



UNIVERSIDADE  
ESTADUAL DE LONDRINA

---

ALEXANDRE JOSÉ DA SILVA

**REFLETÂNCIA E AVALIAÇÃO VISUAL COMO  
INDICADORES DE SEVERIDADE DA FERRUGEM  
ASIÁTICA, COMPARADOS À PRODUTIVIDADE EM SOJA**

---

Londrina  
2009

ALEXANDRE JOSÉ DA SILVA

**REFLETÂNCIA E AVALIAÇÃO VISUAL COMO  
INDICADORES DE SEVERIDADE DA FERRUGEM  
ASIÁTICA, COMPARADOS À PRODUTIVIDADE EM SOJA**

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

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Debora C. Santiago  
Co-Orientador: Prof. Dr. Marcelo G. Canteri

Londrina  
2009

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

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

S586r Silva, Alexandre José da.  
Refletância e avaliação visual como indicadores de severidade da ferrugem asiática, comparados à produtividade em soja / Alexandre José da Silva. – Londrina, 2009.  
82 f. : il.

Orientador: Débora Cristina Santiago.  
Co-orientador: Marcelo Giovanetti Canteri.  
Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual de Londrina, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, 2009.  
Inclui bibliografia.

1. Ferrugem asiática – Teses. 2. Soja – Doenças e pragas – Teses. 3. Fungicidas – Avaliação – Teses. 4. Sensoriamento remoto – Teses. 5. Radiômetro – Teses. I. Santiago, Débora Cristina. II. Canteri, Marcelo Giovanetti. III. Universidade Estadual de Londrina. Centro de Ciências Agrárias. Programa de Pós-Graduação em Agronomia. IV. Título.

CDU 632.952

ALEXANDRE JOSÉ DA SILVA

**REFLETÂNCIA E AVALIAÇÃO VISUAL COMO INDICADORES DE  
SEVERIDADE DA FERRUGEM ASIÁTICA, COMPARADOS À  
PRODUTIVIDADE EM SOJA**

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

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Debora Cristina Santiago  
UEL – Londrina - PR

---

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

---

Prof. Dr. João Tavares Bueno  
UENP – CLM

---

Prof. Dr. João Batista Vida  
UEM – Maringá – PR

---

Prof. Dr. Martin Homechin  
UEL – Londrina - PR

Londrina, 27 de maio de 2009.

## **DEDICATÓRIA**

À Deus e meu Senhor Jesus Cristo, por tudo;  
Aos meus pais Sebastião e Dete pelo amor;  
dedicação e apoio incondicional;  
À minha Esposa Mirella, por estar sempre ao  
meu lado, em todos os momentos, com amor;  
Aos meus irmãos e amigos, sempre presentes  
em minha vida.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus e a meu Senhor e salvador Jesus Cristo, simplesmente por tudo.

Aos meus pais, irmãos e minha esposa, pelo apoio, suporte, amor e paciência em todos os momentos de minha vida.

Aos meus orientadores Marcelo Giovanetti Canteri e Debora Cristina Santiago pela amizade, ensinamentos, correções e aprendizado imenso que possibilitaram meu crescimento pessoal e profissional.

Gostaria de agradecer também minhas amigas Sheila e Daiane pelo apoio no trabalho de campo e no laboratório, que foram cruciais para o desenvolvimento do trabalho. E também ao meu irmão André, graduando do 3º ano de Agronomia, pela ajuda em todo o trabalho no campo.

Agradeço também aos colegas de Mestrado e Doutorado, pela amizade e companheirismo, bem como ao técnico do laboratório de Fitopatologia, José pela disposição e apoio, sempre que precisei.

Agradeço especialmente a Universidade Estadual de Londrina, os professores do Departamento de Agronomia, pela oportunidade em aprender, especializar-me, crescer e conquistar novos horizontes.

SILVA, Alexandre J. da. **Refletância e avaliação visual como indicadores de severidade da ferrugem asiática, comparados à produtividade em soja.** 2009. 82 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2009.

