleta, irradiação solar, temperatura e umidade relativa (DEL PONTE, 2007).

De acordo com Li et al. (2008), uma nuvem de uredósporos numa altura variável de 1.000 a 2.000m, tem uma concentração uniforme de 2 uredósporos por m³ de ar. Em condições de tempo claro, a deposição varia de 0 a 1.231 uredósporos/m² de 8 a 24 horas de deposição respectivamente. Sob condições de chuva, esta deposição varia de 557 a 1.996 uredósporos/m², dependente da intensidade da chuva.

Reis (2004), Kim (2005) e Nascimento et al. (2011) descreveram que para o desenvolvimento de uma epidemia o inóculo primário produzido em grande quantidade na área de origem, deve ser transportado e depositado sobre as plantas na lavoura. O vento, com umidade do ar e velocidade adequadas, soprando em direção à cultura suscetível, transporta os esporos. As epidemias em geral seguem a direção e a trajetória dos ventos dominantes.

Os autores Bergamin Filho e Amorim (1996) associaram o desenvolvimento das doenças nos trópicos e subtropicais com o início da época de plantio se dando no começo da estação chuvosa que segue o movimento da zona de convergência tropical. Para os autores, os ventos predominantes sopram na direção desta zona móvel de baixa pressão, carregando consigo os esporos de plantações velhas para plantações novas, favorecendo com isso a continuidade da doença.

Segundo Aylor (1986), o transporte aéreo de esporos de fungos sem dúvida é responsável pela propagação de doenças de plantas por distâncias de 500 km ou mais. O mesmo autor afirmou ainda que uma das maiores dificuldades com o uso de trajetórias para se estudar o transporte aéreo do patógeno é a definição da data de chegada do inóculo. Muitas vezes a doença pode não ser notada até que o patógeno tenha sofrido um ou mais ciclos de produção de esporos. Se a pressão de inóculo inicial é leve e o período de latência do patógeno é longo, a doença pode não ser notada por uma ou duas semanas após a chegada do inóculo.

Nagarajan e Singh (1990), relataram que o transporte vertical de esporos ocorreu dentro dos primeiros 2 km, por atividade convectiva. Depois que os esporos tenham atingido uma certa altura, eles percorreram uma distância horizontal ou lateral, antes de serem depositados. Esta é uma função de tempo, direção e velocidade do vento, porcentagem de esporos sobreviventes durante este processo.

A dispersão de longa distância é fundamental para a dinâmica das populações, a realização dessa demanda exige informações sobre os movimentos de patógenos dentro e fora dos campos agrícolas e do grau em que os campos ao longo de continentes inteiros são interconectados por fluxos destes patógenos (BROWN; HOVMØLLER, 2002; ISARD et al., 2005).

Pan et al. (2006) trabalhando com modelo de previsão, estimou de forma acertada que em 2004, os uredósporos de ferrugem asiática da soja movimentaram-se da África para o sul da América do Sul, se deslocando para a Colômbia para depois atingir os Estados Unidos. Ou através da Austrália, através de correntes de ar do oceano Pacífico (YORINORI, 2004).

Levy (2005) considerou que o movimento de uredósporos internamente ao Zimbábue é decorrente da Zona de Convergência Inter-Tropical, que propagou os uredósporos de *P. pachyrhizi* para as demais regiões deste país. A disseminação dos uredósporos para a África do Sul tem relação direta com os ventos canalizados para a direção sul, se deslocando do Zimbábue por uma depressão ciclônica para o canal de Moçambique e na sequência atingindo a África do Sul.

Objetivando compreender o deslocamento dos esporos até a sua chegada nos Estados Unidos, Isard et al. (2005) e Pan et al. (2006), desenvolveram mapas com o movimento de esporos de locais da África para o Paraguai e Brasil,

buscando definir o momento que eles poderiam atingir os estados produtores de soja naquele país.

Costamilan (2010) em comunicado pessoal (VIANA; BONETTI, 2010), quando da não detecção de sintomas da doença em determinadas localidades do Rio Grande do Sul, verificou que poderia ser explicado pela falta de inóculo do patógeno no ambiente, que normalmente é procedente da Bolívia, que por sua vez entra no Brasil por Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Paraná, Santa Catarina, chegando ao Rio Grande do Sul.

2.2.6 Sistemas Frontais na América do Sul

Diferenças no balanço de radiação, associadas com a heterogeneidade da superfície terrestre, geram diferenças de pressão atmosférica que mantêm a atmosfera em contínuo movimento (TUBELIS; NASCIMENTO, 1988). A condição de aquecimento de massas de ar no Equador cria aí uma região de baixa pressão, enquanto que a condição de resfriamento de ar nos pólos gera uma região de alta pressão. Se não houvesse a força de Coriolis, que está ligada ao movimento de rotação da Terra de oeste para leste, os ventos de superfície teriam a direção predominante de sul no hemisfério sul e de norte no hemisfério norte.

O Sistema de Correntes Perturbadas de Sul é representado pela Frente Polar, e consequência das invasões do anticiclone polar. A massa polar ao invadir a parte oriental do continente sul americano, dá origem por feito orográfico, a quatro ramos à medida que progride pela Planície Platina: do Atlântico, do Planalto Meridional, do Planalto Central e da Bacia Amazônica (TUBELIS; NASCIMENTO, 1988).

No verão, o forte aquecimento do interior do continente causa o desenvolvimento da baixa do Chaco, que impede a penetração das Massas Polares pela Planície Platina, fazendo com que predomine o ramo do Atlântico e secundariamente a do Planalto Meridional. O setor meridional continua progredindo como frente fria, varrendo toda a região sul, provocando chuvas pré-frontais, frontais e pós-frontais, sendo responsável pelas abundantes precipitações. Perde força e torna-se estacionária, acompanhada de chuvas intensas diárias, durando vários dias (TUBELIS; NASCIMENTO, 1988)

Na América do Sul, o domínio das massas de ar é frequentemente perturbado por invasões de massas polares. No contato entre duas massas de ar de temperaturas diferentes, forma-se uma superfície de descontinuidade, conhecida como superfície frontal. A linha ou zona de contato da superfície frontal com a superfície do solo ou qualquer outro plano horizontal é chamada de frente.

As descontinuidades frontais podem ser classificadas, tendo como fundamento o seu deslocamento e as mudanças de temperatura que causam, em: frente fria, frente quente, oclusão e frente estacionária.

Uma frente fria é uma descontinuidade frontal na qual uma massa de ar de menor temperatura desloca, da superfície do solo, uma massa de ar de maior temperatura (TUBELIS; NASCIMENTO, 1988).

As frentes frias são classificadas como de deslocamento lento, que não ocorrem nas regiões subtropicais de alta pressão e predominam na faixa tropical de baixas pressões, e de deslocamento rápido, que ocorrem nas regiões polares até as regiões subtropicais, e quase não penetram nas regiões tropicais.

Brasil (2011a), analisando a precipitação ocorrida no segundo semestre de 2009, relatou que o período foi marcado pelo excesso de chuva no sul, associadas com a atuação de sistemas frontais e às perturbações na média e alta troposfera, que resultaram em chuva forte e totais acumulados superiores à climatologia.

Yang (2006), em trabalho em que analisa a distribuição espacial de doenças, descreveu que a faixa de dispersão define a área geográfica dentro da qual os esporos podem se propagar sazonalmente de áreas invernais para colonizar outras áreas em produção. Relatou que estudos evidenciam que as correntes de ar dentro de uma estação, carregam os esporos de ferrugem asiática do Brasil para quase todos os lugares do hemisfério ocidental.

2.2.7 Direção Predominante do Vento no Paraná

Estudo realizado por Wagner et al. (1989) em 14 localidades do Estado do Paraná, indicou a constância nas direções predominantes do vento durante os meses e estações do ano. A direção nordeste (NE) foi a predominante para a maioria dos locais estudados, incluindo Cascavel e Palotina. Os picos máximos em cada direção indicou que com exceção de Clevelândia, Cianorte e

Cambará, nas demais localidades o pico máximo ocorreu nas direções sul (S), sudoeste (SW) e oeste (W).

A maior porcentagem dos picos máximos se concentraram nas direções nordeste – leste – sudeste (NE-E-SE), os maiores valores de picos máximos se concentraram nas direções S-SW-W, evidenciando uma correlação entre a entrada de massas de ar polares, que são acompanhadas de ventos do quadrante Sul, e a ocorrência de picos máximos extremos.

Este fato esteve ligado à forte intensidade dos ventos na massa de ar frio em frentes frias de deslocamento rápido, bem como à forte intensidade convectiva que pode ocorrer na linha de instabilidade frontal (TUBELIS; NASCIMENTO, 1988).

Galvani et al. (1999), concluíram em estudo realizado em Maringá (PR), que a direção predominante dos ventos teve variação comparando-se os períodos diurno e noturno dos meses de janeiro a maio e de outubro a dezembro. A direção NE, foi predominante no período diurno e SE no período noturno, este com as maiores ocorrências de calmarias. Constatação feita por Munhoz e Garcia (2008) confirmam velocidade maior do vento no período diurno 40% acima dos ventos noturnos.

No trabalho de Beck (2006) fica evidente que a saída dos uredósporos do dossel se dá ao longo do dia, após a secagem das folhas do período da manhã, aumentando até o meio do dia.

2.2.8 Disseminação da Ferrugem Asiática em Mesoescala Geográfica – América do Sul

Pivonia e Yang (2004) em seus estudos sobre modelagem para determinação de regiões e condições de estresse provocado por temperatura e umidade relativa do ar visando levantar condições para sobrevivência de *P. pachyrhizi*, concluíram que tanto no Brasil como no Paraguai, o modelo predisse que o fungo pode sobreviver em muitas localidades.

Yorinori et al. (2005), relataram que em 2001, uma incidência severa da doença foi verificada em soja voluntária e segundo plantio em todas as regiões pesquisadas do Paraguai, no norte e oeste do Estado do Paraná. Na safra 2001/2002, a ferrugem era encontrada em todos os campos produtores de soja no

Paraguai, mas uma seca severa e o uso extensivo de fungicidas reduziram as perdas na produção (PARAGUAI, 2011).

De acordo com Morel et al. (2004), na safra de 2002/2003, em plantio antecipado, a doença apareceu aos 30-35 após emergência, com baixa evolução devido às elevadas temperaturas observadas no período. Porém, nos plantio da soja safrinha, a severidade foi elevada.

Em análise feita por Yorinori (2004), a primeira constatação de sintomas de ferrugem asiática verificadas na safra 2003/2004 no Paraguai, foi no dia 29 de outubro em plantas de kudzu, porém um mês mais tarde, 28 de novembro, a doença havia progredido atingindo níveis severos passando para lavouras vizinhas de soja infectando plantas com 25 a 30 dias da sementeira. No Paraná, as primeiras constatações nesta safra foram feitas nos dias 18 de dezembro em Londrina.

No Paraguai e no Paraná (Brasil), a presença da leguminosa kudzu altamente eficiente como hospedeira alternativa, aumentou o potencial de risco e torna o controle da ferrugem mais difícil. A redução do período (janela) de plantio deveria ser uma das medidas para uso eficaz e econômico do controle químico da doença (YORINORI, 2004).

Souza et al. (2006) observaram que baixas temperaturas não são fator limitante para a sobrevivência de *P. pachyrhizi* na Argentina, pois os uredósporos poderiam permanecer ativos em plantas voluntárias de soja até o estabelecimento da nova safra. Culturas comerciais e plantas voluntárias de soja poderiam representar os principais fontes de inóculo da doença para as condições argentinas.

Iamamoto (2009) avaliando curva populacional de *P. pachyrhizi* em três municípios da região central do Brasil, através de armadilha caça-esporos na safra 2007/2008, verificou que no município de Costa Rica (MS), na divisa com o Paraguai, os primeiros esporos foram capturados no período de 10 a 16/09/2007, enquanto para Chapadão do Sul, localizado mais ao norte do Estado do Mato Grosso do Sul e Mineiros, no Estado de Goiás, os primeiros esporos foram coletados na semana de 18 e 19/12/2007, respectivamente.

De acordo com o autor, a armadilha caça-esporos de Costa Rica (MS), possibilitou antecipar o controle químico da ferrugem asiática de 14 a 15 dias, favorecendo o produtor no acerto do momento da aplicação.

No Paraguai existem poucas estações meteorológicas com séries extensa de dados diários de precipitação e temperatura. Por sorte, as estações meteorológicas de Encarnación e de Ciudad Del Leste contam com estas séries e que coincidem com as principais regiões produtoras de soja (PARAGUAI, 2007b).

2.2.8.1 Análise da ponte verde no Paraguai

No Paraguai, a soja é cultivada na região oriental, principalmente nos estados, ditos departamentos, de Alto Paraná, Itapúa e Canindeyú, com avanço para outros departamentos como Amambay, San Pedro, Caaguazú, Caazapá, Guairá e Misiones. A cultura está em primeiro lugar na geração de divisas do País, representando 12% do PIB e 53% das exportações registradas. Ocupa o 6º lugar na produção mundial de grãos, e na América latina, segue a produção de Brasil e Argentina. Produz cerca de 7,4 milhões de toneladas ao ano cultivados em cerca de 2,7 milhões de hectares na safra 2009/2010 (YEHRAN, 2006; PARAGUAI, 2007b; PARAGUAI, 2010; CAPECO, 2011).

Na safra paraguaia de 2003/2004, o cultivo de cultivar de soja de ciclo precoce, de plantio antecipado, chamada “tempranera”, foi afetado em 20% pela falta de chuva. Em 24 de janeiro de 2004, alguns produtores já estavam colhendo essa variedade, com uma produtividade esperada em torno de 2.500 kg/ha. Naquele ano, estas cultivares representavam 1% de toda a superfície plantada com soja naquele país (DIGITAL ABC, 2004). Em 2005, as variedades tempraneras saltaram para 15% da área, e mesmo com seca, renderam 2.000 kg/ha (MEDITER, 2005).

Morel et al. (2011), concluíram que de 2001 a 2005, a cada ano, soja voluntária e kudzu eram infectados e poderiam ser fontes de inóculo primário. Soja plantada em outubro e novembro em época normal tinha menos ferrugem do que soja plantada em meados de dezembro. No Paraguai, chuvas frequentes e baixas temperaturas em novembro e dezembro favorecem o desenvolvimento precoce da doença nas regiões produtoras, mas condições de seca e de temperaturas elevadas em janeiro e fevereiro impactam na redução da doença. A severidade da doença aumenta em plantios tardios, onde as temperaturas declinam e as chuvas aumentam de março a abril.

Em consequência da seca de safras anteriores, na safra 2005/2006, conforme descreveu Yebran (2006), a tendência foi de que os produtores adiantassem bastante a semeadura, concentrando-se em cultivar tempranera precoce, obtida a partir de sementes importadas da Argentina que ainda não estavam adaptadas ao clima do país. Este raciocínio obedece ao fato de que a seca afetou bastante as cultivares de ciclo médio e tardio e muito pouco as tempraneras. Este fato adiantou os ciclos da cultura de forma geral, promovendo o início da semeadura para setembro e a colheita a partir de meados de janeiro, implicando que em 2006, 60% da safra fosse tempranera (YEBRAN, 2006).

Em análise realizada por Yebran (2006), considerando nos anos anteriores a 2006, a produção da soja foi afetada por fortes secas que reduziram a produtividade em quase 30%. Apesar destes fatos, a superfície semeada alcançou níveis recordes de cerca de 2,1 milhões de hectares com produção superando os 4 milhões de toneladas.

O cultivo de soja tempranera relatado por Yebran (2006), tinha 20% de participação na área total de soja e época concentrada de plantio naquele momento no mês de outubro, com colheita prevista para março a 15 de abril, com rendimento médio de 2.500 kg/ha, superior aos plantios de cultivares de ciclo médio e tardio, da ordem de 2.200 e 1.800 kg/ha respectivamente.

A safra 2006/2007 foi de forte ataque de ferrugem asiática da soja nos cultivos do Paraguai, conforme relato do Ministério da Agricultura y Ganadería (PARAGUAI, 2007a), ocorrendo perdas da ordem de 500 a 700 kg/ha, com maior ataque nas áreas onde no ano anterior era cultivado com soja safrinha. As cultivares tempraneras eram responsáveis por 16% da área plantada, com rendimentos variando entre 1.800 a 4.300 kg/ha.

Na safra 2008/2009, a produção da soja tempranera foi afetada por uma extensa seca, afetando 70% da área de cultivo com essas cultivares de um total de 200.000 ha, que naquela safra foram plantados em 15 de setembro (DIGITAL ABC, 2008).

Na safra agrícola 2008/2009 os agricultores paraguaios semearam 35% da área de cultivo com soja, com a cultivar tempranera. Uma grande seca ocorrida nesta safra, intimidou o plantio tempranero da safra 2009/2010 (MEDITER, 2010). O plantio da safra 2008/2009 teve produtividade média em torno de 600 kg/ha (AGROMEAT, 2011).

Com uma safra tempranera ruim, a cadeia produtiva em crise também pelos preços ruins, os agricultores da soja tempranera tinham como único caminho o plantio da soja safrinha para recuperação dos prejuízos com a safra de plantio antecipado. A soja de cultivo normal naquele momento estava em campo possivelmente infectado com ferrugem asiática, gerando inóculo para a soja safrinha, o que deveria ser motivo para maior atenção do produtor com relação ao momento de controle da doença (AGROMEAT, 2011).

Na safra 2009/2010 houve produção recorde de soja no Paraguai por conta das boas condições meteorológicas para a produção obtida principalmente com a soja tempranera, semeada nos últimos dias de agosto, com rendimentos superiores a 5.000 kg/ha. Este ótimo desempenho se confronta com o de safras fracassadas de anos anteriores (AGROCLIPPING, 2011).

Na safra 2010/2011, a seca no período de plantio de soja tempranera obrigou os agricultores a concentrarem o plantio no mês de outubro, com o início das primeiras chuvas. Os produtores que tencionavam plantar 50% da área com soja tempranera foram obrigados a mudar de planos, substituindo as sementes adquiridas por cultivares de ciclo médio e tardio (DIGITAL ABC, 2010).

2.2.8.2 Aparecimento da doença no Brasil safras 2009/2010 e 2010/2011

De acordo com as informações da plataforma do CONSÓRCIO ANTIFERRUGEM (BRASIL, 2011b), na safra 2009/2010, foram registrados 2.370 eventos ligados à constatação dos sintomas de ferrugem asiática no Brasil. Os primeiros sintomas foram verificados em plantas voluntárias (R7) no Estado do Tocantins a partir de 25/08, seguido do Estado do Mato Grosso do Sul (R1) em 19/09 e Paraná a partir de 27/09 (Vn), totalizando 265 casos apenas neste Estado. Cerca de 50% dos casos relatados pelo site foram feitos em campos do Estado do Paraná.

Na safra 2010/2011, foram registrados 707 eventos, com aparecimento de sintomas em plantas voluntárias foi verificado inicialmente no Estado de Goiás (R5), no dia 22/09, seguido de 03/11 no Estado do Rio Grande do Sul (R1) e 24/11 no Estado do Paraná (R2). Somente do Paraná foram registrados 291 casos. O aparecimento dos sintomas de ferrugem no Paraná foram mais tardios na safra 2010/2011 quando comparados com a safra 2009/2010 (BRASIL, 2011b).

De acordo com o levantamento feito pelo Consórcio Antiferrugem (BRASIL, 2010a), o número acumulado de ocorrências verificadas na safra 2010/2011, foi similar ao ocorrido nas safras 2007/2008 e 2008/2009, que estavam sob a influência do fenômeno La Niña, caracterizado por ocasionar um período mais prolongado de seca na região sul do Brasil, enquanto a safra 2009/2010 teve comportamento semelhante ao ocorrido na safra 2006/2007, sob influência de El Niño, com maior distribuição de chuva nesta região. As diferenças nos padrões de chuva entre essas situações parecem ser determinante do início da dispersão regional das epidemias.

Em levantamento sobre a ferrugem asiática no Brasil na safra 2010/2011, o Consórcio antiferrugem (BRASIL, 2011b) antecipava que seria um ano de boa distribuição de chuva, com condições favoráveis ao estabelecimento de ferrugem, de acordo com o modelo climático com base na chuva, no entanto não foi detectada a doença em regiões de alto riscos climático, por diversos fatores não levados em conta nos mapas ou devido à ausência do inóculo nas regiões acompanhadas.

2.3 ESTRATÉGIAS DE CONTROLE – DETERMINAÇÃO DO MOMENTO DA PRIMEIRA APLICAÇÃO

2.3.1 Medidas Culturais

Devido às características epidemiológicas de *P. pachyrhizi*, descarta-se a possibilidade de convivência com o patógeno. O monitoramento da doença torna-se indispensável, sendo o plantio de cultivares de ciclo precoce, plantio antecipado, eliminação de plantas voluntárias e implantação do vazio sanitário, são medidas que visam a diminuição do potencial do inóculo (REIS et al.; PIMENTA et al.; SEIXAS; GODOY, 2007; GODOY et al., 2009; BALARDIN, 2010).

A fonte de inóculo e hospedeiro presente o ano todo, altos níveis de severidade, alto custo com controle da doença e possível resistência aos fungicidas utilizados levaram o Servicio Nacional de Calidad y Sanidad Vegetal y de Semillas - SENAVE (PARAGUAI, 2011) a propor um período de pausa fitossanitária, como estratégia de controle da doença.

De acordo com o documento, os principais hospedeiros do fungo ao a soja safrinha, soja voluntária e o kudzu. A proposta de implantação do período de

pausa fitossanitária estabeleceu um período de 90 dias sem o hospedeiro, variando de 15 de maio a 15 de agosto para regiões de fronteira com o Brasil e 30 de maio a 30 de agosto para as demais regiões.

De acordo com Rupe e Sconyers (2008), a chave para o controle efetivo da ferrugem da soja com fungicidas é o momento de aplicação. Isto é especialmente importante devido à introdução ou reintrodução do patógeno provavelmente ocorrem em momentos diferentes e em diferentes intensidades de ano para ano.

2.3.2 Controle Químico

O controle químico tem sido uma das únicas ferramentas adotadas pelos produtores para o controle efetivo da doença. O momento de entrada na lavoura para controle de ferrugem asiática da soja porém é uma incógnita tanto para técnicos como para produtores (DEUNER et al., 2009).

Para Reis et al. (2007), não se tem clareza sobre a época ideal de aplicação, eficiência dos produtos e número de aplicações necessárias para um controle econômico, devido à concentração dos esforços estar direcionada à realização de testes de eficiência de fungicidas.

2.3.3 Medidas para Racionalização do Controle Químico

Ferreira et al. (2010) relataram que as quantidades vendidas de defensivos na safra 2009/2010 apresentaram expansão frente ao ano de 2008, resultando em aumento de vendas para a cultura da soja (16,7%) em quantidade de produto comercial. A classe dos fungicidas em 2009 apresentou crescimento da ordem de 14,5% em quantidade de produto comercial quando comparada à safra de 2008. A soja foi a principal consumidora de defensivos no Brasil, sendo responsável em 2009 por 47,1% do valor total das vendas. Em 2010, a única categoria que cresceu em vendas foi a de fungicidas, elevando em 5% comparativamente a 2009 (FABRE, 2011)

A agricultura brasileira nunca usou tanto defensivo quanto em 2009, fruto de maior capitalização do produtor que elevou o uso de tecnologia. O aumento da incidência da ferrugem da soja no sul e centro-oeste elevou a demanda para

127,8 mil toneladas, um acréscimo de 14,8%. Em receita, a categoria dos fungicidas foi uma das poucas a ter um resultado positivo, com crescimento de 13,8% e faturamento de US\$ 1,8 bilhão. Os 23,2 milhões de hectares semeados com o grão receberam 530,1 mil toneladas de defensivos, elevando em 18% o volume consumido (CAPEBE, 2010).

Menten et al. (2011) relataram que em 2009, foram comercializadas 725 mil toneladas de produtos formulados, sendo 12% (89.889 toneladas) de fungicidas, dos quais o primeiro estado em consumo é o de Mato Grosso (20%), seguido pelo estado de São Paulo (15%) e Paraná (14%). A soja destaca-se como maior cultura onde estes produtos são aplicados, principalmente no controle de ferrugem asiática.

De acordo com os dados do Sindicato Nacional da Indústria de Produtos para Defesa Agrícola (SINDAG), a indústria de defensivos registrou em 2010 o melhor ano de vendas da história do setor, faturando US\$ 7,24 bilhões, resultado 9% acima do registrado em 2009. O SINDAG (2011) confirmou que mais uma vez os fungicidas se destacaram com aumento de 21% em comparação a 2009, em dólar.