## RESUMO

Os objetivos deste trabalho foram comparar medidas de refletância com métodos de avaliações visuais no patossistema ferrugem asiática da soja para quantificar danos em diferentes épocas, correlação com a produtividade e testar eficácia de fungicidas para o controle da ferrugem da soja. Os experimentos foram conduzidos no município de Londrina, PR, na safra de 2006/07. O delineamento experimental foi de blocos ao acaso com 11 tratamentos e quatro repetições (experimentos 1 e 2) e 07 tratamentos e quatro repetições (experimento 3). A severidade da doença foi estimada em intervalos semanais, a partir do surgimento dos primeiros sintomas. As leituras de refletância foram realizadas com radiômetro de múltiplo espectro, em oito comprimentos de onda (460 a 810 nm). Avaliações visuais de severidade e desfolha foram realizadas semanalmente com auxílio de escala diagramática. Foi calculada a área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD) as integrais das medidas de refletância em 810 nm (AACR<sub>810</sub>). As medidas de refletância (R<sub>810</sub>) apresentaram correlação com a produtividade  $R^2= 76,7\%$  e com a desfolha ( $R^2= 90\%$ ). Comparadas às medidas de avaliação visual da ferrugem asiática, o sensoriamento remoto mostrou-se um método, rápido, prático e preciso, apresentando baixos níveis de CV% (CV=4 e 5,2) enquanto o tradicional método de avaliação visual mostrou valores superiores (CV= 17,59 e 23,1). A semeadura tardia (época 2) apresentou maior desenvolvimento da ferrugem asiática da soja e maiores danos na produtividade (78,8%). No experimento três as medidas de refletância apresentaram relação com produtividade ( $R^2= 89\%$ ), enquanto que a AACPD apresentou relação de  $R^2= 79\%$ . Medidas de refletância foram eficazes na avaliação de danos e eficácia de fungicidas. O sensoriamento remoto apresentou potencial para utilização na quantificação de danos causados pela ferrugem asiática da soja.

**Palavras Chave:** Medidas de refletância. *Phakopsora pachyrhizi*. Sensoriamento remoto. Radiômetro

SILVA, Alexandre J. da. **Reflectance and visual assessments to evaluate Asiatic rust soybean severity compared to Yield in soybean.** 2009. 82 f. Dissertation (Master's Degree in Agronomy) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2009.

## ABSTRACT

The objectives of this study were to compare measurements of reflectance with methods of visual assessments in the patossistem Asian soybean rust aiming to quantify damage at different times and its correlation with yields and evaluate fungicides efficacy. The experiments were conducted in the Londrina, PR country, in the 2006/07 season. The test was repeated in two sowing dates in order to obtain variable intensity of the disease in different phenological stages of soybean. The experimental design was randomized blocks with 07 and 11 treatments and four repetitions, and each experimental plot was composed of five rows of six meters in length. To have gradient of disease, the treatments were applied in different seasons for applications of fungicide in the BRS 133. The severity of the disease was estimated at weekly intervals, beginning with appearance of first symptoms. The evaluations were made a reflectance radiometer with multiple-spectrum at eight a wavelength (460 to 810 nm). Visual assessments were performed weekly with the help of scale and diagrammatic scale. It was calculated the area under the disease progress (AUDPC) and the full measures of reflectance at 810 nm ( $AAR_{810}$ ). Measures of reflectance ( $R_{810}$ ) showed correlation with the yield ( $R^2 = 76.7\%$ ) and defoliation ( $R^2 = 90\%$ ). Compared to measures of visual assessment of Asian rust, the remote sensing method proved to be a quick, convenient and accurate, showing low levels of variation (CV = 4 and 5,2) while the traditional method of visual assessment showed higher values (CV = 17,59 and 23,1). The late sowing presented higher development of Asian soybean rust damage in Yield and higher (78.8%). Reflectances measure showed correlation with yield (89%) and provide better performance for damage assessment and fungicide test. Remote sensing showed potential for use in the quantification of damage caused by the Asian soybean rust.

**Key words:** Relectance's measures. *Phakopsora pachyrhizi*. Remote sensing. Radiometer.

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	9
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	12
2.1 A SOJA.....	12
2.2 FERRUGEM AMERICANA ( <i>Phakopsora meibomiae</i> Arthur) .....	12
2.3 FERRUGEM ASIÁTICA DA SOJA ( <i>Phakopsora pachyrhizi</i> ) .....	13
2.3.1 Distribuição.....	14
2.3.2 Perdas .....	14
2.3.3 Sintomatologia.....	15
2.3.4 Epidemiologia .....	17
2.3.5 Disseminação .....	18
2.3.6 Medidas de Controle.....	19
2.3.7 Controle Químico.....	21
2.4 QUANTIFICAÇÃO DE DOENÇAS.....	23
2.5 QUANTIFICAÇÃO DE DANOS.....	24
2.6 SENSORIAMENTO REMOTO.....	25
2.7 INTERAÇÃO RADIAÇÃO SOLAR X PLANTA .....	26
2.8 USO DO RADIÔMETRO DE MÚLTIPLO ESPECTRO .....	29
2.9 CORRELAÇÃO DE MEDIDAS DE REFLETÂNCIA COM CRESCIMENTO E DURAÇÃO DO ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR VERDE .....	33
2.10 REFERÊNCIAS.....	34
<b>3 ARTIGO 1: REFLETÂNCIA E AVALIAÇÃO VISUAL COMO INDICADORES DE SEVERIDADE DA FERRUGEM ASIÁTICA, COMPARADOS À PRODUTIVIDADE EM SOJA</b> .....	43
3.1 RESUMO.....	43
3.2 INTRODUÇÃO.....	44
3.3 MATERIAL E MÉTODOS.....	46
3.4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	49
3.5 RELAÇÕES ENTRE MEDIDAS DE REFLETÂNCIA, AACPD, DESFOLHA E PRODUTIVIDADE .....	54
3.6 CONCLUSÕES .....	64
3.7 REFERÊNCIAS.....	65

<b>4</b>	<b>ARTIGO 2: MEDIDAS DE REFLETÂNCIA PARA ESTIMAR EFEITO DE FUNGICIDAS NO CONTROLE DA FERRUGEM DA SOJA .....</b>	<b>68</b>
4.1	RESUMO.....	68
4.2	INTRODUÇÃO.....	69
4.3	MATERIAL E MÉTODOS.....	70
4.4	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	73
4.5	CONCLUSÕES .....	80
4.6	REFERÊNCIAS .....	81

## 1 INTRODUÇÃO

No contexto das grandes culturas produtoras de grãos, a soja (*Glicine max* (L) Merrill) foi a que mais cresceu em termos percentuais nos últimos 37 anos, tanto no Brasil quanto em nível mundial. De 1970 a 2007, o crescimento da produção global foi da ordem de 763% (de 44 para 236 milhões de toneladas) (Tecnologias, 2008). Cultivada em cerca de 26 milhões de hectares na safra 2006/07, sob as boas condições climáticas, a produtividade média do país, passou de 2.400 kg.ha<sup>-1</sup> para 2.760 kg.ha<sup>-1</sup>, com incremento de 14,6% o que elevou a produção de 53,4 milhões de toneladas para 56,7 milhões, 6,2% maior do que a safra anterior (CONAB, 2008).

Atualmente, a distribuição geográfica da ferrugem asiática da soja, causada pela espécie *Phakopsora pachyrhizi* Syd. e P. Syd. inclui África, Ásia, Austrália, América do Sul, América do Norte e Havaí. A rápida dispersão e o potencial para severas perdas de produção tornam a ferrugem a mais destrutiva doença foliar dentre as diferentes doenças da soja. (BROMFIELD, 1984; EMBRAPA SOJA, 2002a, JULIATTI et al., 2004; EMBRAPA SOJA, 2008).

Após a sua constatação no Brasil, na safra de 2000/01 (YORINORI et al., 2004), diferentes estudos tem sido realizados tendo em vista o manejo e controle da doença. Segundo Reis e Bresolin (2004), a aplicação de fungicidas na parte aérea têm sido amplamente utilizados.

Como sintomas iniciais da doença tem se pequenas lesões foliares, com coloração de castanha a marrom-escura; na face inferior da folha, pode-se observar uma ou mais urédias as quais se rompem e liberam os uredósporos. As lesões tendem para o formato angular e podem atingir 2 a 5 mm de diâmetro e podem se desenvolver em pecíolos, vagens e caules (SINCLAIR; HARTMAN, 1999).