Segundo a Kleffman Group (SIQUERI, 2011), constatou-se que no Brasil o número de aplicações de fungicidas para o controle de *P. pachyrhizi* vem aumentando de um patamar de 1,9 aplicações na safra 2005/2006, para 2,1 na safra 2006/2007, 2,3 na safra 2007/2008, 2,36 na safra 2008/2009, 2,72 na safra 2009/2010 e 2,85 na safra 2010/2011.

Na tentativa de se buscar o controle racional da doença através do uso de fungicidas, através da identificação do momento a se realizar a primeira aplicação, são difundidas as seguintes opções:

2.3.3.1 Modelos de previsão de risco de epidemia

No Brasil as plataformas computacionais desenvolvidas com a finalidade de se mapear riscos de epidemias estão baseadas em fatores meteorológicos como umidade relativa acima de 90%, temperatura do ar, duração do período de molhamento (CANTERI et al., 2007b; REIS, 2004), visando definição de mapas de riscos climáticos e alertar para a necessidade de aplicação de fungicidas na lavoura.

Del Ponte e Esker (2007) concluíram que embora se disponha de modelos de previsão, ainda não se pode dispensar as atividades de monitoramento da dispersão da doença e divulgação de focos, ou mesmo da presença do inóculo no local, para avaliação em tempo real da doença.

O modelos atuais de previsão têm uma limitada capacidade de estimar corretamente a presença e a concentração do inóculo que irá iniciar as epidemias (DEL PONTE; ESKER, 2007).

Reis (2009) relatou que poucos modelos de previsão baseiam-se no monitoramento do inóculo relacionando-o com o início do desenvolvimento da doença por serem muito laboriosos. A maioria dos sistemas disponíveis tem como base os requerimentos climáticos para a multiplicação do inóculo e para a infecção.

Diante disso os modelos de previsão assumem que o inóculo está presente no ambiente, podendo, devido a este fato, levar a falhas na emissão de aviso de risco da doença (REIS; CASA, 2009).

Canteri et al. (2005) avaliaram que o fungo pode ser eficientemente controlado por fungicidas desde que estes sejam aplicados no momento certo. Algumas áreas têm requerido duas ou mais aplicações, outras apenas uma. Um sistema de mapeamento de risco climático para doença de planta foi desenvolvido para indicar risco de infecção para diferentes regiões do Paraná, e indicou que as regiões oeste e noroeste têm os mais baixos riscos de desenvolvimento da doença, estando as regiões central e sul como as de maior risco.

2.3.3.2 Monitoramento de sintomas em plantas sentinelas

A detecção de sintomas de ferrugem asiática em plantas sentinela indicam que os uredósporos sobreviventes do período de inverno encontraram um hospedeiro suscetível cultivado no início da primavera capaz de servir de ponte para a multiplicação do patógeno.

O aparecimento dos sintomas em plantas sentinela indicam a presença de esporos no ar e a multiplicação dos mesmos nas plantas de soja cultivadas antecipadamente, que continuaram o seu ciclo, contaminando os plantios da safra normal (CHRISTIANO; SCHERM, 2007).

O uso de parcelas sentinelas tem sido o meio mais seguro para a detecção precoce da presença da doença. As parcelas sentinela correspondem a

pequenas parcelas que podem ser principalmente soja, mas kudzu ou outro hospedeiro suscetível semeadas várias semanas antes do plantio comercial. Tanto o plantio antecipado e o uso de cultivares de ciclo precoce resulta no florescimento de parcelas sentinelas de 1-3 semanas antes da cultura comercial. A doença pode ser observada nas parcelas sentinelas uma semana ou duas antes de ser encontrada em campos comerciais adjacentes (RUPE; SCONYERS, 2008).

Na soja cultivada na Geórgia e Alabama, nas safras 2005 e 2006, utilizando-se parcelas sentinelas para o monitoramento de *P. Pachyrhizi*, foi observado que o período entre a primeira detecção de sintomas, em parcelas sentinela comparado com o aparecimento em parcelas normais foi de um mês em 2005 e quase quatro meses em 2006. Apesar de não ser constante entre os anos, esse período de defasagem é o suficientemente longo para servir como um alerta para os campos de soja comercial na área (CHRISTIANO; SCHERM, 2007).

O atraso do início da doença nas parcelas de soja normal em 2006 (início de setembro - outono) em comparação com 2005 (final de julho - verão) pode ter sido relacionados ao clima, afetado por uma seca de moderada a grave, durante o verão de 2006, e a temporada de furacões foi mais calmo do que em 2005 (CHRISTIANO; SCHERM, 2007).

Nos Estados Unidos, a doença tem sido detectada precocemente na região sul daquele país, de forma localizada, infectando hospedeiros alternativos, como o kudzu, e alguns cultivos de soja, porém mostrando uma movimentação lenta em direção ao norte, atingindo um pequeno número de lavouras da região sul do meio-oeste americano, já no final da safra e em plantios tardios (DEL PONTE; ESKER, 2007).

2.3.3.3 Calendarização das aplicações

Forcelini (2009) afirmou que dependendo das condições climáticas, da época de semeadura da soja e da quantidade do inóculo disponível na região de cultivo, a ferrugem ocorreu já na fase vegetativa, o que requereu a aplicação imediata de fungicidas. Caso contrário, o início das aplicações poderia ser feito a partir da floração ou no pré-fechamento do espaço entre linhas de cultivo.

Chama-se comumente de calendarização quando o controle químico é feito em estádios fenológicos pré-estabelecidos, a partir do estágio do

florescimento. De acordo com Godoy et al. (2009) esta estratégia pode promover adequada supressão da doença, porém está em desacordo com os fatores que influenciam as epidemias. Esta estratégia pode induzir a aplicações desnecessárias, proporcionando aumento de custos.

Seguindo a mesma linha de raciocínio, para Reis et al. (2007) e Mueller et al. (2009), as aplicações com base no estágio fenológico da cultura não são um indicativo de controle eficiente, devido ao fato do patógeno estabelecer-se em qualquer estágio da planta durante o ciclo da cultura.

Reis e Casa (2009) afirmaram que a ocorrência das doenças, como regra geral, não depende do estágio fenológico, mas sim dos fatores determinantes de doenças : patógeno – hospedeiro – ambiente.

Godoy et al. (2009) afirmaram que as razões para os produtores do Brasil, e de outros lugares do mundo, adotarem programas de aplicações calendarizadas têm base na dificuldade de identificar a doença no seu início e o potencial de dano sob situações de falha no manejo. No Zimbábue, África do Sul e Estados Unidos, as recomendações de controle são feitas baseado no esquema calendarizado, a partir do florescimento se repetindo em intervalos de 21 dias, sendo recomendadas 3 aplicações em áreas com alta intensidade da doença e 2 em áreas com baixa intensidade.

2.3.3.4 Aparecimento dos sintomas iniciais

Quando a doença está ocorrendo, o controle químico com fungicida é, até o momento, a principal medida de controle. O número e a necessidade de reaplicações dependem do estágio inicial em que foi identificada a doença na lavoura e do período residual do produto (NASCIMENTO et al., 2011), observando-se as condições de favorabilidade ambiental ao patógeno (RUPE; SCONYERS, 2008).

Esta estratégia de controle considera que o monitoramento dos sintomas iniciais da doença (traços da doença), até aproximadamente 2% de severidade, observada no terço inferior das plantas na lavoura, define a entrada imediata na lavoura para a primeira aplicação de fungicida (REIS et al.; PIMENTA et al.; GODOY et al., 2007; RINALDI, 2009;; JULIATTI et al., 2010, TECNOLOGIAS, 2011).

Com esta premissa, as pulverizações fungicidas feitas nesse momento, associadas a condições de favorabilidade ambiental ao patógeno, poderiam controlar eficientemente a doença e determinar o número de aplicações a serem realizadas (CANTERI et al., 2005; PIMENTA et al., 2007, RINALDI; MUELLER et al., 2009).

Orientado por esta vertente de pensamento, foi criado pelo Ministério da Agricultura do Brasil, em 2004, o consórcio antiferrugem, com o objetivo de uniformizar as informações sobre a doença, bem como acompanhar a evolução da epidemia no país, através do comunicado da ocorrência da doença feito por técnicos.

Scherm et al. (2009), confirmaram que o momento de aplicação nos ensaios brasileiros está baseado na fenologia da cultura, resultando em uma variação de severidade de 0 a 5%. No entanto, os autores concluíram que apenas um nível de doença em torno de 0,05% poderia ser tolerado. Caso contrário, a eficiência dos fungicidas poderia ser afetada negativamente, ocasionando perdas significativas em rendimento.

Esta informação vem acender ainda mais a discussão sobre o momento de aplicação, uma vez que, se para severidade em torno de 2% fica difícil a observação de sintomas, com um nível de severidade ainda menor, a dificuldade tende a aumentar e o monitoramento de doenças tende a perder forças para as aplicações conduzidas pelo calendário fenológico.

Reis et al. (2007) em ensaio com épocas de aplicação para controle de ferrugem asiática na safra 2003/2004, observaram que em condições de baixa severidade inicial da doença, embora os sintomas tenham iniciado no estágio vegetativo e com condições ambientais desfavoráveis, há comprometimento do desenvolvimento da doença, não ocorrendo diferença significativa entre os tratamentos.

2.3.3.5 Monitoramento dos uredósporos antes da infecção primária

A variação da ocorrência anual da doença pode ser atribuída à presença de inóculo e às condições meteorológicas adversas. Falta informações sobre o progresso da doença e como a taxa de desenvolvimento da doença é afetada pelo local, ano e condições ambientais (REIS, 2009; ESKER et al., 2007).

Com a adoção de diversas medidas de controle do potencial de inóculo no período de entressafra, a vinda de novos esporos para instalação do ciclo primário na lavoura é adiada, o que propicia a utilização de armadilhas caça-esporos como forma prática de se acompanhar a chegada dos esporos na área (BLUM; DIANESE, 2001; DEL PONTE et al., 2007; IGARASHI et al., 2009; FORMENTO et al.; BALARDIN, 2010).

Para Iamamoto (2008) e Igarashi et al. (2009), os programas atuais de controle químico da ferrugem asiática da soja deveriam levar em consideração a aplicação preventiva somente após o momento em que o inóculo tenha sido detectado, antes da infecção.

Para a efetivação dessa estratégia, a utilização de armadilhas caça-esporos instaladas em lavouras propiciaria o acompanhamento da evolução do inóculo e a elaboração de mapas de previsão de epidemia da doença, podendo alertar tanto técnicos quanto produtores, quanto aos riscos de infecção pela presença do patógeno (DEL PONTE et al., 2004; SILVA; PRABHU, 2005; VON QUALEN; YANG, 2006; ISARD et al., 2007; IAMAMOTO, 2008).

Segundo Balardin (2010), existe grande expectativa de que as armadilhas caça-esporos possam ser ferramentas disponíveis para o manejo econômico e eficiente da ferrugem asiática nas próximas safras.

Segundo Tenuta et al. (2006), comparando-se os resultados obtidos em experimento comparativo com a determinação do momento de aplicação utilizando-se parcelas sentinelas e armadilha coletora de esporos, as duas formas funcionaram efetivamente como um sistema de alerta e uma ferramenta de suporte de decisão dos produtores e técnicos.

Juliatti et al. (2010), alertaram porém que pode acontecer a deposição dos esporos e na sequência a formação de pústulas sem que os esporos tenham sido detectados na armadilha.

A presença de esporos do fungo detectados em armadilhas durante o período da safra nem sempre pode significar alto risco da doença, dependendo da região (DEL PONTE; ESKER, 2007; PAN et al., 2006)

2.3.3.6 Monitoramento de uredósporos, favorabilidade ambiental e estágio fenológico

O monitoramento dos uredósporos concomitantemente à favorabilidade ambiental e estágio fenológico em que se encontra a cultura leva em consideração a concretização dos princípios de epidemiologia (BERGAMIN FILHO; AMORIM, 1996), onde há antecipação da manifestação dos sintomas, podendo se adotar a entrada na lavoura para aplicação preventiva na iminência do risco epidemiológico.

A decisão de aplicação deve ser técnica e baseada na presença da ferrugem na região, no estágio fenológico da cultura, no progresso da doença, nas condições meteorológicas e na logística de aplicação (CANTERI et al., 2007a; PIMENTA et al., 2007; TECNOLOGIAS, 2011).

2.4 AÇÃO EM MESOESCALA GEOGRÁFICA

Analisando o processo epidemiológico e suas diversas controvérsias, Zadoks (2001), começou a questionar o fato de se enxergar a epidemia como tendo início em um determinado local, ganhando força e se expandindo em uma taxa constante, transformando-se em ondas de dispersão que transcendem a ocorrência em uma estação, numa determinada área e num local específico.

Em suas considerações, Brown e Hovmøller (2002) avaliaram que a agricultura mundial é baseada em um pequeno número de espécies de plantas, diante de milhares de espécies existentes na natureza. Isso facilita a dispersão intercontinental de patógenos favorecendo o desenvolvimento de doenças em culturas em escala global. Em seu artigo discutiram ser a dispersão aérea da população do patógeno dentro de um determinado continente, através de distâncias variáveis de 500 a 2.000 km, como a de ocorrência mais provável, devido à interferência das condições ambientais afetando a sobrevivência do inóculo no transporte aéreo, o que tornaria a dispersão intercontinental mais rara.

As ações de controle devem extrapolar fronteiras geo-políticas, uma vez que uma determinada região produtora de inóculo serve de fonte para outra

durante a estação de cultivo, independentemente das fronteiras estabelecidas (YANG, 2006).

Um exemplo claro desta situação, é o tratamento objetivo e responsável verificado logo após a chegada da ferrugem asiática no sudeste da África em 1998. Várias reuniões multissetoriais foram realizadas entre o Zimbábue e a África do Sul para compartilhar conhecimentos sobre a doença e desenvolver uma estratégia de controle envolvendo as duas nações (LEVY, 2005).

2.5 CUSTOS COM O CONTROLE

Para o controle químico da doença no Paraná, os agricultores realizaram em média 1,8 aplicações de fungicidas na safra 2009/2010, desembolsando em torno de R\$ 88,02 por hectare, somando-se preço do insumo e operação de aplicação de defensivos (APEPA; PARANÁ, 2011).

Segundo Nascimento et al. (2011), os dados da Fundação MT indicaram que com a adoção do vazio sanitário no estado do Mato Grosso, adiou-se o aparecimento da doença na safra de verão, onde houve redução de 2,5 para 2,4 pulverizações por hectare, sem redução da produtividade.

Anteriormente à adoção do vazio sanitário Yorinori (2006), destacou a maior dificuldade no controle da ferrugem causada pela contínua produção de inóculo proveniente de soja irrigada na entressafra e na soja voluntária, favorecendo o fungo e servindo de “ponte verde” entre uma safra e a seguinte. Com esta condição, não se deixou intervalo sem ferrugem no campo, levando os agricultores a realizarem de 3 a 7 pulverizações e mesmo assim, ainda havia lesões com esporos viáveis.

Brasil (2009), em ensaio de eficiência de fungicidas para o controle de ferrugem asiática na safra 2008/2009, agruparam os produtos aprovados na Reunião de Pesquisa de Soja da Região Central do Brasil. Na categoria de eficiência de controle entre 63 a 73% (melhor categoria) destacaram-se picoxistrobina + ciproconazol; trifloxistrobina + tebuconazol; piraclostrobin + epoxiconazole; azoxistrobina + ciproconazol e trifloxistrobina + ciproconazol.

Nas observações de Levy (2005), três aplicações de fungicidas são necessárias para a manutenção do rendimento da cultura da soja sob condições de elevada severidade da doença.

As informações do Servicio Nacional de Calidad Y Sanidad Vegetal Y de Semillas – SENAVE (PARAGUAI, 2011), descreveu os custos estimados em dólares com o controle de ferrugem asiática, indicando que o número de aplicações de fungicidas na safra 2009/2010 para o período normal de plantio variou de 2 a 10 aplicações, que despenderam de US\$ 105 a 528 milhões, respectivamente. No plantio de segunda safra, de acordo com o SENAVE, o total de aplicações chegou a 15, com custo de US\$ 270 milhões.

3 ARTIGO :

DETERMINAÇÃO DA PROVÁVEL ORIGEM DO INÓCULO DE *Phakopsora pachyrhizi* E INTERAÇÃO ENTRE ESTÁDIO FENOLÓGICO, FAVORABILIDADE AMBIENTAL E PRESENÇA DO INÓCULO PARA CONTROLE DA DOENÇA

3.1 RESUMO E ABSTRACT

RESUMO

A determinação do momento da primeira aplicação de fungicidas para controle da ferrugem asiática da soja (*Phakopsora pachyrhizi*) tem motivado debates no meio científico. Com o objetivo de avaliar a estratégia de monitoramento de esporos e condições de favorabilidade ambiental para o controle da doença, foi conduzido experimento em área comercial de soja no município de Engenheiro Beltrão - PR, na safra 2009/2010, utilizando a cultivar BRS 232 e na safra 2010/2011, a cultivar NK7059RR (VMax). O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso, com treze tratamentos e quatro repetições, sendo cada parcela constituída por seis linhas de 5 m, espaçadas 0,45 m entre linhas. Os tratamentos diferenciaram-se para a tomada de decisão do controle químico de acordo com a presença de esporos coletados em armadilha caça-esporos, o estágio de desenvolvimento da cultura, o modelo de favorabilidade de infecção e a precipitação. Utilizou-se estação meteorológica automática para coletar dados de temperatura, precipitação e umidade relativa a partir da implantação da cultura. A severidade da doença foi avaliada semanalmente a partir dos primeiros sintomas. Calculou-se a área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD), a taxa aparente de infecção (TAI), as produtividades e o peso de 1.000 grãos. Os dados foram submetidos à análise de variância pelo teste F e as diferenças entre as médias, quando significativas, foram comparadas pelo teste de Tukey, usando-se o programa SASM-Agri e SISVAR para a análise de contrastes, ambos ao nível de 5% de probabilidade. O melhor momento para iniciar as aplicações foi quando após constatado esporos viáveis na armadilha caça-esporos, contaram-se 12 dias de favorabilidade ambiental igual ou superior a 60% nas duas safras. A adoção do monitoramento de esporos possibilitou a redução de 1 a 3 aplicações de fungicida comparado ao tratamento com aplicações calendarizadas. Houve diferença de severidade da doença, mesmo com condições ambientais favoráveis ao desenvolvimento da doença nas duas safras. A precipitação não apresentou influência na determinação do momento da primeira aplicação. O progresso da doença foi influenciado pelo momento de detecção do inóculo inicial viável. Na determinação da provável origem da fonte de inóculo, existe a possibilidade de associação à produção de uredósporos em lavouras comerciais de plantio antecipado do que em soja voluntária. Estimando a quantidade de uredósporos que atingiu a safra de verão do Estado do Paraná, provenientes de safra de plantio antecipado no Paraguai em 2009/2010, esta foi 10 milhões de vezes superior à quantidade produzida por 1% da área paranaense de soja safrinha. A

ação de sistemas frontais passando pelo Paraguai, contribuíram para o transporte de esporos para lavouras comerciais do Brasil.

Palavras-chave: Epidemiologia. Controle integrado. Aerobiologia.

DETERMINATION OF THE PROBABLE SOURCE OF THE *Phakopsora pachyrhizi* AND INTERACTION BETWEEN STAGE OF THE HOST, ENVIRONMENTAL FAVORABILITY AND PRESENCE OF INOCULUM FOR DISEASE CONTROL.

ABSTRACT

The determination of when the first application of fungicides to control asian soybean rust (*Phakopsora pachyrhizi* Syd. & P. Syd.) has prompted much discussions among scientists. In order to evaluate the monitoring strategy of spores and conditions of environmental favorability for disease control, experiment was conducted in commercial soybean fields in the municipality of Engenheiro Beltrão - PR, latitude 23°47'50" and longitude 52°16'09" in the 2009/2010 harvest, using BRS 232 and 2010/2011 harvest, the cultivar NK7059RR (VMax). The experimental design was randomized blocks, with thirteen treatments and four replications, each plot had six rows of 5 m, spaced 0.45 m between rows. The treatments differed for the decision making of chemical control in accordance with the presence of spores collected in spores-trap, with the stage of crop development, the favorability of infection model and precipitation. The meteorological elements temperature, precipitation and relative humidity were collected from crop establishment in automatic weather station. Disease severity was evaluated weekly from the first symptoms. The area under the disease progress curve (AUDPC) and apparent infection rate (TAI) of all treatments was calculated. It was evaluated the yield and 1.000 grains weight. The data were subjected to analysis of variance by F tests and differences between means when significant tests were compared by Tukey test, using the programs SASM-Agri and SISVAR for the analysis of contrasts, both at 5% probability. The best time to start applications when after it was found viable spores in the spores-trap were counted 12 days of environmental favorability equal or more than 60% in the two seasons. The adoption of monitoring of spores allowed the reduction of 1 to 3 applications of fungicide compared with to treatment with scheduled applications. It was no difference in disease severity, even with favorability conditions for disease development in the two seasons. The precipitation had no effect in determining the time of first application. The progression of disease was influenced by the time of initial detection of viable inoculum. In determining the probable origin of the inoculum source, there is the possibility of association urediniosporal in the production of commercial crops that were planting soybeans earlier than voluntary plants of soybean. In estimating the amount of urediniosporal hit the summer crop of the State of Paraná, from crops grown in Paraguay in 2009/2010 was 10 million times the amount produced by 1% of the off-season soybean in Paraná. The action of frontal

systems over areas of early planting of soybeans in Paraguay contributed to the transport of spores to commercial crops of Brazil. The epidemic control of Asian soybean rust should go through the discussion of the disease on a larger scale than that seen in our home scale viewing only.

Keywords: Epidemiology. Integrated Control. Aerobiology.

3.2 INTRODUÇÃO

O Brasil se destaca no cenário mundial como o segundo maior produtor mundial de soja, onde em 2010/2011 colheu uma safra recorde de 74,9 milhões de hectares em 24,1 milhões de hectares (BRASIL, 2010b).

A ferrugem asiática da soja, causada pelo fungo *Phakopsora pachyrhizi*, tem um grande potencial destrutivo da lavoura. Em condições favoráveis à doença, são relatadas perdas que podem ultrapassar 70% da produção em áreas não controladas (YORINORI et al., 2005).

Canteri et al. (2007b) e Del Ponte (2006b), relataram que até o momento a chuva exerce forte influência sobre a epidemia de *P. pachyrhizi*, porém não é apenas o clima ou o ambiente que regulam as epidemias, pois o progresso da doença é fortemente influenciado pela quantidade do inóculo inicial, que explica grande variação na severidade da doença em semeaduras antecipadas ou tardias.

P. pachyrhizi é considerado parasita obrigatório, sobrevivendo em outras plantas hospedeiras, plantas voluntárias de soja e lavouras de soja cultivadas na entressafra. O patógeno pode vir de regiões onde se encontra o hospedeiro, multiplicando-se pelo caminho, até chegar nas demais regiões produtoras isentas do patógeno (HENNEN, 1995; PIVONIA; YANG, 2004; TECNOLOGIAS, 2011).

P. pachyrhizi de maneira similar a outros fungos, é capaz de se movimentar na atmosfera, percorrendo longas distâncias de uma localização geográfica para outra (GREGORY, 1973). De acordo com Aylor (1986), o transporte aéreo de esporos de fungos sem dúvida é responsável pela propagação de doenças de plantas por distâncias de 500 km ou mais.

Reis (2004) descreveu que para o desenvolvimento de uma epidemia, o inóculo primário deve ser transportado e depositado sobre as plantas na lavoura. O vento, com umidade e velocidade adequadas, soprando em direção à

cultura suscetível, transporta os esporos. As epidemias em geral seguem a direção e a trajetória dos ventos dominantes.

De acordo com as informações da plataforma do Consórcio Antiferrugem (BRASIL, 2011b), houve variação do número de eventos registrados ligados à constatação dos sintomas de ferrugem asiática no Brasil. Na safra 2009/2010, foram registrados 2.370 eventos, enquanto na safra 2010/2011, foram registrados 707.

Bergamin Filho (2006) relatou *P. pachyrhizi* em soja como fungo de características de um patossistema tropical, onde a redução da quantidade de inóculo inicial seria uma estratégia eficiente para manejar adequadamente a doença.

O controle químico tem sido uma das únicas ferramentas adotadas pelos produtores para o controle efetivo da doença. O momento de entrada na lavoura para controle de ferrugem asiática da soja porém é uma incógnita tanto para técnicos como para produtores (DEUNER et al., 2009).