Essa doença possui elevado potencial de dano à cultura, devido ao rápido amarelecimento, queda prematura de folhas e inibir a plena formação dos grãos.

No Brasil, já causou perdas de produtividade avaliadas em US\$ 2,08 bilhões, gastos com controle químico estimados em US\$ 1,286 bilhão e US\$ 327,9 milhões em perdas de arrecadação tributária, com prejuízo de US\$ 3,694 bilhões no período compreendido entre 2001 e 2003 (YORINORI et al., 2004).

Atualmente, a medida mais empregada no controle da doença é o controle químico, ainda não está plenamente definido quanto ao número e/ou épocas de aplicações para reduzir as perdas causadas pela doença. Essa situação tem levado Engenheiros Agrônomos e produtores empregarem as mais variadas estratégias em termos de época, número de aplicações, intensidade da doença, o que, muitas vezes acarreta prejuízos e perda do potencial produtivo da lavoura ou gastos desnecessários.

A quantificação de doenças geralmente é uma prática laboriosa e subjetiva, dependendo do treinamento e acuidade visual de cada avaliador (CANTERI et al., 1999). Para a ferrugem da soja, uma importante ferramenta é a utilização de escala diagramática para estimar a severidade da doença (GODOY et al., 2003), com diferentes graus de severidade nas folhas, possibilitando avaliações seguras e padronizadas, porém, trabalhosas e demoradas.

A evolução da agroinformática aumentou o número de trabalhos e equipamentos aplicados à agricultura. O emprego do sensoriamento remoto tem sido cada vez mais comum em propriedades rurais. Com a modernização do sistema de posicionamento global (GPS), novas tecnologias e produtos tem sido desenvolvidos e aplicados à serviço da produção agrícola.

A mensuração da refletância do dossel das culturas, com o emprego do radiômetro de múltiplo espectro, têm sido utilizada com êxito, na determinação de injúrias causadas por patógenos, pragas, herbicidas, inseticidas, fungicidas, compactação de solo e deficiências nutricionais. Diversos trabalhos apresentam resultados convincentes com o uso dessa tecnologia em culturas como feijão, beterraba, soja, amendoim, dentre outras (BERGAMIN FILHO et al., 1995; CANTERI, 1998; CANTERI et al., 1999; NUTTER JR. et al., 2002). Através desse aparelho é possível obter-se informações da planta sem o contato físico com a mesma, sem dano à cultura, com maior rapidez e sem subjetividade, e possibilita avaliar uma área maior, pois seus sensores captam a radiação emitida pelas plantas (BERGAMIN FILHO et al., 1995; CANTERI, 1998; CANTERI et al., 1999).

Essa tecnologia constitui-se em importante ferramenta a ser utilizada no manejo integrado de doenças das plantas cultivadas. Entre as principais características destacam-se: agilidade, não destruição das amostras (parcelas), precisão e robustez nas avaliações (CANTERI, 1998).

Diante do exposto, o objetivo do trabalho foi avaliar medidas de refletância como ferramenta na quantificação de danos causados pela ferrugem asiática da soja, comparadas à produtividade.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 A SOJA

A soja (*Glycine max* L. Merrill) chegou as Américas no início do século XIX como lastro nos fundos dos navios e somente em 1879 ocorreu o plantio comercial da soja que, inicialmente utilizada como forragem para alimentação dos animais (GASSEN; BORGES, 2004; TECNOLOGIAS, 2008).

De acordo com Tecnologias (2008), a soja tem importância fundamental no desempenho da economia brasileira, alavancando as exportações e gerando divisas para o país.

### 2.2 FERRUGEM AMERICANA - *Phakopsora meibomiae* Arthur

O fungo *Phakopsora meibomiae*, agente causal da ferrugem americana, ocorre naturalmente no continente Americano, desde Porto Rico, no Caribe, até o Sul do Estado do Paraná (Ponta Grossa) (DESLANDES, 1979; BROMFIELD, 1984; YORINORI, 2003).

Segundo Almeida et al. (1980), constatou-se a presença do fungo *P. meibomiae*, infectando folhas de soja em área comercial, em campos experimentais do Instituto Agrônomo de Campinas (IAC), sendo que essa observação apenas confirmou constatação feita por Deslandes (1979). No entanto, Vale et al. (1990) afirma que a ocorrência deste fungo no Brasil data de 1940, tendo sido descrito como *Phakopsora crotalariae* em *Crotalaria striata* (THURSTON, 1940).

A ferrugem americana raramente causa danos elevados e ocorre em condições de temperaturas amenas (média abaixo de 25°C) e umidade relativa elevada, estando localizada nas regiões dos cerrados, com altitudes superiores a 800 m, e na região Sul (YORINORI et al., 2003).

A ferrugem americana é considerada uma doença de pouca importância econômica e raramente ocasiona perdas de rendimento (YORINORI,

2003; YORINORI et al., 2003). O único surto epidêmico que trouxe prejuízos econômicos foi registrado em 1987/88, em São Gotardo, Minas Gerais (YORINORI, 2003).

Além da soja, o fungo infecta naturalmente 42 espécies, em 19 gêneros de leguminosas e mais 18 espécies, em 12 gêneros, quando inoculadas artificialmente (YORINORI et al., 2003).

*Phakopsora meibomia* difere de *P. pachyrhizi* pela exigência de condições climáticas mais amenas, e por apresentar a télia com um a quatro e, raramente, cinco camadas de teliosporos; a parede dos esporos é de coloração castanho-canela a castanho-claro, com 1,5 a 2 micra de espessura, com a parede apical dos esporos da camada externa atingindo até 06 micra (YORINORI, 2003).

### 2.3 FERRUGEM ASIÁTICA DA SOJA *Phakopsora pachyrhizi* Sid. e P. Sid

A soja é infectada por duas espécies de fungo do gênero *Phakopsora*, causadoras da ferrugem; *P. meibomia* (Arthur), e *P. pachyrhizi* (ONO et al., 1992). A primeira infecta plantas de soja causando a doença conhecida como ferrugem “americana” a qual raramente causa danos elevados e não apresentar importância econômica no Brasil (YORINORI, 2003; JULIATTI et al., 2004). A ferrugem asiática, causada por *P. pachyrhizi* causa perdas e prejuízos em diferentes regiões do mundo (ONO et al., 1992; SINCLAIR; HARTMAN, 1996; CABI, 2001; et al., 2002; AKINSANMI et al., 2001; YORINORI, 2003). Ela foi detectada pela primeira vez no Hawaí, em 05 de maio de 1994 (YORINORI, 2003), posteriormente no continente Africano em 1996, inicialmente detectada em Uganda e posteriormente no Zimbábue, Zâmbia e em 1998 na África do Sul (CABI, 2001; YORINORI, 2003; YORINORI et al. 2003; EMBRAPA SOJA, 2008).

Em 05 de março de 2001, a ferrugem asiática foi registrada pela primeira vez no Paraguai, causando perdas acima de 50% e ainda no mesmo ano encontrada nas regiões Oeste e Norte do Paraná (YORINORI et al. 2003), Na safra de 2001/02 foi detectada em Londrina (YORINORI, 2003; YORINORI et al. 2003).

Segundo Yorinori et al. (2004), desde sua primeira constatação no Brasil, na safra de 2002/01, essa doença tem sido alvo de inúmeros estudos, devido

à sua agressividade e poder de dano, causando a desfolha prematura e redução drástica no rendimento de grãos (ONO et al., 1992; SINCLAIR; HARTMAN, 1996; GODOY et al., 2003; JULIATTI et al., 2004; TECNOLOGIAS, 2008).

A diferenciação das duas espécies de *Phakopsora* pode ser realizada através de características morfológicas (ONO et al., 1992).