Adota-se comumente a calendarização quando o controle químico é feito em estádios fenológicos pré-estabelecidos, a partir do estágio do florescimento. De acordo com Godoy et al. (2009) esta estratégia pode promover adequada supressão da doença, porém está em desacordo com os fatores que influenciam as epidemias. Esta estratégia pode induzir a aplicações desnecessárias, proporcionando aumento de custos. Os autores afirmaram que as razões para os produtores do Brasil, e de outros lugares do mundo, adotarem programas de aplicações calendarizadas têm base na dificuldade de identificar a doença no seu início e o potencial de dano sob situações de falha no manejo.

Estas dificuldades propiciam a adoção de armadilhas caça-esporos como forma prática de se acompanhar a chegada dos esporos na área e possibilitar a técnicos e produtores uma melhor definição sobre o momento de se efetivar a primeira aplicação de fungicida (BLUM; DIANESE, 2001; DEL PONTE et al., 2007; IGARASHI et al., 2009; FORMENTO et al.; BALARDIN, 2010).

Como nas safras estudadas houve diferenças no processo epidemiológico de ferrugem asiática, mesmo com alta condição de favorabilidade ambiental, houve necessidade de explicar as razões para o ocorrido.

Buscou-se em Reis (2004), Kim (2005) e Nascimento et al. (2011) onde descreveram que para o desenvolvimento de uma epidemia o inóculo primário

produzido em grande quantidade na área de origem, deve ser transportado e depositado sobre as plantas na lavoura.

O vento, com umidade do ar e velocidade adequadas, soprando em direção à cultura suscetível, transporta os esporos. As epidemias em geral seguem a direção e a trajetória dos ventos dominantes.

Na América do Sul, o domínio das massas de ar é frequentemente perturbado por invasões de massas polares. No contato entre duas massas de ar de temperaturas diferentes, forma-se uma superfície de descontinuidade, conhecida como superfície frontal. A linha ou zona de contato da superfície frontal com a superfície do solo ou qualquer outro plano horizontal é chamada de frente (TUBELIS; NASCIMENTO, 1988).

Levando em consideração estes princípios, o objetivo deste trabalho foi comparar as diversas estratégias recomendadas atualmente para o controle da ferrugem asiática da soja com uma nova proposta que é a do monitoramento dos esporos e das condições de favorabilidade ambiental para a determinação do momento da primeira aplicação de fungicida, de acordo com os resultados obtidos em ensaios nas safras 2009/2010 e 2010/2011.

Buscando aprofundar as razões dos diferentes resultados nas duas safras, o trabalho também objetivou determinar a provável origem do inóculo de *Phakopsora pachyrhizi* que infecta as lavouras do Estado do Paraná.

Existia uma suspeita de que os uredósporos do fungo fossem provenientes do Paraguai, por se ter evidências de que os produtores daquele país semearam a soja no final do mês de agosto de 2009. Como neste momento, no Brasil ainda estamos no período do vazio sanitário, não haveria razão para acompanharmos somente o processo epidemiológico desencadeado por plantas voluntárias de soja.

Através da investigação sobre a quantidade de uredósporos produzidos por plantas voluntárias e de cultivos comerciais feitos em plantios antecipados na primavera, associados ao conhecimento da área plantada de soja no Paraguai e ao estudo dos sistemas frontais que passam por aquele país e atingem o Brasil, este trabalho apresenta a proposta de se monitorar o desenvolvimento da epidemia, através de ações conjuntas em mesoescala regional, envolvendo os países produtores, para se ter um controle eficiente da doença.

3.3 MATERIAL E MÉTODOS

3.3.1 Implantação

O ensaio foi realizado no município de Engenheiro Beltrão (PR), localizado na latitude 23°47'50" S e longitude 52°16'09"W, altitude 520m, em solo do tipo Latossolo Vermelho Eutroférico, no sistema de plantio direto, sobre palhada de milho safrinha na safra 2009/2010 e sobre palhada de trigo na safra 2010/2011.

A análise de solo, foi feita a 10 cm de profundidade e a adubação de acordo com o resultado observado, correspondendo à fórmula 02-20-18 + (11,3% Ca; 5,8% S; 0,05% B; 0,05% Cu; 0,1% Mn; 0,1% Zn e 0,2% Óleo Mineral), na quantidade de 248 kg/ha.

As sementes foram tratadas com fungicida Carbendazim + Tiram (100 ml p.c./sc) + Thiatomexam (50 ml p.c./sc) + Inoculante (100 ml/sc).

Realizou-se o controle de pragas e plantas daninhas para que estes fatores não interferissem no experimento, feitos pelo produtor quando no tratamento à área comercial de produção.

O experimento foi conduzido em área comercial, sendo selecionada uma gleba homogênea, na cultura implantada, para a instalação do ensaio nas safras 2009/2010 e 2010/2011.

Foram semeadas as cultivares BRS 232, convencional, ciclo semiprecoce na safra 2009/2010, com plantio no dia 30/10/2009 e VMax (NK7059RR), transgênica, precoce, na safra 2010/2011, plantada no dia 13/10/2010.

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso, com treze tratamentos(Tabela 3.1) e quatro repetições, sendo cada parcela constituída por seis linhas de cinco metros, espaçadas de 0,45 m entre linhas. A implantação das parcelas foi realizada nos dias 21/11/2009 e 28/10/2010.

Tabela 3.1 – Tratamentos utilizados para o controle da ferrugem asiática da soja nos experimentos conduzidos nas safras 2009/2010 e 2010/2011.

Tratamento	Descrição dos Tratamentos
1	PARCELA CONTROLE : aplicações iniciando-se em V3, repetidas a intervalo de 15 dias.
2	CALENDARIZAÇÃO: Aplicação na Florada (R1/R2), "Canivetinho" (R4), e Enchimento de Grãos (R5.5) (intervalo de 21 dias).
3	DIGNOSE na área: Aplicação no início dos sintomas ("traços"), repetidas a intervalo de 21 dias.
4	GATILHO*: Monitorar esporos a partir de V2 e quando constatado esporos de ferrugem asiática de forma constante em 3 avaliações, iniciar aplicações. Repetidas em intervalos de 21 dias.
5	GATILHO: Monitorar esporos a partir de V2 e quando constatado esporos viáveis de ferrugem asiática, iniciar aplicações. Repetidas em intervalos de 21 dias.
6	GATILHO: Monitorar esporos a partir de V2 e quando constatado esporos de ferrugem asiática, iniciar aplicações quando houver pelo menos 1 dia com favorabilidade igual ou superior a 90%. Repetidas em intervalos de 21 dias.
7	GATILHO: após constatado esporos viáveis na armadilha, iniciar leitura de favorabilidade. Aplicar número de dias com favorabilidade igual ou superior a 60% for maior ou igual a 12. Repetidas em intervalos de 21 dias.
8	GATILHO: após constatado esporos viáveis na armadilha, iniciar leitura de favorabilidade. Aplicar número de dias com favorabilidade igual ou superior a 60% for maior ou igual a 6. Repetidas em intervalos de 21 dias.
9	GATILHO: após constatado esporos viáveis na armadilha, iniciar leitura de favorabilidade. Aplicar número de dias com favorabilidade igual ou superior a 60% for maior ou igual a 2. Repetidas em intervalos de 21 dias.
10	GATILHO: após constatado esporos viáveis na armadilha, iniciar leitura de favorabilidade. Aplicar número de dias de chuva acima de 2 mm for maior ou igual a 8. Repetidas em intervalos de 21 dias.
11	GATILHO: após constatado esporos viáveis na armadilha, iniciar leitura de favorabilidade. Aplicar número de dias de chuva acima de 2 mm for maior ou igual a 4. Repetidas em intervalos de 21 dias.
12	GATILHO: após constatado esporos viáveis na armadilha, iniciar leitura de favorabilidade. Aplicar número de dias de chuva acima de 2 mm for maior ou igual a 2. Repetidas em intervalos de 21 dias.
13	Testemunha sem tratamento

*Gatilho: Constatação do primeiro esporo no coletor SIGA.

As aplicações de fungicida, quando necessárias, foram feitas com 0,5 L/ha do fungicida piraclostrobina + epoxiconalole (66,5 + 25 g.i.a./ha) + óleo mineral (Assist) 0,5% até o estágio fenológico R6.

Utilizou-se pulverizador costal pressurizado com CO₂, equipado com barra de 2,5 m, com quatro bicos espaçados 0,5 m entre si, conduzidas a 0,5 m do alvo, com pontas tipo leque, jato plano XR 11002, sendo 110° de ângulo de projeção, com vazão nominal de 0,64 L/min na pressão de trabalho utilizada de 200 kPa, gerando espectro de gotas médias, com taxa de aplicação de 200 L/ha.

O acompanhamento do estágio fenológico da cultura foi realizado semanalmente, utilizando-se escala desenvolvida por Ritchie et al. (1982), adaptada por Yorinori (1996) (Tabela 3.2).

Considerou-se como área útil para a coleta de dados as duas linhas centrais, e como bordaduras as quatro linhas externas e 0,50m das extremidades da parcela. A descrição dos tratamentos avaliados encontra-se na Tabela 3.1.

Na safra 2009/2012, a colheita foi realizada em diferentes períodos conforme cada a evolução do desenvolvimento do estágio fenológico das plantas em cada tratamento, sendo a 1ª colheita realizada no dia 24/02/10, no tratamento 13; 2ª colheita no dia 03/03/10 no tratamento 4; 3ª colheita no dia 06/03/10 nos tratamentos 1, 2, 3, 5, 7, 9, 10, 11 e 12; e a 4ª colheita no dia 09/03/10 nos tratamentos 6 e 9.

Na safra 2010/2011, a colheita foi feita de uma só vez, no dia 21/02/11 e terminou no dia 23/02/11, em virtude das pesadas chuvas que ocorriam quase diariamente por ocasião da colheita. As plantas colhidas foram colocadas para secagem das vagens a céu aberto até que pudesse ser atingido o ponto de deiscência, com umidade em torno de 14 a 16%.

Tabela 3.2 – Descrição dos estádios fenológicos da soja.

 Descrição dos Estádios

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.

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), adaptado por Yorinori (1996)

3.3.2 Variáveis Avaliadas

3.3.2.1 Dados meteorológicos

Os elementos meteorológicos (temperatura máxima, temperatura mínima, temperatura média, umidade relativa e precipitação pluviométrica), foram registrados durante todo o ciclo da cultura de hora em hora, a partir de uma estação meteorológica automática, modelo Squitter/ISIS 1220 – PCD Ambiental, instalada no centro do experimento (Figura 3.1).

O número de horas com umidade relativa acima de 90% foi utilizado para o cálculo do período de molhamento. Os dados armazenados eram transferidos periodicamente para o computador, através do Programa ISIS, onde seriam utilizados para as análises das condições ambientais e de favorabilidade.

3.3.2.2 Favorabilidade ambiental

Para determinação da favorabilidade ambiental diária, utilizou-se a função $[Y=(0,00044/(1+485,5*\exp(-0,55*HM)))*(2,41*((T-9,99)^{2,63}*(33,3-T)^2))]$, adaptada por Canteri et al. (2005) a partir dos trabalhos de Marchetti et al. (1976) e Melching et al. (1989), onde as variáveis T (temperatura média diária °C) e HM (horas de molhamento sendo igual ao número de horas com umidade relativa acima de 90%), podem estimar a favorabilidade ambiental para a ocorrência da ferrugem da soja (Y%).

Figura 3.1 – Vista parcial da unidade experimental. À direita, o coletor de esporos, e à esquerda a estação meteorológica automática.

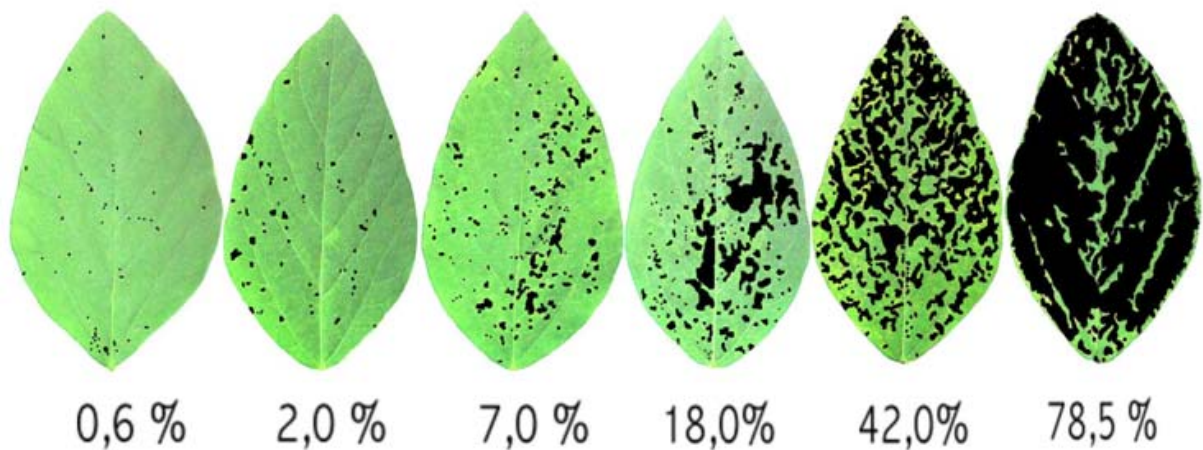


3.3.2.3 Incidência e severidade da ferrugem asiática da soja e área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD)

As avaliações para determinação da incidência foram realizadas desde a fase V7 até o início do aparecimento dos sintomas, semanalmente em 100 folhas amostradas externamente à área experimental, na lavoura comercial. As avaliações para determinação da severidade da doença foram realizadas semanalmente após a detecção dos primeiros sintomas até a fase R6, com o auxílio de escala diagramática desenvolvida por Godoy et al. (2006) (Figura 3.2).

Foram amostrados quatro pontos aleatórios da área útil em cada uma das parcelas do experimento, onde foram coletados trifólios do terço inferior, médio e superior das plantas, estimando-se a severidade média, em porcentagem, no terço inferior, médio e superior das plantas, sendo a média desses valores utilizada para a estimativa da severidade da doença na planta toda. O valor da severidade dos quatro pontos da parcela foi utilizado para o cálculo da severidade média das parcelas.

Figura 3.2 – 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 do tempo, pode-se construir as curvas de progresso da doença e a partir daí calcular-se a área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD) para cada tratamento.

3.3.2.4 Taxa aparente de infecção (TAI)

Para se estimar a taxa aparente de infecção, utilizou-se a metodologia descrita por Bergamin Filho e Amorim (1996), ajustando-se o melhor modelo epidemiológico aos dados obtidos. Os dados de severidade dos experimentos foram ajustados e o modelo logístico apresentou melhor ajuste para o experimento nas diferentes safras. Este modelo também foi utilizado por Tsukahara et al. (2008).

Em função do ajuste pelo modelo logístico, foi realizado o cálculo da taxa aparente de infecção (TAI) de cada tratamento, por experimento realizado, sendo $TAI = (1/t) * (\ln(x/(1-x)) - \ln(x_0/(1-x_0)))$, onde t=tempo (dias), x= proporção da doença final (%severidade/100) e x_0 = proporção de doença inicial (%severidade/100).

3.3.2.5 Presença e viabilidade do inóculo

Para se determinar o momento de acionamento do gatilho como alerta para início das pulverizações envolvendo a presença de uredósporos de *P. pachyrhizi*, instalou-se no centro do ensaio a armadilha caça-esporos, modelo SIGA, (Figura 3.1), com sistema de sucção de tipo cooler, acionado por bateria recarregável de 12V, na qual as lâminas de microscopia com as amostras de material coletado pela passagem do ar pela armadilha, eram enviadas para o Laboratório de Fitopatologia da Universidade Estadual de Londrina, a fim de se identificar a presença ou não de esporos do fungo.

Foram colocados dois suportes de lâminas no tubo de passagem forçada de ar. Um dos suportes continha uma lâmina com fita adesiva para contagem de uredósporos e outra continha óleo de silicone para se verificar a viabilidade do esporo através da germinação.

As lâminas foram substituídas diariamente. O teste de viabilidade dos esporos foi realizado após leitura em microscópio para confirmação de presença de inóculo do patógeno.

Para verificação da germinação, as lâminas eram lidas em microscópio com aumento de 100 vezes, e posteriormente colocadas em placas de Petri com 5 ml de água para simular ambiente de câmara úmida. Na sequência, eram lacradas e colocadas para germinação em BOD a 22°C por 12 horas. Após este período, procedia-se à leitura dos uredósporos germinados ou viáveis.

3.3.2.6 Produtividade e peso de 1.000 grãos

A produtividade (kg/ha) e o peso de 1000 grãos (g) foram estimados colhendo-se as duas linhas centrais das parcelas, deixando-se 1 m do início e ao fim

da parcela e as quatro linhas laterais de bordadura. A umidade das amostras foi corrigida para 13%.

3.3.3 Análise dos Dados

Os dados foram submetidos à análise de variância pelo teste F e as diferenças entre as médias, quando significativas, foram comparadas pelo teste de Tukey, usando-se o programa SASM-Agri (CANTERI et al., 2001) e SISVAR (FERREIRA, 2000), para a análise de contrastes, ambos ao nível de 5% de probabilidade.

3.3.4 Determinação da Provável Origem do Inóculo

3.3.4.1 Potencial de produção estacional de inóculo em culturas comerciais, plantas voluntárias de soja e kudzu

Visando estimar a quantidade de inóculo produzida em área comercial de soja, foram realizados cálculos simulando a produção de esporos, liberados de uma lavoura comercial de 1.000 ha e de soja voluntária numa área total de 10 ha, correspondente a 1% da área comercial, ou 100 m² de área de soja voluntária para cada 1 ha de lavoura comercial. Buscando-se definir a quantidade de esporos depositados a 700 km de sua fonte de origem, adequou-se a fórmula encontrada de Aylor (1986).

Para quantificação do número de uredósporos produzidos por urédia, utilizou-se os dados verificados por Yeh et al. (1982), onde encontraram 1.823 a 2.386 uredósporos por urédia, com 6,2 a 6,3 urédias por lesão.

Para o cálculo foi utilizado o número máximo de uredósporos encontrados. Nas conclusões de Twizeyimana et al. (2007), para condições de casa de vegetação foram encontradas em média 3,5 urédias por lesão com 405 uredósporos por pústula. Foram mantidos os valores máximos de uredósporos encontrados por Yang et al. (1990), porém, mantendo-se 3,5 urédias por lesão.

Os demais valores de cálculo foram obtidos de trabalho de Yang et al. (1990) para a cultivares TK 5, que encontraram número variável de lesões/cm², dependente da época de plantio.

Para a montagem do quadro de potencial fonte de inóculo, foram utilizados dados obtidos de pesquisas de Yeh et al. (1982), Aylor (1986), Melching et al. (1989), Yang et al. (1990) e Isard et al. (2006), Twizeyimana et al. (2007).

O quadro abaixo (Tabela 3.3), refere-se aos dados da cultivar TK 5, semeada na densidade de 400.000 plantas por ha, sob condição de irrigação:

Tabela 3.3 – Quantificação das lesões de *P. pachyrhizi* em plantas de soja, por estação do ano, cultivar TK 5, de acordo com Yang et al. (1990).

Período	IAF	Esporos x Lesão ⁻¹ x dia ⁻¹	Lesões x cm ⁻² de folha	Estágio aparecimento sintomas
PRIMAVERA	4,30	215	64,5	V3
VERÃO	6,04	188	13,6	V2
OUTONO	5,24	251	26,3	V3
INVERNO	4,86	501	1,3	R3

Os dados relacionados na Tabela 3.4, indicam IAF elevado no período de verão devido à quantidade elevada de plantas por ha utilizada nos ensaios, e às condições favoráveis para o desenvolvimento da cultura. Segundo a estimativa de Aylor (1986), o IAF para plantas voluntárias deve ser considerado 0,1.

Tabela 3.4 – índice de Área Foliar (IAF), esporos x lesão⁻¹ x dia⁻¹ e lesões x cm⁻² de folha, obtidos de ensaio de Yang et al. (1990), com 400.000 plantas x ha⁻¹, cultivar TK 5.

DIA DO ANO (PLANTIO)	ESTAÇÃO	ESTÁDIO 1ª LESÃO	MÁXIMO ÁREA FOLIAR/PLANTA (cm ²)	DIAS PARA MATURAÇÃO	MÁXIMO DE LESÕES/PLANTA
60	PRIMAVERA	V3	1.075	70	69.291
122	VERÃO	V2	1.510	80	20.587
246	OUTONO	V3	1.310	60	34.473
336	INVERNO	R3	1.215	35	1.548

A quantidade de esporos produzidos na origem e a quantidade de esporos que chegaram na região estudada foram determinadas de acordo com Aylor (1986). A fórmula utilizada para estimar o transporte de esporos, o número de

esporos injetados no ar a partir de uma fonte de inóculo e depositados em um outro hospedeiro suscetível, porém sadio, foi a seguinte:

$$D = P \times E \times T \times S, \text{ onde,}$$

P = produção de esporos por dia, onde,

$$P = (\text{esporos/lesão/dia}) \times (\text{lesões/cm}^2 \text{ de folha}) \times (\text{índice de área foliar}) \times 10^8 \text{cm}^2 \text{ha}^{-1}$$

E = porcentagem de esporos que escapam do dossel da cultura

Constante 0,15

T = perdas decorrentes por transporte turbulento e diluição de esporos na atmosfera,

estimado como sendo 0,1 para distâncias superiores a 700 km de distância entre fonte e local de deposição, altura vertical de transporte turbulento de 2 a 3 km e tempo de deposição entre 18 a 24h, em condições de deposição seca de esporos

S = porcentagem de esporos que sobrevivem no transporte em decorrência da ação de radiação solar,

Para dias nublados, sobrevivência em torno de 55% e para dias claros, sobrevivência em torno de 9%. Estabelecimento de média de 30% ou 0,3.

D = quantidade de esporos depositados sobre a cultura por dia.

Para o cálculo da quantidade de esporos que deixam a cultura, tomou-se como 1.000 ha o tamanho de uma lavoura comercial e de 10 ha a área de plantas voluntárias proporcional à lavoura comercial (1%), permanecendo após a colheita.

3.3.4.2 Direção predominante do vento na região oeste do Paraná durante a condução dos ensaios

Segundo Galvani et al. (1999) e Munhoz e Garcia (2007) os maiores valores de velocidade do vento são verificados durante o período diurno, decorrentes de maior movimentação atmosférica proporcionada pela ação da radiação solar. Diante desta constatação, estudou-se a direção predominante do vento ocorrida no ensaio nas safras 2009/2010 e 2010/2011, durante o período diurno.

Foram obtidos dados de direção predominante do vento de hora em hora das estações meteorológicas do Instituto Tecnológico Sistema Meteorológico do Paraná (Simepar), das localidades de Cascavel, Santa Helena, Foz do Iguaçu, Toledo, Palotina, Campo Mourão, São Miguel do Iguaçu e Guaíra para o período de 01/09/2009 a 18/01/2010 e 01/09/2010 e 18/01/2011.

De acordo com a metodologia utilizada por Galvani et al. (1999) e Munhoz e Garcia (2008), separou-se os dados de direção do vento da faixa de horário das 7:00 às 19:00h como sendo período diurno e das 20:00 às 6:00h da manhã do dia seguinte, como sendo período noturno, procedeu-se ao cálculo da direção do vento para cada período, mediante a contagem do número de ocorrências de determinada direção para cada período, dia por dia, utilizando-se da seguinte expressão:

$$f(x) = (n/N) \times 100$$

em que $f(x)$ é a frequência de ocorrência do vento em determinada direção (x); “ n ” o número de ocorrências de uma determinada direção; “ N ” o número total de observações no período analisado, no dia.

De posse dos dados de direção predominante no dia, para o cálculo da direção predominante nos meses correspondentes às safras de 2009/2010 e 2010/2011, realizou-se a contagem do número de ocorrências de determinada direção para cada período (diurno e noturno) no mês, utilizando-se a mesma expressão anterior,

$$f(x) = (n1/N1) \times 100$$

onde a variável “n1” o número de ocorrências de uma determinada direção durante o dia e “N1” o número total de observações no mês para cada estação meteorológica.

Com os dados mensais de direção do vento de cada estação meteorológica estudada, realizou-se a contagem do número de ocorrências de determinada direção para cada dia de todas as estações, utilizando-se a mesma expressão:

$$f(x) = (n2/N2) \times 100$$

onde a variável “n2” o número de ocorrências de uma determinada direção durante o dia e para cada período e “N2”, o número total de estações.

3.3.4.3 Direção predominante do vento durante a entrada dos sistemas frontais

Com a direção predominante do vento diária para o período diurno e noturno representativa de todas as estações meteorológicas, comparou-se com momento da chegada do sistema frontal no Estado do Paraná, a partir das informações obtidas na Síntese Sinótica Mensal, disponibilizada no site do Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) (BRASIL, 2011a).

3.3.4.4 Condições meteorológicas verificadas no plantio das safras 2009/2010 e 2010/2011 nas regiões produtoras do Paraguai

Os dados meteorológicos de precipitação pluviométrica (mm), temperatura máxima (°C), temperatura mínima (°C) e temperatura média (°C) diárias do Paraguai, relativos ao período de 01/07/2009 a 30/09/2009 e de 01/07/2010 a 30/09/2010 foram obtidos no site www.tutiempo.net, de propriedade da Tutiempo Network, sediada em Madrid, Espanha, dos municípios de Encarnación e Salto del Guairá.

3.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.4.1 Momento da Primeira Aplicação e Número de Aplicações

Na safra 2009/2010, o início das aplicações para a maioria dos tratamentos se concentrou entre as fases R1/R2 e R5.1, sendo em R1/R2 o estágio fenológico onde foram encontrados os primeiros esporos viáveis. Nesta safra, as aplicações para o tratamento 1 já havia iniciado, pois o objetivo era ausência total de doença e as aplicações para os tratamentos 3, 4 e 10 foram iniciadas próximo do estágio R5.1.

Na safra 2010/2011, nos tratamentos onde o gatilho era a presença de esporos viáveis e o aparecimento das primeiras pústulas (3,5,8,9,12), as aplicações se concentraram após o estágio fenológico R5.1. Os demais tratamentos 1,2,4 e 6 receberam aplicações antecipadas em relação àqueles.

Os tratamentos 7, 10 e 11 não receberam pulverizações pois as condições ambientais para disparo do gatilho nestes tratamentos ocorreram após o estágio fenológico R6. Diante disso, eles comportaram-se como testemunhas, sem aplicação (Figura 3.3 e Tabela 3.5).

O tratamento 1, recebeu 6 aplicações, enquanto as aplicações no tratamento 2, chamada calendarizada, foram 3, ambos para as duas safras. As aplicações nos demais tratamentos que dependiam da presença do patógeno e/ou condições de favorabilidade e a presença de lesões, variaram de nenhuma, uma ou duas (Tabela 3.3).

Tabela 3.5 – Número de aplicações de fungicidas e momento da primeira aplicação de fungicida por tratamento nos experimentos conduzido nas safras 2009/2010 e 2010/2011.

TRATAMENTO	Safrá 2009/2010			Safrá 2010/2011		
	Aplicações N°	Primeira Aplicação	DAE*	Aplicações N°	Primeira Aplicação	DAE*
1	6	22/11/2009	16	6	10/11/2010	24
2	3	19/12/2009	43	3	04/12/2010	48
3	2	11/01/2010	66	1	15/01/2011	90
4	1	15/01/2010	71	2	24/12/2010	68
5	2	23/12/2009	47	1	11/01/2011	85
6	2	23/12/2009	47	2	21/12/2010	65
7	2	02/01/2010	57	0	sem aplicação	
8	2	28/12/2009	52	1	17/01/2011	91
9	2	24/12/2010	48	1	15/01/2011	89
10	2	11/01/2010	66	0	sem aplicação	
11	2	28/12/2009	52	0	sem aplicação	
12	2	26/12/2009	50	1	15/01/2011	89
13	0			0		

* Dias após a emergência

Na safra 2010/2011 as aplicações foram em menor número para os tratamentos que dependiam da presença do patógeno/condições de favorabilidade/presença de lesões para determinação do momento da primeira aplicação.

Comparando-se as duas safras, verificou-se que as condições de favorabilidade ambiental (Figura 3.3) foram pouco diferenciadas de uma safra para outra, porém, houve variação no número de aplicações entre as safras 2009/2010 e 2010/2011.

A constatação de esporos viáveis foi responsável pela variação do número de pulverizações entre as safras, quando se comparou o momento de

aplicação para os vários tratamentos. Na safra 2009/2010, a detecção dos esporos viáveis foi realizada em 17/12/2009, com a cultura em R1/R2, o que forçou o disparo do gatilho na segunda quinzena do mês de dezembro. Isto implicou em reaplicações sequenciais a cada 21 dias, para se manter a proteção à cultura até o estágio R6, conforme definido no protocolo dos tratamentos.

Na safra 2010/2011, os esporos viáveis foram detectados em 11/01/2011, com a cultura em R5.1, onde com apenas uma aplicação, ou nenhuma, em alguns tratamentos, se atingisse o estágio R6 sem a necessidade de mais aplicações.

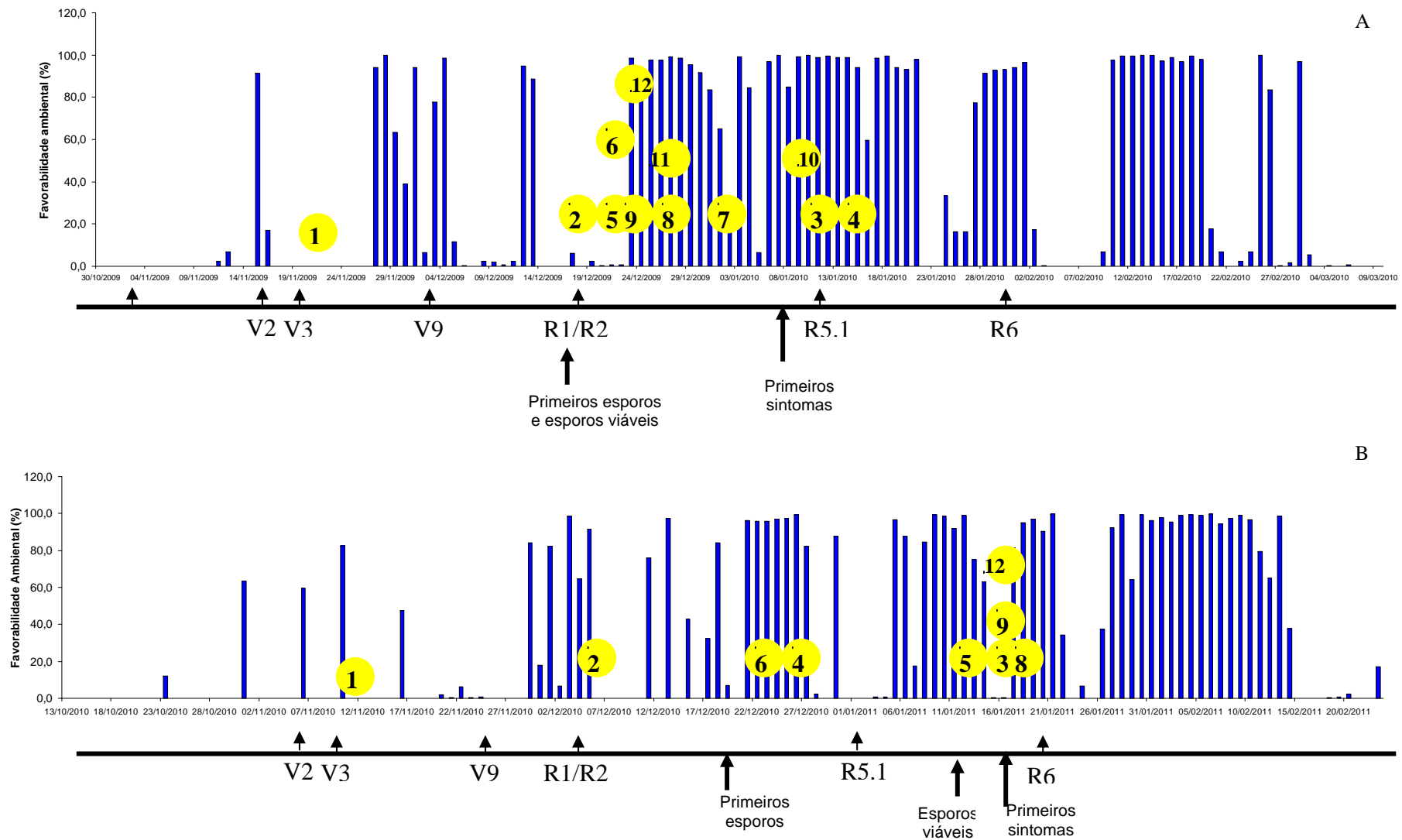


Figura 3.3 – Favorabilidade ambiental (%), estágio fenológico, constatação da presença de esporos e primeiros sintomas nas safras 2009/2010 (A) e 2010/2011(B). Os círculos numerados representam o momento da primeira aplicação de fungicida para os respectivos tratamentos.

3.4.2 Dados Meteorológicos na Área Experimental

A precipitação pluviométrica (mm), temperatura média (°C), temperatura mínima (°C) e temperatura máxima (°C), foram coletadas diariamente a partir da implantação da cultura nas safras 2009/2010 e 2010/2011, com exceção dos períodos 05 a 10/11, 20 a 26/11/2009 e 22/01/2010, na safra 2009/2010 e 13 a 21/10, 06 a 09/12 e 12/12/2010 onde houve impossibilidade de coleta de dados na estação meteorológica automática (Figura 3.4).

As condições meteorológicas verificadas na safra 2009/2010, apresentaram precipitação pluviométrica acumulada de 768,9 mm, temperatura média de 24,8°C, com menor temperatura mínima de 16,4°C, verificada no dia 5/12/2009 e maior temperatura máxima de 37,6°C, verificada no dia 3/11/2009.

Durante a safra 2010/2011, a precipitação pluviométrica acumulada foi de 832,5 mm, temperatura média de 23,7°C, menor temperatura mínima de 14,7°C, verificada no dia 19/11/2010 e maior temperatura máxima de 35,9°C, observada no dia 17/02/2011.

Os dados meteorológicos indicaram maior precipitação pluviométrica acumulada na safra 2010/2011, sendo bem distribuída durante as duas safras, o que possibilitou um bom desenvolvimento da cultura. Com relação à temperatura do ar, a safra 2010/2011 apresentou temperatura média 1°C abaixo da observada na safra 2009/2010.

A ocorrência de chuvas bem distribuídas durante os períodos mais críticos de desenvolvimento da cultura, potencializou as condições de favorabilidade ambiental, de acordo com Isard et al. (2007) e Del Ponte (2007), onde relatam que para a disseminação do patógeno é imprescindível a ação da chuva para desencadear os processos de transporte e deposição de uredósporos para regiões não contaminadas.

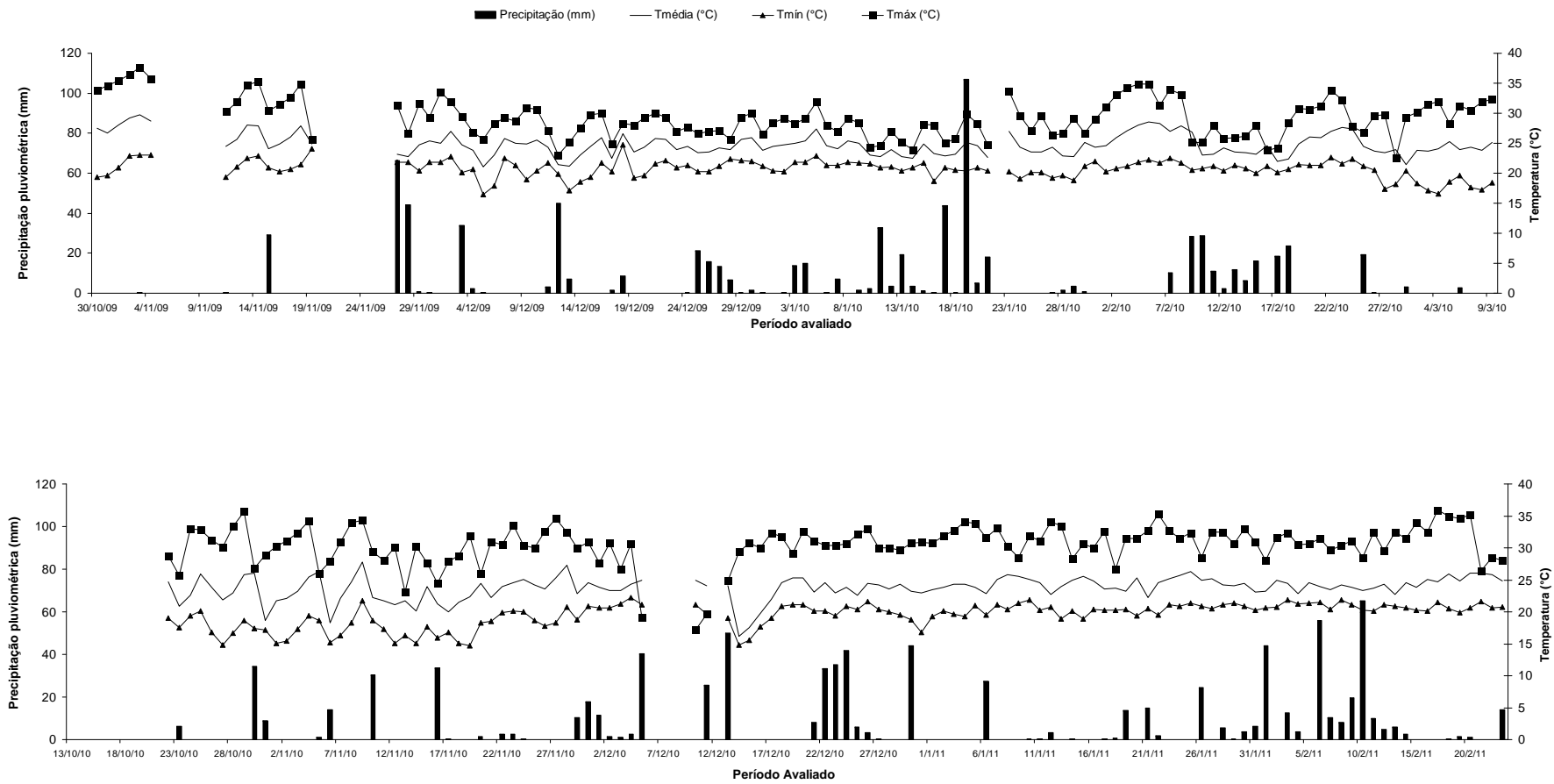


Figura 3.4 – Temperatura máxima (°C), temperatura mínima (°C), temperatura média (°C) e precipitação pluviométrica (mm) diárias, verificadas na unidade experimental, nas safras 2009/2010(A) e 2010/2011(B).

Confirmando a importância da precipitação na epidemia, os autores, Tschanz et al. (1984), Tschanz e Shanmugasundaram (1985), Sinclair e Hartman (1995); Del Ponte et al. (2006a), Del Ponte et al. (2006b), Canteri et al. (2007a), Barnes et al. (2008), Del Ponte et al. (2008), Li et al. (2008) e Schmitz e Grant (2009) relataram que sob condições de cultivo de soja, a epidemia depende mais da ação da chuva do que da temperatura, pois o fungo consegue sobreviver numa larga amplitude térmica, que se manifesta tanto sobre como sob o dossel da planta.

De acordo com esta observação, era de se esperar que na safra 2010/2011 a epidemia fosse mais severa ou pelo menos semelhante à de 2009/2010, pois em 2010/2011 a precipitação foi superior em 63,6 mm.

Constatou-se que a chuva não foi a única variável preditora de níveis de severidade da doença no campo, conforme cita Del Ponte et al. (2006b). Se isso fosse inteiramente verdadeiro, a epidemia em 2010/2011 teria a mesma proporção verificada na safra 2009/2010.

O número acumulado de ocorrências de focos de ferrugem asiática verificados na safra 2010/2011, com 707 eventos, comparados com a safra 2009/2010, com 2.370 eventos, detectados pelo Consórcio Antiferrugem (BRASIL, 2011b), indicou alteração no padrão de dispersão regional e temporal das epidemias.

A análise dos dados evidenciou que a chuva exerceu influência sobre o desenvolvimento da epidemia, porém não foi apenas a chuva ou as condições ambientais que regularam as epidemias. O progresso da doença é fortemente influenciado pela quantidade do inóculo inicial (CANTERI et al., 2007b, BRASIL, 2011b).

Os dados meteorológicos definiram a favorabilidade ambiental para a ocorrência da ferrugem asiática da soja, ilustrada na Figura 3.3, onde verificou-se que durante as duas safras as condições ambientais foram favoráveis ao desenvolvimento da doença durante todo o ciclo da cultura. Na safra 2009/2010 a favorabilidade ambiental atingiu valores diários acima de 60% a partir de 27/11/2009, com a soja no estágio vegetativo V5 e na safra 2010/2011, atingiu os mesmos valores, a partir de 29/11/2010, com a soja no início do estágio reprodutivo.

Os dados meteorológicos observados indicaram a alta favorabilidade ambiental confirmada por Bromfield (1984); Marchetti et al. (1975), Melching et al. (1979); Kochman (1979); Melching et al. (1989); Tan et al. (1994) e

Bonde et al. (2007), onde afirmam que as condições ambientais que propiciam o desenvolvimento da doença estão numa faixa ótima de temperatura entre 15 e 25°C, com mínima de 7°C e máxima de 28°C e período de molhamento de no mínimo de 6 horas e ótimo de 10-12 horas.

Apesar da ocorrência de temperaturas máximas superiores a 28°C durante as safras estudadas, de acordo com Del Ponte (2007), a temperatura no dossel da cultura pode não refletir a mesma temperatura do ar medida metros acima do dossel.

3.4.3 Presença do Inóculo

O momento em que os uredósporos foram capturados na armadilha caça-esporos foi diferenciado para as duas safras. Na safra 2009/2010, os primeiros uredósporos viáveis do fungo *P. pachyrhizi* foram capturados no dia 17/12/2009. Na safra 2010/2011, os primeiros uredósporos apareceram no dia 19/12/2010, porém não germinaram, sendo considerados inviáveis. O aparecimento de esporos viáveis, detectados no coletor, ocorreu em 11/01/11, uma diferença de 25 dias comparados ao momento de surgimento de esporos viáveis entre um ano e outro (Figura 3.3).

De acordo com Blum e Dianese (2001), Tenuta et al. (2006); Del Ponte et al. (2007), Isard et al. (2007), Yamamoto (2008), Igarashi et al. (2009), Formento et al. (2010) e Balardin (2010), a utilização de armadilhas caça-esporos é uma forma prática de se acompanhar a chegada dos esporos e sua evolução na área, podendo alertar tanto a técnicos quanto produtores sobre os riscos de infecção vinculados à presença do patógeno.

A captura de uredósporos tanto não viáveis quanto viáveis ocorreu em momento anterior ao aparecimento dos primeiros sintomas, para as duas safras analisadas. O primeiro esporo não viável na safra 2009/2010, foi capturado no dia 05/11, com a plântulas ainda não emergidas. A segunda captura significativa para o ensaio de 2009 ocorreu no 17/12, já com uredósporos viáveis.

Na safra 2010/2011, os primeiros esporos foram capturados no dia 19/12, porém não apresentando viabilidade quando colocados para germinar, no escuro, em câmara úmida por 12 horas, à temperatura ambiente. Os primeiros esporos viáveis foram detectados nas lâminas de microscopia no dia 11/01/2011.

A captura de esporos não viáveis na safra 2009/2010, anteriormente ao estádio V2, confirmaram Pan et al. (2006) e Del Ponte e Esker (2007), que a presença de esporos do fungo detectados em armadilhas durante o período da safra nem sempre pode significar alto risco da doença, porém é um indicativo de que a atenção deve ser redobrada e que existe uma fonte que liberou os esporos precocemente.

A constatação feita por Juliatti et al. (2010), para a possibilidade de acontecer a deposição dos esporos na planta e na sequência a formação de pústulas sem que os esporos tenham sido detectados na armadilha, não ocorreu, mesmo que o período entre a detecção de esporos viáveis para a formação das primeiras pústulas tenha sido pequeno como na safra 2010/2011, a presença anterior de esporos não viáveis na área experimental, foi um fator que alertou para os riscos inerentes à presença do patógeno.

O aparecimento antecipado dos esporos verificado na safra 2009/2010 acompanhado de elevadas condições de favorabilidade desencadearam o avanço da doença detectada no estádio R4/R5.1. Na safra 2010/2011, o aparecimento dos sintomas se deu no dia 14/01/2011, com a cultura já na fase R5.4, em estado bem adiantado de enchimento de grãos.

O atraso na detecção dos esporos viáveis na armadilha também esteve associado ao atraso no aparecimento dos primeiros sintomas em condições de campo na safra 2010/2011.

Na safra 2009/2010, o resultado obtido com o tratamento 3, onde o início das aplicações se deu com o aparecimento de traços dos sintomas não se diferenciou dos melhores tratamentos, porém, também não se diferenciou da testemunha, indicando que não é a melhor recomendação para se estabelecer o momento para o controle da doença, principalmente em anos com elevada pressão de inóculo, contrariando o descrito em Tecnologias (2011).

A afirmação de Scherm et al. (2009), de que apenas um nível de doença em torno de 0,05% poderia ser tolerado, caso contrário, a eficiência dos fungicidas poderia ser afetada negativamente, ocasionando perdas significativas em rendimento se confirma com os resultados obtidos no ensaio de 2009/2010.

Porém perguntas surgem: Se com os níveis severidade recomendados, no Brasil já é tão difícil a detecção da doença em campo, como se daria a detecção em níveis mais baixos ainda? A única opção em anos de

probabilidade de epidemia severa seria o uso de aplicações calendarizadas? Como resposta pode-se sugerir que o monitoramento dos uredósporos via armadilha caça-esporos durante todo o ciclo da cultura funcionou como ferramenta para o controle da doença.

No caso da safra 2010/2011 nenhum dos tratamentos se diferenciou da testemunha, indicando antecipação desnecessária nas aplicações de fungicidas. Mais uma vez o monitoramento de esporos associado ao acompanhamento das condições de favorabilidade ambiental apresentaram resultados mais seguros quanto à definição do momento de aplicação.

Tecendo-se uma análise hipotética, utilizando-se os parâmetros descritos na Figura 3.3, na safra 2009/2010, se os uredósporos viáveis tivessem sido detectados no mesmo período da safra 2010/2011, os uredósporos viáveis seriam detectados no dia 09/01/2010. Sendo o tratamento 7 o melhor tratamento para as condições de 2009/2010 e 2010/2011, após 12 dias de favorabilidade acima de 60%, a primeira aplicação seria realizada no dia 22/01/2010, terminando a safra com apenas uma aplicação de fungicida.

Analisando-se as condições da safra 2010/2011, com a utilização de uma variedade precoce, se os uredósporos viáveis tivessem sido detectados no mesmo período da safra 2009/2010, considerada de alta pressão de esporos, os uredósporos viáveis seriam detectados no dia 17/12/2009, com a soja no estágio R3.

Contando-se a partir deste momento, 12 dias de favorabilidade acima de 60%, atinge-se o dia 07/01/2011, com a soja no estágio R5.2, necessitando-se de uma aplicação de fungicida para manter a lavoura protegida até o estágio R6.

Mesmo após a detecção dos primeiros esporos, foram realizadas leituras no decorrer do desenvolvimento da cultura nas safras 2009/2010 e 2010/2011, onde os resultados estão relacionadas na Tabela 3.6. De acordo com estes resultados, a quantidade de uredósporos capturados na safra 2009/2010 foi superior ao da safra 2010/2011, indicando uma pressão maior de inóculo verificada na safra 2009/2010 do que na safra 2010/2011.

Portanto, para a hipótese de uma condição de baixa pressão de inóculo, como verificada nas condições do ensaio 2010/2011, para uma variedade semiprecoce, necessitaríamos de uma aplicação de fungicida. Para uma variedade de ciclo precoce, em condições de alta pressão de inóculo, como verificado nas

condições de 2009/2010, a doença seria controlada com uma aplicação de fungicida.

O captura do inóculo em armadilha em fase anterior ao aparecimento de sintomas na safra 2009/2010 em fase inicial da cultura, indicou que o inóculo inicial de fora, esteve relacionado ao desenvolvimento da epidemia, o que é de característica de um fitopatossistema temperado, na afirmação de Bergamin Filho e Amorim (1996). Associado a isso, o inóculo, de origem tanto externa, quanto os produzidos nos ciclos secundários do patógeno, ampliou a severidade da doença.

Tabela 3.6 – Número de uredósporos totais (viáveis e não viáveis) capturados em armadilha caça-esporos, nas safras 2009/2010 e 2010/2011, na unidade experimental de Engenheiro Beltrão PR.