### 2.3.1 Distribuição

O fungo *Phakopsora pachyrhizi* está presente na Austrália, na região Leste da Ásia e vários países situados nessas regiões incluindo Japão, Filipinas e Taiwan (SINCLAIR; HARTMAN, 1996), extremo Leste da Rússia (ONO et al., 1992; CABI, 2001), Coreia (SHIN; TSCHANZ, 1986; ONO et al. 1992; CABI, 2001), Japão (ONO et al., 1992; SINCLAIR; HARTMAN, 1996; CABI, 2001), China (GREEN, 1984; ONO et al. 1992; CABI, 2001), Taiwan (ONO et al. 1992; SINCLAIR; HARTMAN, 1996), Nepal (ONO et al. 1992; SINCLAIR; HARTMAN, 1996); Nigéria (AKINSANMI et al. 2001), Moçambique, Ruanda, Uganda, África do Sul, Zâmbia, Zimbabwe (SINCLAIR; HARTMAN, 1999; KLOPPERS, 2002), Paraguai (EMBRAPA SOJA, 2002A, 2003; UTIAMADA, 2003; YORINORI, 2003; JULIATTI et al., 2004) Brasil (EMBRAPA SOJA, 2002a, 2003; YORINORI, 2003; YORINORI et al. 2003; GODOY et al. 2003; JULIATTI et al. 2004; USDA-APHIS, 2004) e Estados Unidos (TECNOLOGIAS, 2008).

### 2.3.2 Perdas

Foram constatadas perdas de 15-40% no Sul do Japão (USDA-APHIS, 2004); 10-40% na Tailândia; 10-90% na Índia; 10-50% no Sul da China; 23-90% em Taiwan (SINCLAIR; HARTMAN, 1999); 10-100% na África do Sul; 20-80% no Zimbabwe (USDA-APHIS, 2004). Na Nigéria, Akinsanmi et al. (2001) observou desfolhação prematura em plantas infectadas perdas da produção entre 28-52% nas cultivares de ciclo de maturação média, em condições de alta severidade da doença.

No Brasil, no ano agrícola de 2001/02, a doença foi encontrada nos estados do Rio Grande do Sul, Paraná, São Paulo, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais e Goiás (EMBRAPA SOJA, 2002a; YORINORI et al., 2003). No mesmo ano, a ferrugem espalhou-se para mais de 60% da área de soja brasileira, causando perdas de 112.000 toneladas (US\$ 24,7 milhões) (YORINORI, 2003).

Na safra de 2002/03, causou grandes prejuízos com reduções de produtividades que variaram de 10-40% em lavouras comerciais (CARVALHO et al., 2003) e quase 100% da área de soja do Brasil foi afetada em apenas dois estados mais atingidos, Mato Grosso (4,2 milhões ha) e Bahia (830.000 ha), o total de perdas foi estimado em 2,5 milhões de toneladas (US\$ 550,00 milhões) (YORINORI et al., 2003).

### 2.3.3 Sintomatologia

Os primeiros sintomas da doença caracterizam-se por minúsculos pontos (no máximo com 1 mm de diâmetro) mais escuros que o tecido sadio da folha, com coloração variável de esverdeada a cinza-esverdeada (YORINORI, 2003; EMBRAPA SOJA 2002b; JULIATTI et al., 2004), diferindo da ferrugem americana apenas pela predominância da coloração castanho-avermelhado (RB) desta (YORINORI et al., 2003; JULIATTI et al., 2004).

Os primeiros sintomas são ocorrem em folhas velhas, na parte inferior da planta, onde pequenas pontuações de coloração cinza-esverdeada são formadas no limbo foliar, preferencialmente próximas às nervuras, com formação de urédias (minúsculas protuberâncias) na face inferior da folha (UTIAMADA, 2003; EMBRAPA SOJA, 2003; YORINORI, 2003). Progressivamente, as uredíneas, também chamadas de pústulas, adquirem coloração castanho-claro a castanho-escuro, abrem-se em um minúsculo poro, expelindo os uredosporos (JULIATTI et al., 2003; YORINORI, 2003; 2004).

Os uredosporos, inicialmente de coloração hialina, tornam-se bege e acumulam-se ao redor dos poros ou são carregados pelo vento (YORINORI, 2003; EMBRAPA SOJA, 2003; JULIATTI et al., 2004;).

O número de uredosporos ou pústulas por ponto, pode variar de uma a seis; à medida que prossegue a esporulação, o tecido da folha, ao redor das primeiras uredosporos adquire coloração castanho-clara do tipo TAN a castanho-avermelhada tipo RB, sendo as lesões, visíveis em ambas as faces da folha (Embrapa Soja, 2002a, 2003; Yorinori, 2003; Juliatti et al. 2004).