Safrá 2009/2010		Safrá 2010/2011	
Data de Leitura	Nº de uredósporos	Data de Leitura	Nº de uredósporos
17/12/2009	1	19/12/2010	2*
18/12/2009	1	20/12/2010	5*
19/12/2009	0	21/12/2010	4*
20/12/2009	0	22/12/2010	0
21/12/2009	0	23/12/2010	0
22/12/2009	0	24/12/2010	0
23/12/2009	0	25/12/2010	0
24/12/2009	0	26/12/2010	0
26/12/2009	0	27/12/2010	0
27/12/2009	0	28/12/2010	0
28/12/2009	1	29/12/2010	0
29/12/2009	0	30/12/2010	0
30/12/2009	0	31/12/2010	0
31/12/2009	0	01/01/2011	0
02/01/2010	9	02/01/2011	0
04/01/2010	0	03/01/2011	0
05/01/2010	0	04/01/2011	0
08/01/2010	0	06/01/2011	0
09/01/2010	0	07/01/2011	0
13/01/2010	1	08/01/2011	0
15/01/2010	0	09/01/2011	0
18/01/2010	24	10/01/2011	0
19/01/2010	34	11/01/2011	1
21/01/2010	74	12/01/2011	0
22/01/2010	26	13/01/2011	0
23/01/2010	39	14/01/2011	5
25/01/2010	193	15/01/2011	2
26/01/2010	13	16/01/2011	3
27/01/2010	936	17/01/2011	4
01/02/2010	1.617	20/01/2011	5
		24/01/2011	21
		28/01/2011	33
TOTAL	2.969		85

*esporos não viáveis

3.4.4 Aparecimento dos Primeiros Sintomas

Analisando a Figura 3.3, a manifestação dos primeiros sintomas (0,01%) na safra 2009/2010 foi observada no dia 09/01/2010, com a variedade no estágio fenológico próximo a R5.1, com incidência em 18% das folhas amostradas. Na safra 2010/2011, constatou-se os primeiros sintomas (0,01%) no dia 14/01/2011, com a variedade no estágio fenológico próximo a R5.4, com incidência em 2% das folhas amostradas.

A incidência de sintomas na safra 2009/2010 foi 16 pontos percentuais superior ao verificado na safra 2010/2011, podendo ter ligação com uma maior pressão de inóculo verificado na safra 2009/2010.

O aparecimento dos primeiros sintomas não esteve vinculado ao estágio fenológico, visto que as condições de favorabilidade foram observadas em estádios anteriores aos estádios em que estes sintomas foram constatados a campo.

O momento da detecção de esporos viáveis definiu a época de surgimento das primeiras pústulas, diferenciando-se para as duas safras (Figura 3.3).

Na safra 2009/2010, os primeiros sintomas foram verificados 23 dias após a constatação dos primeiros esporos viáveis. No caso da safra 2010/2011, os primeiros sintomas apareceram 26 dias após serem constatados os primeiros esporos não viáveis e 3 dias após a confirmação de esporos viáveis no coletor.

Considerando a safra de 2009/2010 como de alta pressão de inóculo, o aparecimento dos primeiros sintomas ocorreu no dia 09/01/10 com uma antecipação de 5 dias com relação à data de aparecimento na safra 2010/2011.

O controle mais eficiente nestas condições, foi quando se efetuou aplicação 5 dias antes a ocorrência dos sintomas, ou seja, no tratamento 7, logo após a detecção de esporos viáveis, mais 12 dias de favorabilidade acima de 60%.

Quando o controle foi feito no aparecimento dos primeiros sintomas, tratamento 3, os resultados não se diferenciaram da testemunha sem controle, contrariando ao que disseram Canteri et al. (2005); Reis et al.; Pimenta et al. (2007); Godoy et al. (2009); Rupe e Sconyers (2008); Rinaldi; Mueller et al. (2009); Juliatti et al. (2010); Tecnologias e Nascimento et al. (2011).

A definição do momento da primeira aplicação de fungicida a partir dos sintomas iniciais da doença parece ser um bom referencial em anos de baixa

pressão de inóculo, visto que não se diferenciou dos demais tratamentos, como visto na safra 2010/2011.

3.4.5 Taxa Aparente de Infecção (TAI) e Área Abaixo da Curva de Progresso da Doença (AACPD)

As avaliações da intensidade da doença após início dos sintomas foram realizadas semanalmente, até o estágio R6, quantificando a severidade nos tratamentos, em cada safra estudada.

Analisando-se a AACPD e a TAI (Tabela 3.7), verificou-se o comportamento da ferrugem asiática da soja para cada tratamento em relação ao experimento. Pode-se afirmar, de acordo com a AACPD, que na safra 2009/2010, houve diferença significativa a nível de 5% de probabilidade entre os tratamentos, sendo os piores os tratamentos 4 e 13. Na safra 2010/2011 não houve diferença significativa entre os tratamentos.

Os valores de AACPD da safra 2009/2010 foram superiores aos da safra 2010/2011, indicando maior severidade da doença ocorrida na primeira safra. Os tratamentos que apresentaram menor valor de AACPD e TAI, propiciaram melhor controle da ferrugem asiática da soja, com exceção aos tratamentos 4 e 13, todos foram eficientes no controle, não havendo diferença significativa entre eles. O tratamento 13, considerado testemunha sem tratamento, foi o que apresentou o maior valor de AACPD e TAI, diferindo-se significativamente dos demais tratamentos.

O tratamento 4, embora tenha recebido uma aplicação, esta foi feita tardiamente, após uma sequência de aparecimento de esporos nas lâminas, apresentou uma AACPD e TAI, que se diferiu da testemunha e dos demais tratamentos, porém sendo consideradas altas.

Embora não havendo diferença estatística entre os tratamentos com 6, 3 e 2 aplicações com relação à AACPD, pode-se dizer que os parâmetros custo de produção e produtividade devem ser levados em consideração. O momento da primeira aplicação deve ser portanto cuidadosamente definido para que se faça a opção pelo tratamento com 2 aplicações de fungicida. Neste caso, o mais eficiente foi o tratamento 7.

Na safra 2010/2011, o aparecimento tardio da doença, já na fase R5.1, propiciou menores valores de AACPD e TAI, sendo estes muito próximos do tratamento padrão, considerado ausência de doença.

Mesmo com 6 aplicações no tratamento 1, houve aparecimento de doença, mesmo que em traços, pode-se dizer que o uso de fungicida, mesmo aplicado desde a fase V3, não garante controle total da doença.

Tabela 3.7 – Área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD) e taxa aparente de infecção (TAI) nos tratamentos realizados nas safras 2009/2010 e 2010/2011.

TRATAMENTOS	SAFRA 2009/2010		SAFRA 2010/2011	
	AACPD (*)	TAI	AACPD (*)	TAI
1	0,01 c	0,00 d	0,01 a	0,00 a
2	0,58 c	0,09 bcd	0,01 a	0,00 a
3	4,00 c	0,33 ab	0,03 a	0,10 a
4	37,20 b	0,32 ab	0,01 a	0,00 a
5	0,46 c	0,12 bcd	0,04 a	0,16 a
6	1,23 c	0,06 cd	0,01 a	0,00 a
7	1,42 c	0,27 abc	0,04 a	0,17 a
8	1,14 c	0,20 bcd	0,05 a	0,23 a
9	1,29 c	0,35 ab	0,01 a	0,05 a
10	2,18 c	0,15 bcd	0,02 a	0,10 a
11	0,60 c	0,25 abcd	0,04 a	0,26 a
12	0,54 c	0,09 bcd	0,04 a	0,14 a
13	66,42 a	0,51 a	0,01 a	0,09 a
CV %	25,41	7,68	3,19	10,64

*Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey (P< 0,05)

** diferenças não significativas (P<0,05)

3.4.6 Estádio Fenológico do Hospedeiro para Controle da Ferrugem

A variedade BRS 232, semeada na safra 2009/2010, considerada semiprecoce, apresentou os estádios V2, R1/R2, R5.1 e R6 nos dias 19/11, 19/12,

11/01 e 30/01, respectivamente. Na safra 2010/2011, a variedade NK7059RR (VMax), precoce apresentou os estádios V2, R1/R2, R5.1 e R6 nos dias 06/11, 04/12, 01/01 e 20/01, respectivamente (Figura 3.3).

O aparecimento dos primeiros sintomas ocorreram nos estádios R5.1 na cv. BRS 232 (safra 2009/2010) e em R5.4 na cv. VMax RR (safra 2010/2011), quando as cultivares ainda poderiam sofrer queda de rendimento se houvesse desenvolvimento rápido da doença.

A epidemia na safra 2009/2010 foi mais severa à ocorrida na safra 2010/2011, confirmado pelos maiores índices de severidade e AACPD (Tabela 3.7). Comparando-se os valores de AACPD encontrados para os tratamentos com maior severidade de doença, 13, 4 e 3, observou-se que na safra 2009/2010 os valores foram 66,42, 37,20 e 4,00, e na safra 2010/2011 foram 0,01, 0,01 e 0,03, respectivamente. O mesmo foi observado para os valores de TAI, ou seja, valores de 0,51, 0,32 e 0,33 na safra 2009/2010 e 0,09, 0,0 e 0,1 na safra 2010/2011,, respectivamente.

As duas cultivares utilizadas apresentavam níveis de suscetibilidade semelhantes, portanto a justificativa para as diferenças de intensidade da doença ocorridas nas duas safras provavelmente não está associada às diferentes cultivares utilizadas e seus diferentes ciclos de maturação, mas às diferentes pressões de inóculo verificadas nas safras. A cultivar de ciclo semiprecoce (safra 2009/2010), recebeu pressão de inóculo maior já na fase reprodutiva, o que não ocorreu com a cultivar precoce (safra 2010/2011), que recebeu baixa pressão de inóculo em R5.1 (Tabela 3.6).

Provavelmente se a pressão de inóculo fosse alta na safra 2010/2011 na fase reprodutiva R5.1, mesmo com uma cultivar precoce, haveria necessidade de se antecipar as medidas de controle.

De acordo com Rupe e Sconyers (2008), as epidemias de ferrugem da soja podem progredir de níveis indetectáveis até o desfolhamento dentro do período de um mês. Normalmente as lesões não são encontradas antes do florescimento, a menos que existam níveis elevados de inóculo no ambiente na fase vegetativa. Como exemplo da importância da constatação do inóculo, Yorinori (2006) constatou os primeiros sintomas na safra 2005/2006, em Primavera do Leste (MT), aos 25-30 dias após a emergência no estádio V3/V4, sob condições de elevada pressão de inóculo verificadas naquela safra. Esker et al. (2007), observaram

infecção em ensaios de campo no Brasil em área com plantas entre os estádios V3 a R5.

Nos exemplos citados, o momento de aparecimento e a pressão do inóculo decidiram o momento de início do controle e não as características ligadas à precocidade da cultivar ou ao estágio fenológico da cultivar. No presente ensaio, o tratamento 2, no qual a estratégia de aplicação de fungicidas seguiu a calendarização (estádios fenológicos) apresentou melhores resultados na safra 2009/2010. Nesta safra a pressão de inóculo foi alta, iniciando na fase R5.1 Em anos de baixa pressão de inóculo esta estratégia é questionável quanto à sua eficiência, uma vez que propicia aplicações desnecessárias (GODOY et al., 2009), confirmado pelos resultados do presente ensaio na safra 2010/2011.

Com relação à data de plantio, mesmo ocorrendo uma antecipação de cerca de 17 dias do plantio da safra de 2010/2011 para a de 2009/2010, sendo utilizada uma cultivar precoce, o plantio foi realizado dentro das recomendações de Tecnologias (2011), onde o início do cultivo para cultivares precoces e semi-precoces poderia se dar a partir de 05/10 para a localidade do ensaio.

Segundo Esker et al. (2007), Godoy (2007), Rupe e Sconyers (2008), Rinaldi (2009) e Tecnologias (2011), quanto mais precoce o plantio, mais tardio seria o aparecimento da doença. Sinclair e Hartman (1995) discordaram desta afirmação, alegando que o atraso na maturação de plantas, através do aumento do fotoperíodo durante as fases de crescimento reprodutivo, causa atraso simultâneo no desenvolvimento da taxa de ferrugem.

A constatação observada nos ensaios indicou que em anos de baixa sobrevivência do inóculo na entressafra, quanto mais precoce o plantio, mais rápida poderia ser a multiplicação deste inóculo, proporcionada pelas condições ambientais favoráveis, aumentando sua pressão sobre os plantios feitos em épocas normais corroborando com Tschanz et al., 1984; Yang et al., 1990; Bergamin Filho e Amorim, 1996; Yorinori; Bergamin Filho, 2006.

3.4.7 Eficiência dos Tratamentos

3.4.7.1 Peso de 1.000 grãos

Analisando os experimentos realizados nas duas safras, com relação ao peso de 1000 grãos, houve diferença estatística pelo teste Tukey ($P < 0,05$) somente na safra 2009/2010, sendo o tratamento 13 o que apresentou menor peso de grãos, seguido dos tratamentos com peso intermediário 4, 5, 6 e 9. (Tabela 3.8)

Os resultados demonstraram que houve perda de peso para o tratamento onde não houve o controle da doença, ao mesmo tempo não houve diferença significativa entre os tratamentos que receberam uma ou duas pulverizações e mesmo nos tratamentos que obtiveram maiores valores de peso de 1000 grãos, não houve diferença significativa entre eles, ou seja, não houve diferença do peso de 1.000 grãos, mesmo se realizando de 2 a 6 pulverizações com fungicida.

Este fato permite concluir que existe um momento específico para realizar a primeira aplicação, o qual define maior peso dos grãos e por consequência maior ou menor número de pulverizações.

Neste contexto, o uso de aplicações preventivas demonstrou ser ineficiente, uma vez que o número de aplicações realizadas nestes tratamentos (1, 2) foi superior ao dos tratamentos baseados nas informações sobre a presença do patógeno-condições de favorabilidade e presença dos sintomas da doença na planta (tratamentos 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 e 12).

Os resultados obtidos na safra 2010/2011 indicaram que não houve diferença estatística pelo teste Tukey ($P < 0,05$) para peso de 1.000 grãos, demonstrando ineficiência de aplicações de fungicidas para aumentar o peso dos grãos, uma vez que o tratamento 13, testemunha sem aplicações, não diferiu de nenhum dos tratamentos com uma ou seis aplicações de fungicidas.

Tabela 3.8 – Peso de 1.000 grãos (g) e produtividade (kg/ha) por tratamento, obtidos em ensaios para controle de ferrugem asiática sob diferentes momentos de início de aplicação de fungicidas, safras 2009/2010 e 2010/2011. Engenheiro Beltrão, PR.

TRATAMENTOS	SAFRA 2009/2010		SAFRA 2010/2011	
	Peso 1.000 grãos (g)	kg/ha	Peso 1.000 grãos (g)	kg/ha
1	227,6 a	3.984 ab	175,7 a	3.571 a
2	226,3 a	4.474 a	167,8 a	3.269 a
3	214,6 a	4.119 ab	185,5 a	3.877 a
4	193,9 ab	3.614 ab	176,8 a	2.945 a
5	202,8 ab	3.766 ab	155,8 a	3.565 a
6	200,2 ab	3.618 ab	166,7 a	3.511 a
7	222,5 a	4.232 a	186,5 a	3.667 a
8	216,8 a	3.843 ab	180,2 a	3.766 a
9	206,8 ab	4.041 ab	175,8 a	3.961 a
10	215,9 a	3.726 ab	170,9 a	3.089 a
11	223,1 a	3.871 ab	166,9 a	3.983 a
12	221,7 a	3.895 ab	172,8 a	3.609 a
13	176,7 b	3.184 b	165,9 a	3.861 a
CV %	7,1	10,05	8,78	13,01

Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de t (Tuckey) (P<0,05)

3.4.7.2 Produtividade

Na safra 2009/2010, a análise estatística dos dados de produtividade demonstrou que pelo teste Tukey (P<0,05) houve diferença significativa entre os tratamentos, sendo que os tratamentos 2 e 7 apresentaram as maiores produtividades, porém não se diferenciando estatisticamente (P<0,05) dos demais com exceção do tratamento 13, que teve a pior produtividade (Tabela 3.8).

O início das aplicações no tratamento 2 esteve vinculada ao estágio fenológico da cultura enquanto no tratamento 7, as aplicações tiveram início após a detecção de esporos viáveis e 12 dias de favorabilidade acima de 60%. Com o monitoramento da chegada de esporos viáveis e a observação das condições de favorabilidade, houve um atraso no início das aplicações o que permitiu reduzir de 3

aplicações verificadas no tratamento 2, para 2 aplicações no tratamento 7, sem que ocorresse diferença significativa entre as produtividades dos dois tratamentos.

Estes resultados evidenciam a importância do monitoramento dos esporos e das condições de favorabilidade na decisão sobre o momento da primeira aplicação de fungicida.

Os tratamentos baseados na somatória de dias com favorabilidade superior a 60% (7, 8 e 9) apresentaram produtividade média de 4.039 kg/ha numericamente superior ao tratamento 6, baseado na favorabilidade acima de 90% (tratamento 6). Pode-se inferir que o uso desta favorabilidade acima de 90% significou que foram considerados dados somente quando todo o dossel estava úmido, inclusive a parte superior. Enquanto que, considerando-se a favorabilidade acima de 60%, havia maior flexibilidade na variável umidade, podendo indicar que o dossel inferior estava úmido sem umidade no dossel superior. Possivelmente, na parte inferior do dossel, houve alteração das condições ambientais, decorrentes do sombreamento, verificando-se diminuição da temperatura e aumento da umidade relativa do ar.

Os resultados obtidos indicaram que a precipitação e a intensidade de precipitação avaliados nos tratamentos 10, 11 e 12, não apresentaram influência na determinação do momento da primeira aplicação, visto que não houve diferença entre as produtividades destes tratamentos em relação à testemunha sem aplicação.

O tratamento 2, calendarizado, com 3 aplicações, apresentou o melhor desempenho nas condições da safra 2009/2010, porém sem diferença significativa com relação ao tratamento 7, indicando que com 2 aplicações o resultado foi o mesmo do que com 3 aplicações. Dados coincidentes com Reis et al. (2007) e Mueller et al. (2009) os quais citam que aplicações com base no estágio fenológico da cultura não são um indicativo de controle eficiente, devido ao fato do patógeno estabelecer-se em qualquer estágio da planta durante o ciclo da cultura.

O tratamento 3, realizado logo após o aparecimento dos primeiros sintomas não se diferenciou dos melhores tratamentos (2 e 7), porém também não se diferenciou da testemunha, indicando que não seria a melhor decisão basear-se no aparecimento dos primeiros sintomas em anos de alta pressão de inóculo, para tomar a decisão sobre o melhor momento de iniciar as aplicações.

Este fato confirmou o que disseram Scherm et al. (2009), de que apenas um nível de doença em torno de 0,05% poderia ser tolerado, caso contrário,

a eficiência dos fungicidas poderia ser afetada negativamente, ocasionando perdas significativas em rendimento.

Na safra 2010/2011, não houve diferença significativa de produtividade entre os tratamentos, sendo a diferença ocorrida entre eles atribuída à casualidade (Tabela 3.8). A não existência de diferença significativa entre as produtividades indica que foram feitas aplicações desnecessárias de fungicidas remetendo para uma revisão da metodologia de determinação do momento de aplicação.

3.4.7.3 Custo de produção

O tratamento 1 teve a maior relação custo/produtividade, 0,29 e 0,30 nas safras 2009/2010 e 2010/2011 respectivamente, indicando aumento do custo de produção com o aumento do número de aplicações de fungicidas sem correspondente incremento da produtividade (Tabela 3.9). Na safra 2009/2010, os tratamentos 2, 3, 4, 7, 9 e 12 diferenciaram-se do tratamento 1, padrão com 6 aplicações. Os tratamentos 5, 6, 8, 10, 11 e 13 não se diferenciaram do padrão com 6 aplicações. O tratamento 7 apresentou a menor relação, 0,20.

De acordo com a Tabela 3.9, o número médio de aplicações verificadas na safra 2009/2010 foi de 2,3 enquanto na safra 2010/2011, foi 1,5. A variação no número de aplicações verificada entre os dois períodos estudados pode ser explicada devido ao momento de aparecimento dos primeiros esporos viáveis e à pressão de inóculo no ambiente.

A relação custo/produtividade indicou que não houve resposta proporcional em termos de aumento de produtividade em relação ao número de aplicações realizadas, como ficou demonstrado na ausência de diferença entre o tratamento 1, padrão com 6 aplicações e 13, testemunha sem aplicações. A queda da produtividade no tratamento 13 forçou o aumento da relação, igualando-o aos tratamentos com maior custo.

Tabela 3.9 – Relação custo/produktividade (R\$/kg.ha⁻¹) verificada nos tratamentos das safras 2009/2010 e 2010/2011. Engenheiro Beltrão PR.

TRATAMENTO	SAFRA 2009/2010		SAFRA 2010/2011	
	Custo/produktividade (R\$/kg.ha ⁻¹)	Nº de aplicações	Custo/produktividade (R\$/kg.ha ⁻¹)	Nº de aplicações
1	0,29 a	6	0,30 a	6
2	0,21 b	3	0,28 ab	3
3	0,21 b	2	0,19 cd	1
4	0,22 b	1	0,26 abc	2
5	0,23 ab	2	0,26 abc	1
6	0,25 ab	2	0,25 abcd	2
7	0,20 b	2	0,18 d	0
8	0,22 ab	2	0,21 bcd	1
9	0,22 b	2	0,20 bcd	1
10	0,23 ab	2	0,19 cd	0
11	0,22 ab	2	0,20 bcd	0
12	0,22 b	2	0,21 bcd	1
13	0,23 ab	0	0,20 bcd	0
CV%	11,80		14,60	
Nº médio de aplicações:		2,3	1,5	

Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey (P< 0,05)

O tratamento com 3 aplicações não apresentou diferença significativa (P<0,05) na relação custo/produktividade, quando comparado aos tratamentos com 2, 1 e 0 aplicações. Isto pode ter sido decorrência do maior custo deste tratamento ou porque nos tratamentos com 1 e 0 aplicações a produtividade foi menor. Tratamentos com 2 aplicações tiveram melhor eficiência do que tratamento com 3 aplicações calendarizadas.

Os melhores tratamentos foram os tratamento 2 e 7, os quais não diferiram significativamente (P<0,05) entre si na relação custo/produktividade (Tabela 3.9). O tratamento 2 recebeu 3 aplicações e o tratamento 7 recebeu 2 aplicações de fungicidas, indicando que a utilização de 2 aplicações de fungicidas, no momento definido pelo tratamento 7, seriam suficientes e economicamente viáveis para o controle da doença na safra 2009/2010.

Na safra 2010/2011, os tratamentos 3, 7, 8, 9, 10, 11, 12 e 13 diferenciaram-se do tratamento 1 (padrão com 6 aplicações). Os tratamentos 7, 10 e 11 se comportaram como o tratamento 13 (testemunha sem aplicação), pois também não receberam pulverizações. Os valores de relação custo/produção nos tratamentos sem aplicação variou de 0,18 a 0,20. O tratamento 13 não se diferenciou dos tratamentos 3, 6, 7, 8, 9, 10, 11 e 12, indicando menor relação custo/produção para os tratamentos que receberam uma ou nenhuma aplicação de fungicida.

Na safra 2010/2011, os tratamentos 2, 4, 5 e 6 não se diferenciaram ($P < 0,05$) do tratamento 1, indicando que os tratamentos com 2 e 3 pulverizações apresentaram relação custo/produção semelhante ao tratamento com 6 aplicações.

O tratamento 7 com relação custo/produção 0,18, se diferenciou dos tratamentos 1, 2, 4 e 5, de relação custo/produção 0,30, 0,28, 0,26 e 0,26, respectivamente. O tratamento 7 comportando-se como testemunha sem aplicação, não se diferenciou dos demais tratamentos.

Comparando-se os dados da relação custo/produção (Tabela 3.9) com as produtividades obtidas no ensaio de 2010/2011 (Tabela 3.8), evidenciou-se que não houve diferença significativa entre os tratamentos com relação à produtividade, e que a melhor relação custo/produção foi obtida no tratamento com nenhuma aplicação de fungicida. Com isso, nas condições experimentais testadas não haveria necessidade de se aplicar fungicida para o controle da doença.

3.5 DETERMINAÇÃO DA PROVÁVEL ORIGEM DO INÓCULO

Com base nos resultados obtidos, pode-se discutir sobre a variação na pressão de inóculo obtida nas duas safras e a origem do inóculo inicial que atingiu a área experimental.

3.5.1 Plantio da Soja no Paraguai nas Safras 2009/2010 e 2010/2011

O Paraguai até a safra 2010/2011 realizava a semeadura de soja em várias épocas. A primeira delas ocorria logo no início da primavera, chamada de

soja “tempranera” ou de plantio antecipado, para a segunda quinzena de agosto, quando as condições de temperatura e principalmente precipitação pluviométrica são favoráveis à instalação da cultura. A colheita da soja “tempranera” ocorre no mês de janeiro a fevereiro.

O segundo período de plantio segue a época normal recomendada, no mês de outubro a dezembro, para o cultivo de variedades de ciclo médio e tardio. Uma terceira época de plantio é a de soja safrinha, que ocorre logo após a colheita da soja “tempranera”, que ocorre no mês de janeiro a fevereiro. Plantada neste período, a soja é colhida no mês de maio.

Situação parecida é relatada por Yang et al. (1990), Hartman (1995), Pivonia e Yang (2004) com a produção de soja feita durante o ano todo na China. A sobreposição de estações de cultivo nos trópicos e subtropicais favorece a multiplicação do patógeno (BERGAMIN FILHO; AMORIM, 1996).

Na safra 2009/2010 os agricultores do Paraguai após sucessivas perdas decorrentes de eventos meteorológicos, principalmente seca, decidiram investir no plantio de soja “tempranera”, apostando que o ano seria de El Niño, e que as condições meteorológicas indicavam favorabilidade à cultura plantada neste período, o que foi confirmado, de acordo com a Figura 3.5.

Os dados obtidos na literatura indicam que esta safra, e principalmente a obtida com a soja tempranera, foi uma das melhores do Paraguai, havendo relatos de uma produtividade superior a 3.400 kg/ha.

Na safra 2010/2011, não foi possível efetuar o plantio de soja “tempranera”, uma vez que sob o fenômeno La Niña, a região produtora passou por período de seca justamente entre os meses de agosto e setembro (CONO SUR, 2011), prejudicando a semeadura (Figura 3.5)

Da mesma forma que no Brasil, os produtores paraguaios obrigaram-se a iniciar o plantio de soja logo após as primeiras chuvas, que ocorreram no início do mês de outubro de 2010. Com este fato, muitos produtores trocaram as variedades de soja precoce por outras de ciclo médio e tardio para não perderem a safra.

3.5.2 A Construção da Ponte Verde Através do Plantio de Soja Safrinha (Outono) e a Soja “Tempranera” (Primavera) no Paraguai.

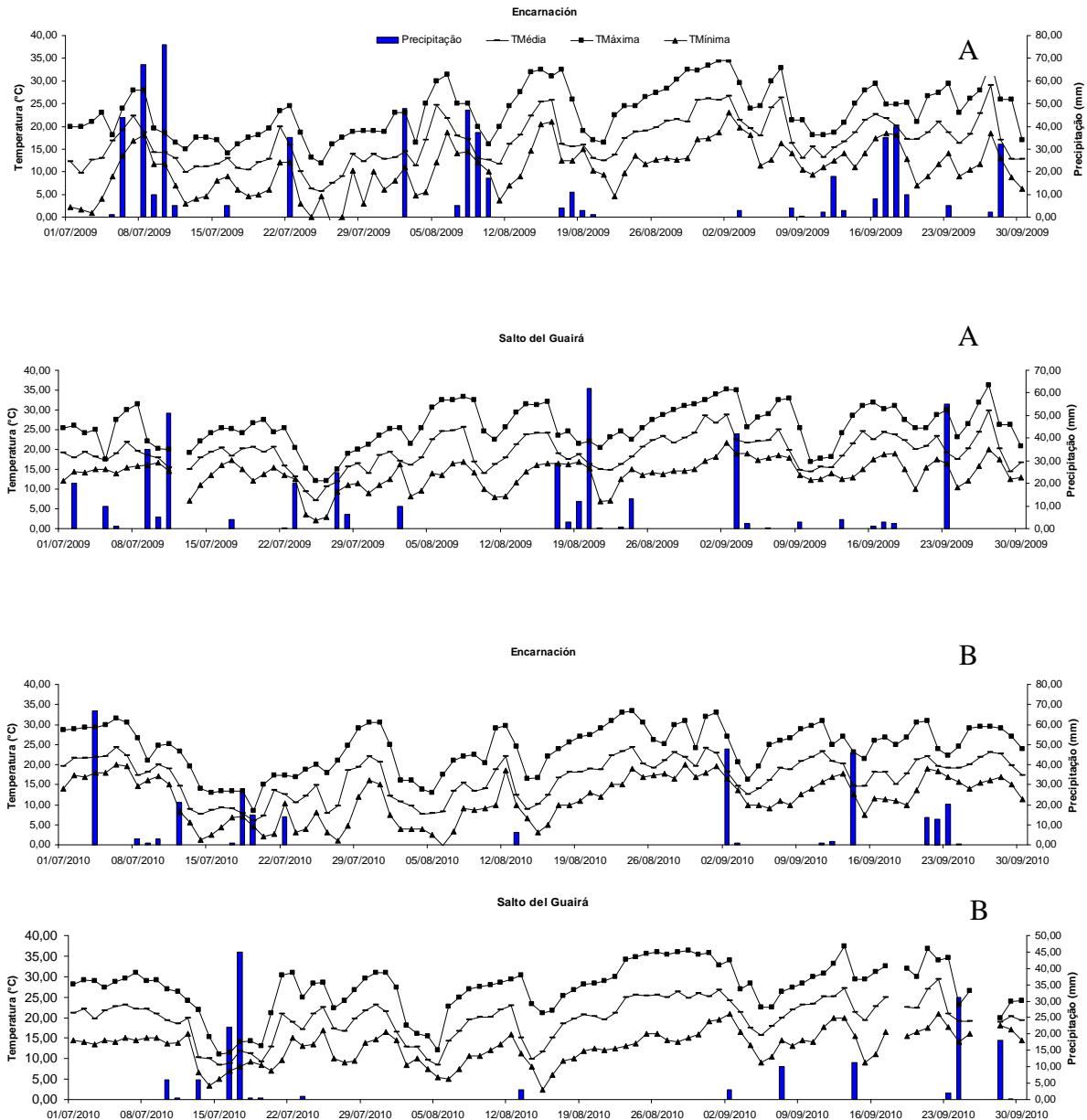
O plantio de soja safrinha no Paraguai, colhida no mês de maio, permitiu a produção de uredósporos que na presença de soja “tempranera” encontravam o hospedeiro prontamente disponível para infecção, aumentando sua população e conseqüentemente o potencial destrutivo da epidemia de ferrugem asiática. Observou-se que nestas condições a doença assumia um caráter endêmico, sendo produzida e multiplicada em grandes proporções no próprio país de origem.

Este quadro foi confirmado pelas informações do Ministério da Agricultura e Pecuária do Paraguai que relatou número de pulverizações em safra normal da ordem de 2 a 10 e na soja safrinha este número até 15 aplicações (PARAGUAI, 2011),.

A safra 2009/2010 de soja “tempranera” possibilitou grande produção de uredósporos, os quais chegaram ao Paraná precocemente, como percebido no coletor instalado na área experimental (Figura 3.5).

Na safra 2010/2011, como não foi efetivado o plantio antecipado de soja “tempranera”, cortou-se o elo da corrente de sobrevivência dos uredósporos da soja safrinha para a soja de ciclo normal. Os uredósporos viáveis foram coletados na unidade experimental em meados do mês de janeiro, quando a soja plantada em outubro já estava com pouco mais de 50% de granação. Este fato possibilitou atrasar o início das pulverizações no ensaio, com conseqüente redução do número de aplicações.

Figura 3.5 – Temperatura máxima (°C), temperatura mínima (°C), temperatura média (°C) e precipitação pluviométrica (mm), diários, obtidos em estações meteorológicas localizadas em Encarnación e Salto del Guairá (Paraguai), durante os períodos de 01/07/2009 a 30/09/2009(A) e 01/07/2010 a 30/09/2010(B).



3.5.3 Produção de Uredósporos em Lavoura Comercial de Soja e Plantas Voluntárias

Os resultados apresentados na Figuras 3.6, demonstram que lavouras comerciais tem maior potencial de produção e deposição de uredósporos quando comparadas à soja voluntária, principalmente na primavera. Assim, estima-

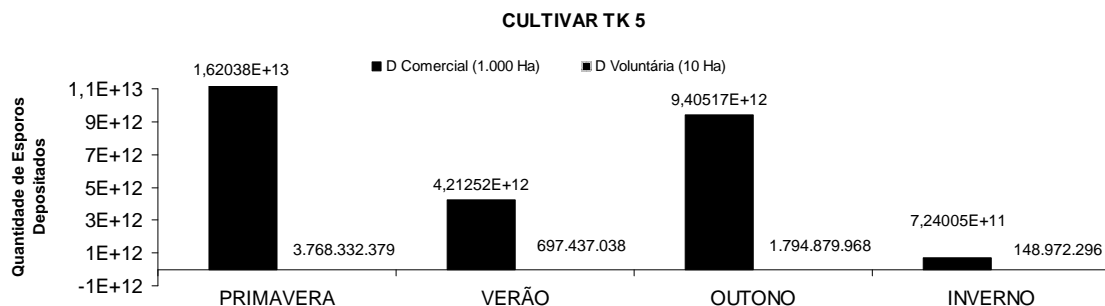
se que a deposição dos uredósporos provenientes destas lavouras tem maior importância para a ocorrência de epidemias.

Após os cálculos, o plantio de primavera, foi o maior produtor de uredósporos, seguido do outono e verão. A produção de uredósporos no verão e inverno foi menor, provavelmente devido à interferência do fator temperatura que atuou tanto no desenvolvimento do hospedeiro, como no aumento do período de latência do patógeno.

A soja voluntária produziu menor número de uredósporos por hectare comparativamente à lavoura comercial, coincidindo o período de primavera como maior produtor de inóculo e o de inverno como menor produtor.

A afirmação de Yorinori (2006), de que o cultivo contínuo da soja e a presença de plantas voluntárias, somadas à antecipação do plantio de verão não deixam intervalo sem ferrugem no campo, se confirma com os resultados apresentados na Figuras 3.6, o que favorece epidemias na safra de verão.

Figura 3.6 – Estimativa da quantidade de esporos depositados(D), oriundos de lavoura comercial de 1.000 ha a 700 km de distância, e soja voluntária de 10 ha, em plantios realizados na primavera, verão, outono e inverno de acordo com fórmula de Aylor (1986) e dados de Yang et al. (1990), para a cultivar TK5.



Nos dados utilizados para a simulação, nos plantios de primavera, verão e outono (Tabela 3.9), as plantas foram submetidas a infecções logo na fase vegetativa, proporcionando elevada pressão de inóculo no ambiente.

O inóculo inicial proveniente da lavoura cultivada na primavera pode ter promovido elevada quantidade de inóculo logo nos estádios iniciais da lavoura de verão, ocorrendo o mesmo com uredósporos provenientes da lavoura de verão infectando lavoura no outono.

Yang et al. (1990), Hartman (1995) e Pivonia e Yang (2004), confirmaram o plantio de soja em Taiwan, e que as epidemias mais severas ocorreram na primavera e no outono. No verão, tanto as respostas da planta ao fotoperíodo quanto maiores temperaturas dificultaram o progresso da doença. No plantio de inverno em Taiwan, não se conseguiu verificar a evolução da epidemia.

A antecipação do plantio para fugir da epidemia pode favorecer a multiplicação rápida do patógeno e comprometer os plantios em épocas normais propiciando maior severidade da doença.

De acordo com Godoy (2007), os plantios realizados antecipadamente e utilização de variedades de ciclo precoce foram eficientes para redução das aplicações de fungicidas.

A adoção desse manejo, porém pode favorecer a ponte verde, aumentando a severidade da doença nas demais safras.

Em Tecnologias (2011), o uso de cultivares de ciclo precoce e sementeiras no início da época recomendada deveria ser feita para evitar maior carga de esporos do fungo logo nas primeiras sementeiras da cultura da soja.

3.5.4 Uso de Plantas Sentinelas e a Multiplicação do Patógeno de Forma Endêmica

As áreas consideradas sentinelas tenderiam a se comportar como lavouras comerciais cultivadas na primavera, como ocorre tanto no Paraguai, como na China. Nestas condições estas lavouras poderiam ser potenciais multiplicadoras do patógeno, antes que estes atingissem lavouras comerciais de ciclo normal.

Dessa forma, essas plantas sentinelas multiplicariam o patógeno sobrevivente do período de outono/inverno, já existente na área. Neste caso a doença assumiria uma característica endêmica., diferentemente de regiões exodêmicas que não possuem o plantio antecipado e que recebem os uredósporos provenientes de fontes externas.

Caso estas plantas sentinelas não fossem cultivadas, a probabilidade de sobrevivência do fungo diante das condições ambientais adversas seria menor. Com baixa pressão ou inexistência de inóculo, a vinda de uredósporos deveria ser de outras regiões produtoras de soja, atrasando o início da epidemia.

O aparecimento de sintomas em culturas sentinelas, não deveria ser o foco principal na definição do momento de aplicação, uma vez que ela poderia

estar sendo utilizada pelo patógeno para o desenvolvimento da ponte verde. O corte desta ponte, com a redução ou eliminação do plantio na primavera, mesmo que se tenha plantas voluntárias no ambiente, constitui uma forma de se retardar o aparecimento da epidemia nas lavouras comerciais do verão, através da redução da pressão do inóculo.

Mesmo se considerando a utilização de parcelas sentinelas, o quantidade de inóculo produzido por elas ou mesmo o aparecimento de sintomas, parece não servir de parâmetro para previsão de severidade da epidemia.

O monitoramento da entrada dos uredósporos desencadeia atenção para a definição do momento de início das pulverizações, porém não deve ser deixado de lado a necessidade de se definir qual é a fonte do inóculo, quanto e como eles estão entrando na região de cultivo.

3.5.5 Estimativa da Produção de Uredósporos em Área Reais de Plantio

Para analisar a provável origem dos uredósporos para a safra de verão no Estado do Paraná, considerou-se que a área de soja safrinha do Estado do Paraná, ano 2009/2010 foi correspondente a 105.544 ha (PARANÁ, 2011). Se desta área, 1% fossem considerados de plantas oriundas de grãos caídos por ocasião do transporte ou de perdas na colheita, se obteriam 1.055 ha de plantas voluntárias, que permaneceriam no campo durante o período de inverno, multiplicando os uredósporos para a próxima safra de verão.

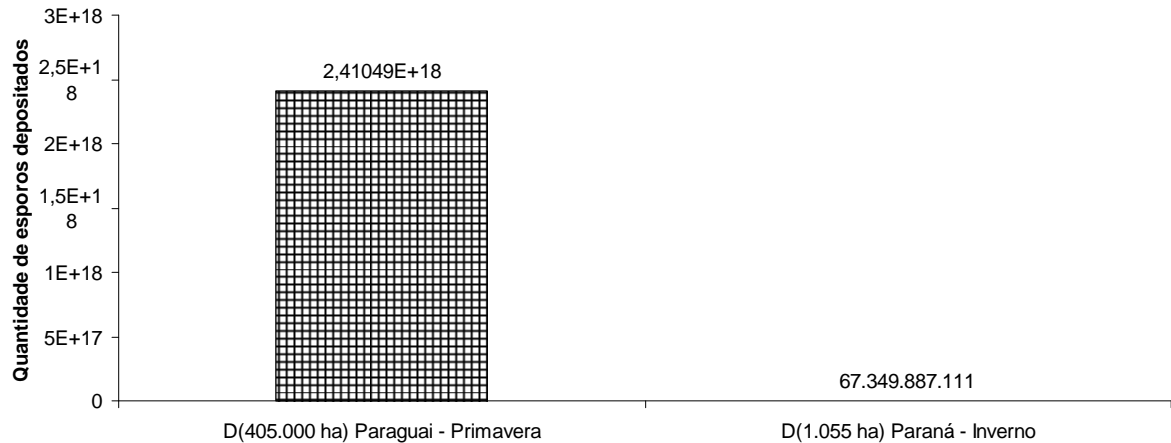
Uma outra hipótese para a origem dos esporos para a safra de verão, baseada no modelo desenvolvido por Aylor (1986), estimou a produção dos uredósporos provenientes de lavouras de soja “tempranera”, cultivadas no Paraguai, correspondente a 15% da superfície total plantada com soja naquele país, correspondente a 405.000 ha.

A quantidade de uredósporos que provavelmente atingiu a safra de verão no Estado, provenientes da safra cultivada no Paraguai na safra 2009/2010, foi 10 milhões de vezes superior à quantidade produzida por 1% da área paranaense de soja safrinha (Figura 3.7).

A probabilidade de captura dos uredósporos provenientes de lavouras comerciais do Paraguai nas armadilhas,, seria maior do que a da soja voluntária do Paraná , pelo fato de que aqueles esporos, por serem em maior

número, estariam, potencialmente viáveis, em maior proporção na atmosfera.

Figura 3.7 – Estimativa de esporos depositados provenientes de 405.000 ha de lavouras de primavera, produzidos no Paraguai e de 1.055 ha de soja voluntária do Estado do Paraná.



Em função dos cálculos apresentados, pode-se estimar que na safra 2009/2010, a maior severidade da doença no campo esteve ligada à pressão do inóculo inicial. Esta pressão foi oriunda, em muito maior proporção, de lavouras de plantio na primavera cultivadas no Paraguai, quando comparada à pressão exercida pelo inóculo produzido a partir de plantas voluntárias no Estado do Paraná (Figura 3.7).

3.5.6 Transporte de Uredósporos Através de Correntes Atmosféricas

Conforme relatou Gregory (1973), *P. pachyrhizi* é capaz de se movimentar na atmosfera, percorrendo longas distâncias a partir de uma localização geográfica.

Por meio de estudos da movimentação das correntes atmosféricas, procurou-se estabelecer uma conexão entre os uredósporos produzidos pela soja “tempranera”, e a possibilidade de transporte e deposição destes uredósporos, nas lavouras do Estado do Paraná, nas safras 2009/2010 e 2010/2011.

3.5.7 Direção Predominante do Vento na Região Oeste do Paraná

Os dados de direção predominante do vento para os meses de setembro, outubro, novembro, dezembro e janeiro nas safras estudadas são apresentados na Figura 3.8 e Tabelas 3.10 e 3.11.

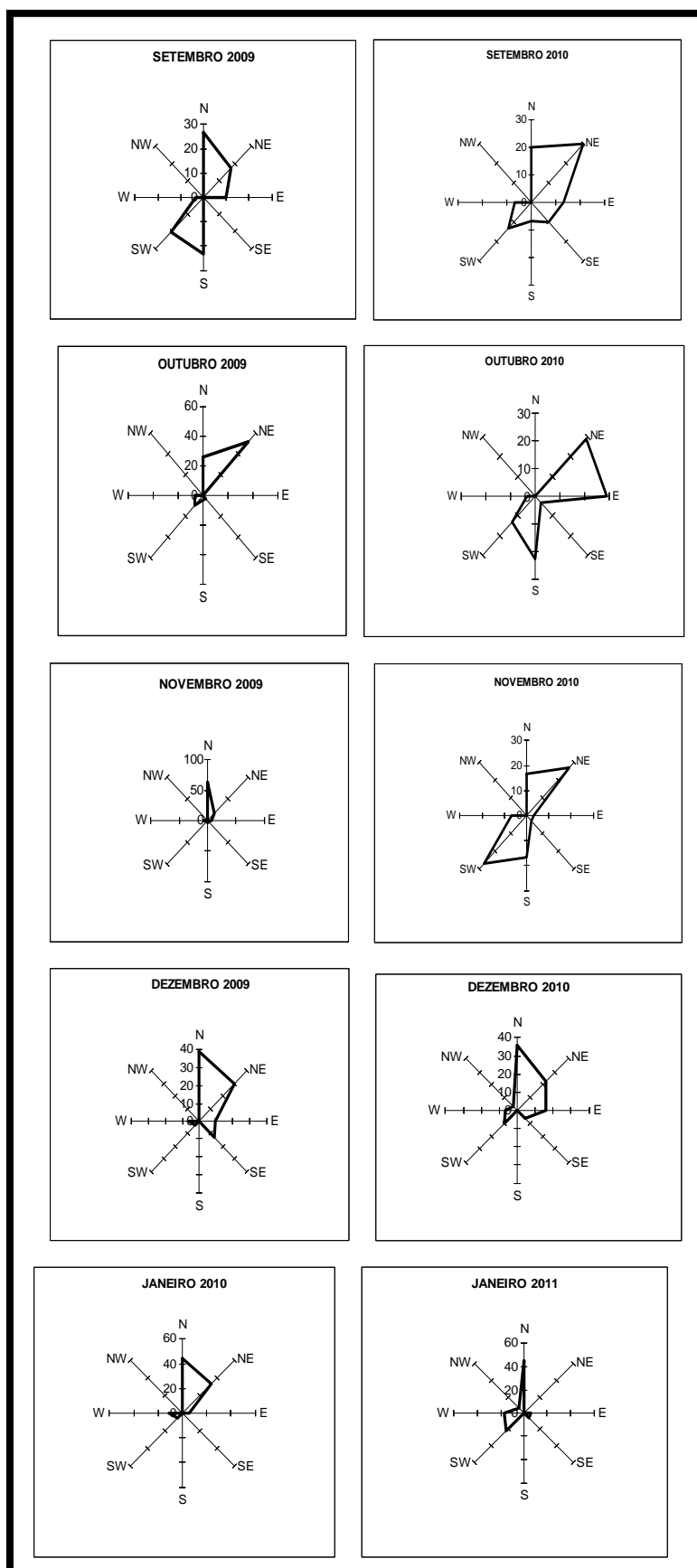
Tabela 3.10 – Direção predominante do vento em número de observações (n) e porcentagem do número de observações (f(x)) durante o período diurno (7:00 – 19:00 h) para os meses de setembro, outubro, novembro, dezembro e janeiro, na safra 2009/2010.

Mês	Direção	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
Setembro	n	8	5	3	0	7	6	1	0
	f(x)	26.7	16.7	10.0	0.0	23.3	20.0	3.3	0.0
Outubro	n	8	16	0	1	1	3	2	0
	f(x)	25.8	51.6	0.0	3.2	3.2	9.7	6.5	0.0
Novembro	n	19	5	2	1	1	0	2	0
	f(x)	63.3	16.7	6.7	3.3	3.3	0.0	6.7	0.0
Dezembro	n	12	9	3	4	0	1	2	0
	f(x)	38.7	29.0	9.7	12.9	0.0	3.2	6.5	0.0
Janeiro	n	8	6	1	0	0	1	2	0
	f(x)	44.4	33.3	5.6	0.0	0.0	5.6	11.1	0.0
	Total	55	41	9	6	9	11	9	0
	Média	11	8.2	1.8	1.2	1.8	2.2	1.8	0
	f(x)	39,3	29,3	6,4	4,3	6,4	7,9	6,4	0

Tabela 3.11 – Direção predominante do vento em número de observações (n) e porcentagem do número de observações (f(x)) durante o período diurno (7:00 – 19:00 h) para os meses de setembro, outubro, novembro, dezembro e janeiro, na safra 2010/2011.

Mês	Direção	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
Setembro	n	6	9	4	3	2	4	2	0
	f(x)	20.0	30.0	13.3	10.0	6.7	13.3	6.7	0.0
Outubro	n	0	9	9	1	7	4	1	0
	f(x)	0.0	29.0	29.0	3.2	22.6	12.9	3.2	0.0
Novembro	n	5	8	1	1	5	8	2	0
	f(x)	16.7	26.7	3.3	3.3	16.7	26.7	6.7	0.0
Dezembro	n	11	7	5	2	0	3	2	1
	f(x)	35.5	22.6	16.1	6.5	0.0	9.7	6.5	3.2
Janeiro	n	8	0	1	1	0	4	3	1
	f(x)	44.4	0.0	5.6	5.6	0.0	22.2	16.7	5.6
	Total	30	33	20	8	14	23	10	2
	Média	6	7	4	2	3	5	2	0
	f(x)	20,7	24,1	13,8	6,9	10,3	17,2	6,9	0,0

Figura 3.8 – Direção predominante do vento mensal, período diurno, nas estações meteorológicas do Instituto SIMEPAR, em São Miguel do Iguçu, Santa Helena, Guaíra, Foz do Iguçu, Palotina, Toledo, Cascavel e Campo Mourão, no Estado do Paraná, safras 2009/2010 e 2010/2011.



Os dados indicaram que a direção predominante do vento nas estações meteorológicas estudadas para a safra 2009/2010, foi norte (N), com os maiores percentuais de ocorrência de 26,7%, 25,8%, 63,3%, 38,7% e 44,4% para os meses de setembro, outubro, novembro e dezembro/2009 e janeiro/2010, respectivamente. A direção N, correspondeu em média a 39,3% das observações efetuadas.

A segunda direção de maior ocorrência foi nordeste (NE), com 16,7%, 51,6%, 16,7%, 29,0% e 33,3% para os meses de setembro outubro, novembro, dezembro/2009 e janeiro/2010, respectivamente, obtendo valores médios correspondentes a 29,3% das ocorrências.

Para a safra 2010/2011, predominaram as direções NE, com 30%, 29,0%, 26,7%, 22,6% e 0,0%, para os meses setembro, outubro, novembro, dezembro/2010 e janeiro/2011, respectivamente. Em média, 24,1% das ocorrências foram de direção NE.

A segunda direção de maior ocorrência foi N, com percentuais de ocorrência de 20,0%, 0,0%, 16,7%, 35,5% e 44,4% para o meses de setembro, outubro, novembro, dezembro/2010 e janeiro/2011, respectivamente. Em média, 20,7% das ocorrência foram de vento na direção N.

Os dados analisados corroboraram a constatação de Wagner et al. (1989) e Galvani et al. (1999), sobre a predominância da direção NE dos ventos que atingem o Estado do Paraná e especificamente na cidade de Maringá.

3.5.8 Direção Predominante do Vento na Presença de Sistemas Frontais

Os principais sistemas frontais decorrentes da entrada de frentes frias que atingiram a região sul do Brasil nas safras 2009/2010 e 2010/2011 foram descritos nas sínteses sinóticas mensais do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) do Instituto Nacional de Estudos Espaciais (INPE) (BRASIL, 2011a) e estão relacionados na Tabela 3.12.

Tabela 3.12 – Datas de ocorrência de sistemas frontais decorrentes de entradas de frentes frias que atingiram o sul do Brasil nas safras 2009/2010 e 2010/2011.

Safra 2009/2010	Safra 2010/2011
08/09/09	03/09/10
15/09/09	14/09/10
23/09/09	23/09/10
28/09/09	26/09/10
02/10/09	28/09/10
06/10/09	29/09/10
09/10/09	07/10/10
12/10/09	15/10/10
16/10/09	30/10/10
21/10/09	05/11/10
25/10/09	14/11/10
03/11/09	22/11/10
10/11/09	03/12/10
15/11/09	07/12/10
26/11/09	11/12/10
02/12/09	20/12/10
12/12/09	05/01/11
20/12/09	10/01/11
25/12/09	
12/01/10	
17/01/10	

Analisando as sínteses sinóticas mensais, a região sul do Brasil foi atingida por 21 sistemas frontais na safra 2009/2010, enquanto na safra 2010/2011, foram 18 ocorrências de sistemas frontais (Tabela 3.12).

Para o estabelecimento da direção do vento na entrada do sistema frontal, calculou-se a direção predominante diária do vento, durante os períodos estudados seguindo a metodologia de Galvani et al. (1999) e Munhoz e Garcia (2008). Os dados obtidos da direção predominante do vento na entrada do sistema frontal estão apresentados na Figura 3.9.

A direção do vento na chegada dos sistemas frontais caracterizou-se por apresentar sentido sul (S), sudoeste (SW) e oeste (W) (Figura 3.9), evidenciando desacordo com a direção predominante do vento no Estado do Paraná durante os períodos de ensaio verificada como norte (N) na safra 2009/2010 e nordeste (NE) na safra 2010/2011 (Figura 3.8).

Wagner et al. (1989) e Tubelis e Nascimento (1988), relataram que os maiores valores de picos máximos de direção do vento se concentraram nas direções S-SW-W, evidenciando uma correlação com a entrada de massas de ar polares.

De acordo com Tubelis e Nascimento (1988), este fato está ligado à forte intensidade dos ventos na massa de ar frio em frentes frias de deslocamento rápido, bem como à forte instabilidade convectiva na linha de instabilidade frontal.

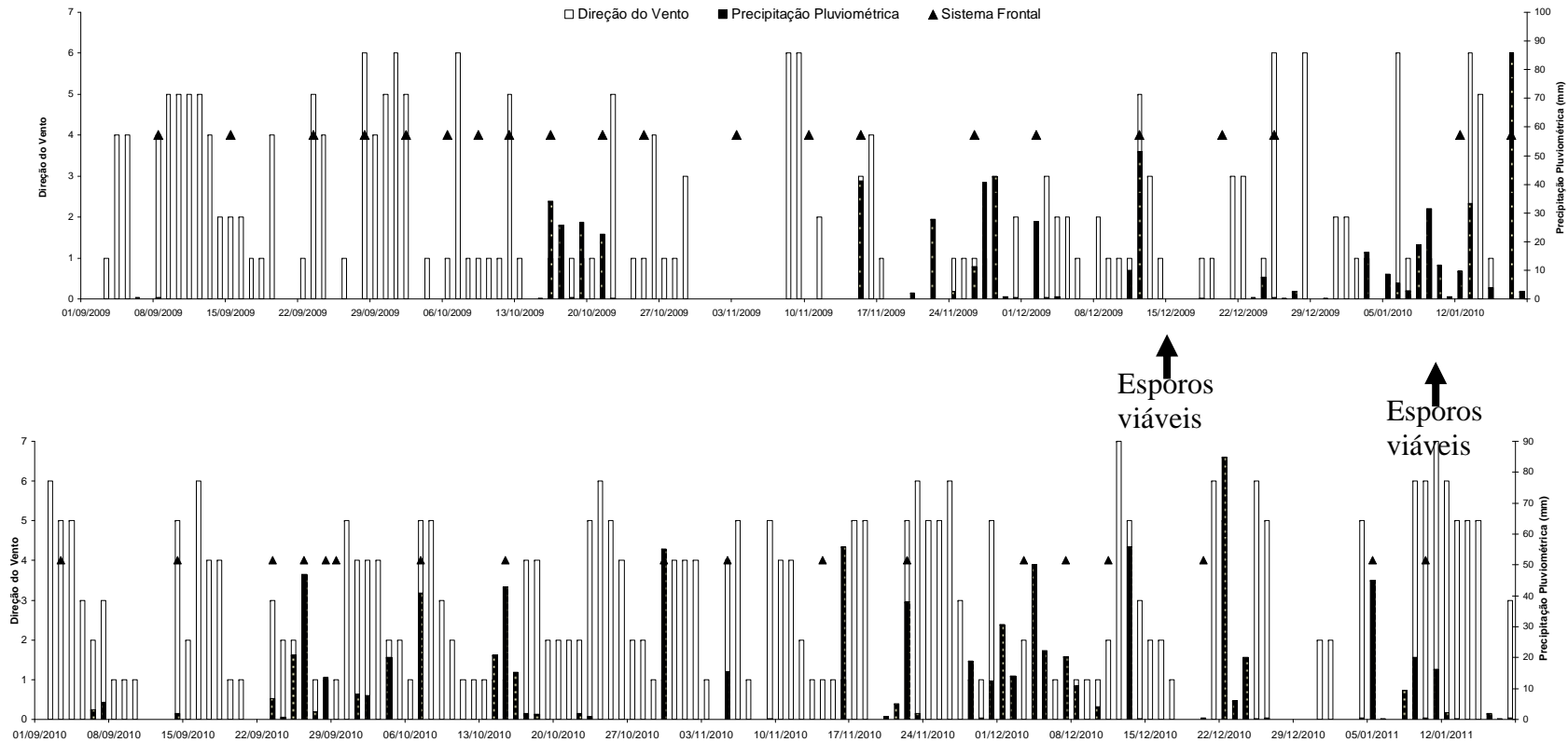
O setor meridional do Sistema de Correntes Perturbadas de Sul, descrito por Tubelis e Nascimento (1984), progrediu como frente fria, varrendo toda a região sul, provocando chuvas pré-frontais, frontais e pós-frontais, acompanhada de chuvas intensas, durante vários dias, na safra 2009/2010 (BRASIL, 2011a)(Figura 3.10).

O Sistema de Correntes Perturbadas de Sul, caracterizou-se, pela chegada das frentes frias de direção SW e W, ocasionando precipitações pluviométricas contínuas, e na sequência, retornando à direção predominante N e NE.

Esta constatação, evidenciou a possibilidade de transporte dos uredósporos presentes em lavouras comerciais “tempraneras” cultivadas no Paraguai a partir dos principais sistemas frontais que avançaram sobre a região sul do Brasil com direção S-SW-W, permitindo que fossem depositados sobre as lavouras do Estado do Paraná, confirmando Bergamin Filho e Amorim (1996), onde constataram que os ventos predominantes que sopram seguindo a zona de convergência tropical, transportam esporos de plantações velhas para plantações novas mantendo assim a continuidade da doença.

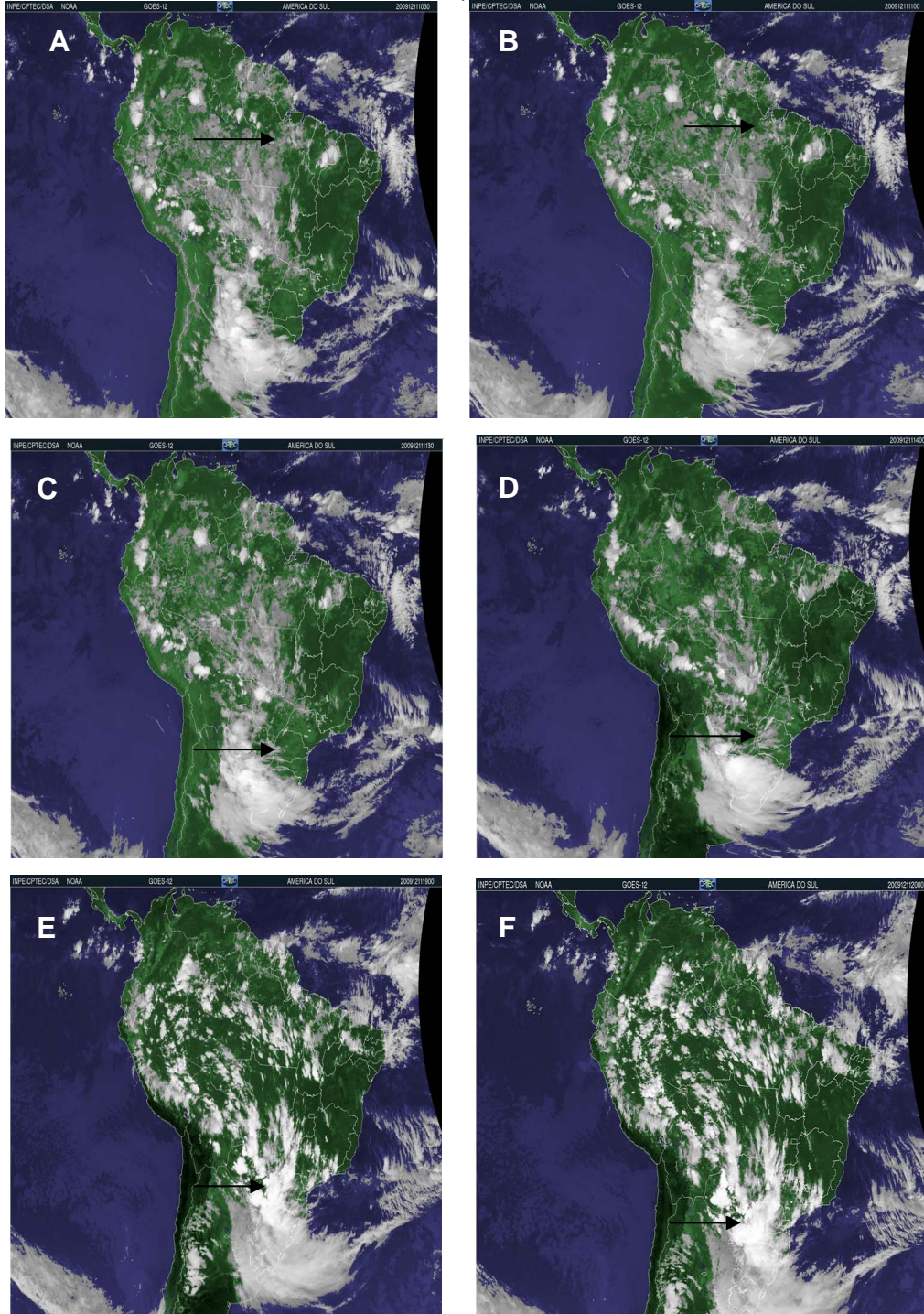
Na safra 2010/2011, também ocorreram sistemas frontais de direção S-SW-W, porém como não houve possibilidade de semeadura da soja “tempranera” dificultada pela seca que atingiu a região produtora paraguaia (Figura 3.5B), atrasou-se a semeadura, o que provavelmente dificultou a multiplicação do patógeno, ocasionando maior diluição do inóculo na atmosfera e atraso na chegada dos uredósporos às lavouras do Estado do Paraná.

Figura 3.9 – Direção predominante diária do vento (período diurno) nas estações meteorológicas do SIMEPAR, de São Miguel do Iguçu, Santa Helena, Guaíra, Foz do Iguçu, Toledo, Palotina, Cascavel e Campo Mourão no Estado do Paraná, safras 2009/2010(A) e 2010/2011(B), com presença de principais sistemas frontais que atingiram a região e aparecimento dos primeiros esporos viáveis de ferrugem asiática.



onde no eixo das coordenadas direção do vento: 0 = N; 1 = NE; 2 = E; 3 = SE; 4 = S; 5 = SW; 6 = W e 7 = NW

Figura 3.10 – Formação de sistema frontal no dia 11/12/2009, com deslocamento a partir de imagens registradas às 10:30h (A), 11:00h (B), 11:30h (C), 14:00h (D), 19:00h (E) e 20:00h (F), passando pelo Paraguai e atingindo o Estado do Paraná (seta indicativa).



Fonte: Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos/INPE

3.5.9 Questionamento à Hipótese do Enfraquecimento da Epidemia Devido ao Maior Uso de Fungicidas na safra 2010/2011

A safra 2009/2010 foi considerada pelo Sindicato Nacional da Indústria de Produtos de Defesa Agrícola - SINDAG, como a que os produtores mais utilizaram fungicida para o controle de ferrugem asiática da soja. O uso de fungicidas na safra 2010/2011 foi 3% maior que o utilizado na safra 2009/2010 (SINDAG, 2011).

De acordo com Kleffman Group (SIQUERI, 2011) no Brasil, o número de aplicações de fungicidas para o controle de *P. pachyrhizi* aumentou em 15% da safra 2008/2009 para a safra 2009/2010 e 4,7% da safra 2009/2010 para a safra 2010/2011, ficando próximo dos dados do SINDAG.

Esta porcentagem a mais do que na safra 2009/2010 poderia não ser razão suficientemente forte para explicar a diminuição da severidade da doença verificada na safra 2010/2011, confirmada pelo Consórcio Antiferrugem (BRASIL, 2011b) e por este ensaio.

Se fosse confirmada a hipótese de que a diminuição da severidade da doença na safra 2010/2011 relacionava-se ao maior uso de fungicida, esta mesma hipótese deveria valer para a safra 2009/2010, pois contraditoriamente, nesta safra aplicou-se elevada carga de fungicidas para o controle de ferrugem asiática (15% a mais do que na safra 2008/2009), e mesmo assim, a epidemia não foi devidamente controlada.

3.6 AÇÃO EM MESOESCALA GEOGRÁFICA PARA O CONTROLE DA DOENÇA

Considerando que as fontes de inóculo não estão limitadas às fronteiras internas do Brasil, o controle da ferrugem asiática da soja deveria passar pelo debate da doença em escala maior do que a verificada na nossa visão apenas doméstica sobre o avanço da epidemia.

A doença assumiu proporções sérias em outros países, e aqui destacado o Paraguai, que se viu na iminência de estabelecer uma legislação restringindo o período de semeadura para garantir a sustentabilidade da produção da soja, uma de suas principais fontes geradoras de receitas.

A constatação de que os uredósporos produzidos precocemente no Paraguai foram trazidos possivelmente por frentes frias de direção S-SW-W, deveria promover uma discussão em nível de mesoescala geográfica da doença com ações sobre o seu processo epidêmico e obstrução do surgimento de raças resistentes a fungicidas.

3.7 CONCLUSÃO

Em relação aos ensaios conduzidos foi possível concluir que:

- Os resultados evidenciam a importância do monitoramento dos esporos e das condições de favorabilidade na decisão sobre o momento de realização da primeira aplicação de fungicida.
- O melhor momento para iniciar as aplicações foi quando após constatado esporos viáveis na armadilha caça-esporos, contaram-se 12 dias de favorabilidade ambiental igual ou superior a 60% nas duas safras.
- O monitoramento dos uredósporos via armadilha caça-esporos durante todo o ciclo da cultura propiciou redução de 1 aplicação de fungicida na safra 2009/2010 e redução de 3 aplicações na safra 2010/2011.
- Mesmo em tratamento com 6 aplicações, desde a fase V3, houve aparecimento de doença, o que não garante o seu controle total.
- Não houve diferença do peso de 1.000 grãos, mesmo se realizando de 2 a 6 pulverizações com fungicida.
- O progresso da doença foi fortemente influenciado pelo momento de detecção do inóculo inicial viável.
- Aplicações com base no estágio fenológico da cultura não são um indicativo de controle eficiente, devido ao fato do patógeno estabelecer-se em qualquer estágio da planta durante o ciclo da cultura.
- O atraso na detecção dos esporos na armadilha esteve associado ao atraso no aparecimento dos primeiros sintomas em condições de campo.
- Em anos de alta pressão de inóculo, o tratamento baseado no aparecimento dos primeiros sintomas não seria a melhor decisão, para tomar a decisão sobre o melhor momento de iniciar as aplicações.

- Os resultados obtidos indicaram que a precipitação e intensidade de precipitação, não apresentaram influência na determinação do momento da primeira aplicação, visto que não houve diferença entre as produtividades destes tratamentos em relação à testemunha sem aplicação.
- A chuva exerceu influência sobre o desenvolvimento da epidemia, porém não foi apenas este fator meteorológico ou as condições ambientais que regularam o desenvolvimento das epidemias.
- O momento de aparecimento e a pressão do inóculo decidiram o momento de controle e não as características ligadas à precocidade ou ao estágio fenológico da cultivar.

4 CONCLUSÕES GERAIS

Existe possibilidade da fonte de inóculo estar associada à maior quantidade de uredósporos produzida em lavouras comerciais que tiveram o plantio antecipado na primavera do que em plantas voluntárias de soja sobreviventes no período de inverno.

A quantidade de uredósporos que atingiu a safra de verão no Estado do Paraná, provenientes da safra cultivada no Paraguai foi 10^7 vezes superior à quantidade produzida por 1% da área paranaense de soja safrinha.

O aparecimento de sintomas em culturas sentinelas, não deveria ser o foco principal na definição do momento de aplicação, uma vez que ela poderia estar sendo utilizada pelo patógeno para o desenvolvimento da ponte verde, a partir do esporo já existente na área.

A antecipação do plantio para fugir da epidemia pode favorecer a multiplicação rápida do patógeno e comprometer os plantios normais de forma incontrolável e inviável economicamente.

As fontes de inóculo podem não estar limitadas às fronteiras internas do Brasil, o que permite deduzir que o controle da epidemia de ferrugem asiática da soja deveria passar pelo debate da doença em escala maior do que a verificada na nossa visão apenas doméstica.

O uso inadequado de fungicida poderia inviabilizar a cultura devido aos reflexos diretos no custo de produção, na contaminação ambiental e na resistência de novas raças do patógeno aos princípios ativos existentes atualmente para o controle da ferrugem asiática.

REFERÊNCIAS

- AGROCLIPPING. **Comienza siembra masiva de soja em el Alto Paraná.** Disponível em: <<http://www.abc.com.py>>. Acesso em: 18 maio 2011.
- AGROMEAT. **Paraguay** – mala cosecha de soja. Disponível em: <<http://agomeat.com/print.news.php?idNews=83967>>. Acesso em: 18 maio 2011.
- AYLOR, D.E. A framework for examining inter-regional aerial transport of fungal spores. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.38, p.263-288, maio 1986.
- BALARDIN, R.S. Bases para o manejo da ferrugem asiática (*Phakopsora pachyrhizi*). Workshop, p. 341-342. Disponível em: <http://www.acsoja.org.ar/mercosoja2006/Contenidos/workshops/roya_01.pdf> Acesso em: 19 jun. 2010.
- BARNES, C.W.; SZABO, L.J. BOWERSOX, V.C. Identifying and quantifying *Phakopsora pachyrhizi* spores in rain. **Phytopathology**, v.99, p.328-338, dez 2008.
- BECK, L.F. Urediniospores release and escape from rust-infected soybean fields. **2006 National Soybean Rust Symposium**. St. Louis. Poster 38, 2006. Disponível em: <<http://plantmanagementnetwork.org/infocenter/topic/soybeanrust>>. Acesso em: 20 jun. 2011.
- BERGAMIN FILHO, A.; AMORIM, L. **Doenças de plantas tropicais: epidemiologia e controle econômico**. São Paulo: Editora Agronômica Ceres Ltda, 1996. 289 p.
- BERGAMIN FILHO, A. Epidemiologia comparativa: ferrugem da soja e outras doenças. In: Zambolin, L. (Org.) **Ferrugem Asiática da Soja**. Visconde do Rio Branco: Suprema Gráfica e Editora. 2006. p.15-35.
- BLUM, L.E.B.; DIANESE, J.C. Padrões de liberação de urediniósporos e desenvolvimento da ferrugem do jambeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.36, n.6, p.845-850, jun. 2001.
- BONDE, M.R.; BERNER, D.K.; NESTER, S.E.; FREDERICK, R.D. Effects of temperature on urediniospore germination germ tube growth, and initiation of infection in soybean by *Phakopsora* isolates. **Phytopathology**, v.97, n.8, p.997-1003, 2007.
- BRASIL. Eficiência de fungicidas para controle da ferrugem asiática da soja, *Phakopsora pachyrhizi*, na safra 2008/09. Resultados sumarizados dos ensaios cooperativos. **Circular Técnica 69**. EMBRAPA-Soja. Londrina, 11p., setembro 2009.
- BRASIL(a). Informativo de Risco – Consórcio antiferrugem. **Consórcio Antiferrugem**, v.2, n.1, dez. 2010.
- BRASIL(b). Companhia Nacional de Abastecimento. CONAB. Brasil – **Balanco de oferta e demanda. Levantamento nov/2010**. Disponível em:

<http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/10_11_16_17_07_16_0301_o_ferta_e_demanda_brasileira..pdf> Acesso em: 20 nov. 2010.

BRASIL(a). **Síntese sinótica mensal**. Disponível em: <<http://www.cptec.inpe.br>>. Acesso em: 20 maio 2011.

BRASIL(b). **Consórcio antiferrugem**. Disponível em: <<http://www.consorcioantiferrugem.net>>. Acesso em: 20 maio 2011.

BROMFIELD, K. **Soybean rust**. Monografia nº 11. The American Phytopathological Society. St. Paul, 65p., 1984.

BROWN, J.K.M.; HOVMØLLER, M.S. Aerial dispersal of pathogens on the global and continental scales and its impact on plant disease. **Science**, v.297, n.5581, p.537-541, jul. 2002.

CANTERI, M.G.; ALTHAU, R.A.; VIRGENS FILHO, J.S.; GIGLIOTI, E.A.; GODOY, C.V. SASM – Agri: Sistemas 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.; FARIA, R.; GODOY, C.V. A system to map risk of infection by *Phakopsora pachyrhizi* for Paraná State, Brazil. **Phytopathology**, v.95, n.6, S16 (Suplemento), jun. 2005.

CANTERI(a), M.G.; DEL PONTE, E.M.; GODOY, C.V.; TSUKAHARA, R.Y. Emprego de tecnologia da informação para previsão de epidemias e zoneamento agroclimático aplicáveis no controle de doenças de plantas. **Summa Phytopathologica**, v.23, p.121-124, 2007.

CANTERI(b), M.G.; TSUKAHARA, R.Y.; SILVA, O.C. Monitoramento das variáveis ambientais para controle da ferrugem asiática da soja. In: XL Congresso Brasileiro de Fitopatologia, 2007, Maringá. **Fitopatologia Brasileira**. Brasília: SBF, 2007. v. 32. p. 65-66.

CAPEBE. **Uso de defensivos bate recorde no país**. Cooperativa Agropecuária de Boa Esperança, 22/07/2010. Disponível em: <<http://www.capebe.com.br/informativo.php?id=268>>. Acesso em: 11 jun. 2011.

CAPECO. **Paraguay**: producción y exportación de granos. Camara Paraguaya de Exportadores y Comercializadores de Cereales y Oleaginosas (CAPECO). Disponível em: <<http://www.capeco.org.py>>. Acesso em: 18 maio 2011.

CHRISTIANO, R.S.C.; SCHERM, H. Quantitative aspects of the spread of asian soybean rust in the southeastern United States, 2005 to 2006. **Phytopathology**, v.97,n.11, p.1428-1433, maio 2007.

CONO SUR. **Productores sojeros en alerta, podría perderse la cosecha 2010/2011**. Disponível em: <<http://www.visionfederal.com/201008286002/Cono>>

Sur/produtores-ojeros-en-alerta-podria-perderse-la-cosecha-20102011.html>.
Acesso em: 18 maio 2011.

DEL PONTE, E.M.; FERNANDES, J.M.C.; PIEROBOM, C.R.; BERGSTROM, G.C. Giberela do trigo – Aspectos epidemiológicos e modelos de previsão. **Fitopatologia Brasileira**, v.29, n.6, p.587-605, 2004.

DEL PONTE(a), E.M.; GODOY, C.V.; LI, X.; YANG, X.B. Predicting severity of asian soybean rust epidemics with empirical rainfall models. **Phytopathology**, v.96, n.7, p.797-803, 2006.

DEL PONTE(b), E.M. Retrospectiva e tendências em modelagem matemática e previsão de ferrugem asiática. **Revista Plantio Direto**, p.21-30, nov/dez 2006.

DEL PONTE, E.M. O clima e as epidemias de ferrugem asiática da soja. In: Simpósio Brasileiro de Ferrugem Asiática da Soja, I, 2007, Londrina. **Anais**. Londrina. EMBRAPA-SOJA, 2007, p.77-84.

DEL PONTE, E.M.; ESKER, P.D. Considerações epidemiológicas na avaliação de risco e manejo da ferrugem asiática da soja. In: XL Congresso Brasileiro de Fitopatologia, 2007, Maringá. **Fitopatologia Brasileira**, 2007. v. 32. p. S58-S60.

DEL PONTE, E.M.; MARTINS, E.J.; ESKER, P.D.; GODOY, C.V. Modelagem e previsão de epidemias de ferrugem asiática da soja – avanços na teoria e aplicação. Disponível em: <http://www6.ufrgs.br/agronomia/fitossan/epidemiologia/wp-content/uploads/2009/09/06-DelPonte_workshop_epidemiologia_2007.pdf>. Acesso em: 20 jun. 2010.

DEL PONTE, E.M.; ESKER, P.D. Meteorological factors and Asian soybean rust epidemics – a system approach and implications for risk assessment. **Scientia Agricola**, v. 65, nspe, dez. 2008.

DEUNER, C.; NICOLINI, F; CARLINI, R.C. Histórico da evolução dos critérios de aplicação de fungicidas usados na cultura da soja, no Brasil. In: REIS, E.M.. **Critérios indicadores do momento para aplicação de fungicidas visando ao controle de doenças em soja e trigo**. 1ª. Passo Fundo: Aldeia Norte, 2009. p.27-30.

DIGITAL ABC. **Soja tempranera, amenazada por la falta de precipitaciones**. Assunción, Janeiro, 2004. Disponível em: <<http://archivo.abc.com.py>>. Acesso em: 18 maio 2011.

DIGITAL ABC. **Sequía malogra 70% de soja tempranera**. Assunción, dezembro 2008. Disponível em: <<http://archivo.abc.com.py>>. Acesso em: 18 maio 2011.

DIGITAL ABC. **Comienza siembra masiva de soja em el Alto Paraná. Digital ABC, 10 de novembro 2010**. Disponível em: <<http://www.abc.com.py/nota/comienza-siembra-masiva-de-soja-en-el-alto-parana>>. Acesso em: 18 maio 2011.

ESKER, P.D.; DEL PONTE, E.M.; MARTINS, M.C.; KATO, M.; 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, S33, 2007.

FABRE, M. **Venda de insumos teve redução de 3% em 2010**. Disponível em: <<http://www.agrolink.com.br/agrolinkfito/artigo>>. Acesso em: 18 fev. 2011.

FERREIRA, D.F. Análises estatísticas por meio do Sisvar para Windows versão 4.0. In.: 45ª Reunião Anual da Região Brasileira da Sociedade Internacional de Biometria. UFSCar, São Carlos, SP, julho de 2000, p.255-258.

FERREIRA, C.R.R.P.T.; VEGRO, C.L.R.; CAMARGO, M.L.B. **Defensivos agrícolas: expectativas de aumento nas vendas em 2010**. Disponível em: <http://infobibos.com/Artigos/2010_3>. Acesso em: 11 jun. 2011.

FORCELINI, C.A. Critérios: preventivo, início da doença e estágio fenológico. In: REIS, E.M. (Org.) **Critérios indicadores do momento para aplicação de fungicidas visando ao controle de doenças em soja e trigo**. 1ª. Passo Fundo: Aldeia Norte, 2009. p.46-53.

FORMENTO, A.N.; SOUZA, J. ; CRACOGNA, M. **Sampling uredinospores of *Phakopsora* spp. With spore trap in Argentina**. Disponível em: <<http://www.plantmanagementnetwork.org/infocenter/topic/soyeanrust/symposium/posters/9.pdf>>. Acesso em: 20 jun. 2010.

GALVANI, E.; KLOSOWSKI, E.S.; CUNHA, A.R.; MARTINS, D. Caracterização da direção predominante do vento em Maringá-PR. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.7, n.1, 1999.

GODOY, C.V.; CANTERI, M.G.; SEIXAS, C.D.S.; YORINORI, J.T.; SOARES, R.M. Brazilian strategies for soybean rust management. **Phytopathology**, v. 95, n. 6, S144(Suplemento), jun. 2005.

GODOY, C.V.; KOGA, L.J.; CANTERI, M.G. Diagramatic scale for assessment of soybean rust severity. **Fitopatologia Brasileira**, v.31, n.1, jan. 2006.

GODOY, C.V. Relato da ferrugem asiática da soja nos Estados do Paraná e de Santa Catarina, na safra 2006/07. In: Simpósio Brasileiro de Ferrugem Asiática da Soja, I, 2007, Londrina. **Anais**. Londrina. EMBRAPA-SOJA, 2007, p.57-59.

GODOY C.V.; FLAUSINO, A.M.; SANTOS, L.C.M. DEL PONTE, E.M. Eficiência do controle da ferrugem asiática da soja em função do momento de aplicação sob condições de epidemia em Londrina, PR. **Tropical Plant Pathology**, v.34, n.1, jan.2009.

GREGORY, P.H. **Microbiology of the atmosphere**. New York: 2. ed. Leonard Hill, Aylesbury (Bucks), 1973. 377p.

HARTMAN, G.L. Highlights of soybean rust research at the Asian Vegetable Research and Development Center. **Proceedings of the soybean rust workshop**.

National Soybean Research Laboratory. University of Illinois of Urbana Champaign, n.1, 19-28, agosto, 1995.

HARTMAN, G.L.; MILES, M.R.; FREDERICK, R.D. Breeding for resistance to soybean rust. **Plant Disease**, v.89, n.6, p.664-666, 2005

HENNEN, J.F. The taxonomy of the soybean rusts. P.29-32. In: SINCLAIR, J.B.; HARTMAN, G.L.(Ed.). **Proceedings of the rust workshop**, 9-10 August, 1995. College of Agricultural, Consumer, and Environmental Sciences, National Soybean Research Laboratory . Publication number 1, Urbana, Illinois. 1996. 68p.

IAMAMOTO, M.M. Critérios baseados em sistemas de aviso: modelo baseado no monitoramento do inoculo. In: Reis, C.M (Org.), **Critérios indicadores do momento para aplicação de fungicidas visando ao controle de doenças em soja e trigo**. 1ª. Passo Fundo: Aldeia Norte, 2009. p.111-115.

IGARASHI, W.T.; CAMARGO, L.C.M.; IGARASHI, S.; GARDIANO, C.G.; OLIVEIRA, G.M.; SAAB, O.J.G.A. Manejo químico da ferrugem asiática da soja, baseado em diferentes métodos de monitoramento. **Tropical Plant Pathology** v.34 (supl.), agosto 2009.

ISARD, S.A.; GAGE, S.H.; COMTOIS, P.; RUSSO, J.M. Principles of the atmospheric pathway for invasive species applied to soybean rust. **Bioscience**, v. 55, n.10, p.85-861, outubro 2005.

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

ISARD, S.A.; RUSSO, J.M.; ARIATTI, A. The integrated aerobiology modeling system applied to the spread of soybean rust into the Ohia River Valley during September 2006. **Aerobiologia**, v.23, p.271-282, setembro 2007.

JULIATTI, F.C.; REZENDE, A.A.; VALE, F.X.R. Critérios práticos de fundamento epidemiológico que auxiliam na tomada de decisão para o controle de doenças de plantas. **Tropical plant pathology**, v.35, suplemento, p.XXIII-XXV, agosto 2010.

KIM, K.; YANG, X.; PAN, Z.; PEREZ-HERNANDEZ, O. Simulation of spore trajectories to identify potential pathways of soybean rust in the United States. **Phytopathology**, v. 95, S5, n.6, 2005.

KOCHMAN, J.K. The effect of temperature on development of soybean rust (*Phakopsora pachyrhizi*). **Australian Journal of Agricultural Research**, v.30, n.2, p273-277, 1979.

LEVY, C. Epidemiology and chemical control of soybean rust in Southern Africa. **Plant Disease**, v.89, p. 669-674, jun. 2005.

LI, X.; YANG, X.B.; MO, J.Y.; GUO, T.X. Estimation of soybean rust uredospore terminal velocity, dry deposition, and the wet deposition associated with rainfall. **European Journal of Plant Pathology**, v.123, p.377-386, set 2008.

MARCHETTI, M.A.; UECKER, F.A.; BROMFIELD, K.R. Uredial development of *Phakopsora pachyrhizi* in soybeans. **Phytopathology**, v.65, p.822-823, jul. 1975.

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

MARTINEZ, J.A.; PALAZZO, D.A.; KARAZAWA, M.; MONTEIRO, M.V.M.; REU, N.R.N. Presença de esporos de *Hemileia vastatrix* Berk & Br. Agente causal da ferrugem do cafeeiro, em diferentes altitudes nas principais áreas cafeeiras dos Estados de São Paulo e Paraná (Brasil). **O Biológico**, v. XLI, p.77-88, 1975.

MEDITER. **Cosecha de soja tempranera**. Janeiro 2005. Disponível em: <<http://www.mediter.net/mediter/noticiasagro.php?id=2057>>. Acesso em: 18 maio 2011.

MEDITER. **La lluvia cambiará la cara de sojeros em zona de Itapúa**. Fevereiro 2010. Disponível em: <<http://www.mediter.net/mediter/noticiasagro.php?id=10288>>. Acesso em: 18 maio 2011.

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

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

MENTEN, J.O.M.; SAMPAIO, I.A.; MOREIRA, H.; FLÔRES, D.; MENTEN, M. **O setor de defensivos agrícolas no Brasil**. Disponível em: <<http://www.sindag.com.br/upload/osetordedefensivosagricolasnobrasil.doc>>. Acesso em: 11 jun. 2011.

MOREL, W.; MILES, M.R.; HARTMAN, G.L.; FREDERICK, R.D.; STEINLAGE, T.A.; CUBILLA, L.E. Field surveys to monitor soybean rust in Paraguay from 2001 to 2005. Disponível em: <<http://ddr.nal.usda.gov/bitstream/10113/735/1/CAT30988244.pdf>>. Acesso em: 18 maio 2011.

MOREL, W.; SCHEID, N.; AMARILLA, V.; CUBILLA, L.E. Soybean rust in Paraguay, evolution in the past three years. **Proceedings of VII World Soybean Research Conference, IV Internacional Soybean Processing and Utilization Conference, III Congresso Mundial de Soja (Brazilian Soybean Congress)**. Foz do Iguaçu. 2004, p361-364.

- MUELLER, T.A.; MILES, M.R.; MOREL, W.; MAROIS, J.J.; WRIGHT, D.L.; KEMERAIT, R.C.; LEVY, C.; HARTMAN, G.L. Effect of fungicide and timing of application on soybean rust severity and yield. **Plant Disease**, v.93, n.3, p.243-248, março 2009.
- MUNHOZ, F.C.; GARCIA, A. Caracterização da velocidade direção predominante dos ventos para a localidade de Ituverava-SP. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.23, n.1, p. 30-34, 2008.
- NAGARAJAN, S.; SINGH, D.V. Long-distance dispersion of rust pathogens. **Annual Review of Phytopathol.** v. 28, p.139-153, jan. 1990.
- NASCIMENTO, J.F.; VIDA, J.B.; TESSMAN, D.J. **Ferrugem asiática da soja**. Disponível em: <<http://ptscribd.com/doc/47607556/sojaxferrugem>>. Acesso em: 13 maio 2011.
- PAN, Z.; YANG, X.B.; PIVONIA, S.; XUE, L.; PASKEN, R.; ROADS, J. Long-term prediction of soybean rust entry into the continental United States. **Plant Disease**, v.90, n.7, p.840-846, 2006.
- PARAGUAI(a). Evaluación climática febrero/2007. **Boletín Especial n.33**. Unidad de Gestión de Riesgos (UGR/MAG), Ministerio de Agricultura y Ganadería. Asunción, 11p., fevereiro 2007.
- PARAGUAI(b). Cultivo de la soja em el Paraguay. **Boletín Especial n.36**. Unidad de Gestión de Riesgos (UGR/MAG), Ministerio de Agricultura y Ganadería. Asunción, 11p., maio 2007.
- PARAGUAI. Producción de soja en el Paraguay, zafra 2008/2010. **Ministerio de Agricultura y Ganadería**. Asunción, junho 2010. 44p.
- PARAGUAI. Dirección de protección vegetal. Fundamentaciones para establecer un período de pausa fitosanitaria posterior a una zafra del cultivo de la soja.. **Servicio Nacional de Calidad y Sanidad Vegetal y de Semillas (SENAVE)**. Assunción, 2011. Disponível em: <http://www.senave.gov.py/Docs/anteproyeto/fundamentacion_pausa_fitosanitaria.pdf>. Acesso em: 18 maio 2011.
- PARK, S.; CHEN, Z.Y.; CHANDA, A.K.; SCHNEIDER, R.W.; HOLLIER, C.A. Viability of *Phakopsora pachyrhizi* urediniospores under simulated southern Louisiana winter temperature conditions. **Plant Disease**, v.92, n.10, p.1456-1462, outubro 2008.
- PATIL, V.S.; WUIKE, R.V.; CHIRAME, B.B.; THAKARE, C.S. Viability and survival of uredospores of *Phakosora pachyrhizi* SYD in plant debris under different storage conditions. **Journal of Soils and Crops**, v.8, n.1, p.16-19, jun. 1998.
- PIMENTA, C.B.; GODOY, C.V.; MIGUEL-WRUCK, D.S.; RAMOS JR., EDISON U.; SIQUERI, F.V.; FEKSA, H.R.; SANTOS, I.; LOPES, I.O.N.; NUNES JR., J.; IAMAMOTO, M.M.; ITO, M.A.; MEYER, M.C.; DIAS, M.D.; MARTINS, M.C.; ALMEIDA, N.S.; ANDRADE, N.S.; ANDRADE, P.J.M.; SOUZA, P.I.M.; BALARDIN,

R.S.; BARROS, R.; SILVA, S.A.; FURLAN, S.H.; GAVASSONI, W.L. Eficiência de fungicidas para controle da ferrugem asiática da soja, *Phakopsora pachyrhizi*, na safra 2006/07. Resultados sumarizados dos ensaios em rede. In: Simpósio Brasileiro de Ferrugem Asiática da Soja, I, 2007, Londrina. **Anais**. Londrina. EMBRAPA-SOJA, 2007, p.87-106.

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

REIS, E.M. **Previsão de doenças de plantas**. Passo Fundo: UPF, 2004. 316 p.

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 Agrária**, v.8, n.3, p.319-323, 2007.

REIS, E.M. Critérios baseados em sistemas de aviso: modelo climático. In: REIS, E.M. (Org.) **Critérios indicadores do momento para aplicação de fungicidas visando ao controle de doenças em soja e trigo**. 1ª. Passo Fundo: Aldeia Norte, 2009. p.103-109.

REIS, E.M.; CASA, R.T. Análise crítica dos critérios atuais. In: REIS, E.M. (Org.) **Critérios indicadores do momento para aplicação de fungicidas visando ao controle de doenças em soja e trigo**. 1ª. Passo Fundo: Aldeia Norte, 2009. p.135-147.

RINALDI, D.A. **Avaliação de estratégias de controle do progresso da ferrugem asiática da soja**. 2009. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2009.

RITCHIE, S.; HANWAY, J.J.; TOMPSON, H.E. **How a soybean plant develops**. Ames, Iowa State University of Science and Technology, Coop. Ext. Serv., 1982.20p. (Special Report, 53) Adaptado por Yorinori, J.T.; EMBRAPA SOJA, Londrina. 1996.

RUPE, J.; SCONYERS, L. **Soybean rust**. The Plant Health Instructor. DOI: 10.1094/PHI-I-2008-0401-01 2008. Disponível em: <<http://www.apsnet.org/idcenter/intropp/lessons/fungi/Basidiomycetes/Pages/SoybeanRust.aspx>>. Acesso em: 12 jun. 2011.

SCHERM, H.; CHRISTIANO, R.S.C.; ESKER, P.D.; DEL PONTE, E.M.; GODOY, C.V. Quantitative review of fungicide efficacy trials for managing soybean rust in Brazil. **Crop protection**, maio 2009. (article in press).

SCHMITZ, H.F.; GRANT, R.H. Precipitation and dew in a soybean canopy: spatial variations in leaf wetness and implications for *Phakopsora pachyrhizi* infection. **Agricultural and forest meteorology**, v.149, p.1621-1627, março, 2009.

SEIXAS, C.D.S; GODOY C.V. Vazio sanitário: panorama nacional e medidas de monitoramento. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE FERRUGEM ASIÁTICA DA SOJA, I, 2007, Londrina. **Anais**. Londrina. EMBRAPA-SOJA, 2007. p.23-32.

SILVA, G.B.; PRABHU, A.S. Quantificação de conídios de *Pyricularia grisea* no plantio direto e convencional de arroz de terras altas. **Fitopatologia Brasileira**, v.30, p.59-573, ago. 2005.

SINCLAIR, J.B.; HARTMAN, G.L. **Proceedings of the soybean rust workshop**. National Soybean Research Laboratory. University of Illinois of Urbana Champaign, n.1, 9-11 ago. 1995.

SINDAG. **Venda de defensivos bate recorde no Brasil**. Disponível em: <http://www.sindag.com.br/noticia.php?News_ID=2143>. Acesso em: 11 jun. 2011.

SIQUERI, F.V. Posicionamento da tecnologia Inox. Fundação Mato Grosso.Palestra. **Seminário sobre tecnologia Inox**. Londrina, junho de 2011.

SOUZA, J.; FORMENTO, N.; BOCA, T.; GODOY, C.V.; RIDAO, A.C. Effect of low temperatures on the survival of *Phakopsora pachyrhizi* urediniospores in overwinter volunteer soybean plants in Entre Ríos Province, Argentina. **National Soybean Rust Symposium**, St. Louis, pôster 3, p.4, 2006.

TAN, Y.J.; YU, Z.L.; LIU, J.L. Studies on the epidemic regulation and controlo f soybean rust caused by *Phakopsora pachyrhizi* Sydow. Urbana-Champain: University of Illinois, 1983. p.169-174. (INTSOY Series)

Tecnologias de produção de soja – região central do Brasil 2011. Londrina: **Embrapa Soja: Embrapa Cerrados: Embrapa Agropecuária Oeste**, 2010. 247p.

TENUTA, A.U.; HAMBLETON, S.; ANDERSON, T.R.; HERK, C.; TROPIANO, T. Soybean rust monitoring (sentinel plots and spore traps) in Ontario, Canada. **National Soybean Rust Symposium**, St. Louis, pôster 31, p.13, 2006.

TSCHANZ, A.T.; WANG, T.C.; TSAI, B.Y. Recente advances in soybean rust research. In: SHANMUGASAUNDARAM, S.; SULZBERGER, E.W.; MCLEAN, B.I. **Soybean n tropical and subtropical cropping system**. Asian vegetable research and development center, p.237-245, 1984.

TSCHANZ, A.T.; SHANMUGASUNDARAM, S. **Soybean rust** .In: World soybean research conference III; Proceedings./ ed. by Shibles, R.; Boulder, CO : Westview Press. p.562-567. ref. (Text in En) (AVRDC/SP) (AVRDC Staff Publication) (SB205.S7W6 1985). Disponível em: <<http://203.64.245.61/pub-5.htm>>. Acesso em: 12 jun. 2011.

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

TUBELIS, A.;NASCIMENTO, F.J.L. **Meteorologia Descritiva: Fundamentos e Aplicações Brasileiras**. São Paulo: Nobel, 1988. 374p.

TWIZEYIMANA, M.; OJIAMBO, P.S. IKOTUN, T. PAUL, C.; HARTMAN, G.L.; BANDYOPADHYAY, R. Comparison of field, greenhouse, and detached-leaf

evaluations of soybean germplasm for resistance to *Phakopsora pachyrhizi*. **Plant Disease**, v.91, p.1161-1169, set. 2007.

VIANA, E.; NETO, N.; BONETTI, L.P. Levantamento de ocorrência da ferrugem asiática em plantas de soja voluntária, no município de Ibirubá-RS na safra 2009/2010. **Seminário Interinstitucional de Ensino, Pesquisa e Extensão**. XII Mostra de Iniciação Científica. UNICRUZ, 2010. Disponível em: <<http://www.unicruz.edu.br>>. Acesso em: 12 jun. 2011.

VON QUALEN, R.; YANG, X.B. Spore traps help researchers watch of soybean rust. **Integrated Crop Management**, v.16, p.496, junho 2006.

WAGNER, C.S.; BERNARDES, L.R.M; CORREA, A.R.; BORROZINO, E. Velocidade e direção predominante dos ventos no Estado do Paraná. **Boletim Técnico**, 26. Londrina. IAPAR, 1989. 56p.

YANG, X.B.; ROYER, M.H. TSCHANZ, A.T.; TSAI, B.Y. Analysis and quantification of soybean rust epidemics from seventy-three sequential planting experiments. **Phytopathology**, v.80, n.12, 1421-1427, jul. 1990.

YANG, X.B. Assessment and management of the risk of soybean rust. **Proceedings of the soybean rust workshop**. National Soybean Research Laboratory. University of Illinois of Urbana Champaign, n.1, 52-63, ago. 1995.

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

YEHRAN, E. Informe y analisis del sector sojero. Abril, 2006. Disponível em: <<http://www.mag.gov.py>>. Acesso em: 12 jun. 2011.

YEH, C.C.; SINCLAIR, J.B.; TSCHANZ, A.T. *Phakopsora pachyrhizi*: uredial development, urediospore production and factors affecting teliospore formation on soybeans. **Australian Journal of Agricultural Research**, v.33, n.1, p.25-31, 1982.

YORINORI, J.T.; PAIVA, W.M.; FREDERICK, R.D.; COSTAMILAN, L.M.; BERTAGNOLLI, P.F. Epidemics of soybean rust (*Phakopsora pachyrhizi*) in Brazil and Paraguay from 2001 to 2003. **Plant Disease**, v.89, n.6, p. 675-677, junho 2005.

YORINORI, J.T. Ferrugem da soja: panorama geral. **Proceedings of VII World Soybean Research Conference, IV Internacional Soybean Processing and Utilization Conference, III Congresso Mundial de Soja (Brazilian Soybean Congress)**. Foz do Iguaçu. 2004, p.1301-1307.

YORINORI, J.T. **O que aprendemos sobre a ferrugem “asiática” da soja, de 2001 a 2006, e como aprimorar o seu controle no Brasil**. MERCOSOJA 2006 – 3º Congresso de Soja Del Mercosur. Disponível em: <<http://www.planetasoja.com/tabajos/trabajos800.php?idl=11062&id2=11067&puli=&idSec=11>>. Acesso em: 12 jun. 2011.

ZADOKS, J.C. Plant disease epidemiology in the twentieth century: a Picture by means of selected controversies. **Plant Disease**, v.85, n.8, p.807-816, ago. 2001.