De acordo com Embrapa Soja (2002a, 2003) e Yorinori (2003), para melhor visualização, deve-se tomar uma folha suspeita e observá-la, pela página superior, contra um fundo claro, localizando o ponto suspeito, deve-se confirmar, observando o ponto escuro pelo verso da folha, verificando se há formação das urédias, com uma lupa de que possibilite aumentos de imagem de 10 a 30 vezes.

À medida que prossegue a esporulação, o tecido ao redor dos primeiros uredosporos escurece, formando as lesões que são facilmente visíveis em ambas as faces da folha (EMBRAPA SOJA, 2002b, 2003; UTIAMADA, 2003).

A infecção por *P. pachyrhizi* causa rápido amarelecimento ou bronzeamento e queda prematura de folhas, impedindo a plena formação dos grãos (YORINORI, 2003).

A ferrugem pode ser facilmente confundida com as lesões iniciais de mancha parda (*Septoria glycines* Hemmi) que forma um halo amarelo ao redor da lesão necrótica, que é angular e castanho-avermelhada (EMBRAPA SOJA, 2002b, 2003; YORINORI, 2003; YORINORI et al., 2003). Juliatti et al. 2004 relacionam diferenças (Tabela 1) entre estas doenças.

**Tabela 1 –** Diferenças entre ferrugem asiática e septoriose com base em aspectos da sintomatologia e epidemiologia.

DOENÇA	SINTOMAS	SINAIS NAS FOLHAS	PERÍODO INCUBAÇÃO À 25 °C	DESFOLHA
Ferrugem americana	Pústulas isoladas	Uredíniosporos hialinos	7-10 dias	Tardia ou no final do ciclo
Ferrugem asiática	Pústulas isoladas e Agregadas acompanhando as nervuras das folhas	Uredíniosporos hialinos	5-7 dias	Desfolha rápida
Septoriose	manchas necróticas	Picnídios ou pontos negros nas manchas ou lesões	20-30 dias	Desfolha tardia

**Fonte:** Juliatti et al. (2004).

### 2.3.4 Epidemiologia

O fungo *P. pachyrhizi* é parasita obrigatório, sobrevive durante os meses de inverno, sob condições desfavoráveis, em hospedeiros alternativos (EMBRAPA SOJA, 2002b, 2003; YORINORI, 2003; JULIATTI et al., 2004).

*Phakopsora pachyrhizi* infecta naturalmente 17 diferentes gêneros e 31 espécies de leguminosas (SINCLAIR; HARTMAN, 1996; YORINORI, 2003). No entanto, Juliatti et al. (2004) relata que mais de 95 espécies e plantas de 42 gêneros da família fabaceae, são hospedeiras do fungo. De acordo com Yorinori (2003), em inoculações artificiais, o mesmo fungo infecta 60 espécies de 26 gêneros de leguminosas.

Os principais hospedeiros são *Glycine max* (L.) Merrill, *G. sojae*, *Pachyrhizus eros*, *Pueraria lobata* e *Vigna unguiculata* (CABI, 2001). Ono et al. (1992) cita que a planta Kudzu (*Pueraria lobata*), comum nos EUA serve como contínua fonte de inóculo.

Juliatti et al. (2004) cita que os esporos do fungo sobrevivem até 50 dias. A infecção ocorre sob temperaturas entre 8 a 28 °C (SINCLAIR; HARTMAN, 1999; YORINORI, 2003), 15 a 28 °C (MARCHETTI et al., 1976) e umidade relativa do ar entre 75 a 80% (VALE et al., 1990; JULIATTI et al. 2004).

A doença ocorre com maior severidade sob condições de prolongado período de molhamento foliar (10 a 12 horas) e temperaturas médias abaixo de 28 °C (MARCHETTI et al., 1976; EMBRAPA SOJA, 2002b; YORINORI, 2003).

Para a germinação e penetração no tecido da folha, a ferrugem não necessita de estômatos ou ferimentos, pois ela penetra diretamente através da cutícula e epiderme, tornando a infecção mais rápida e fácil (DEL PONTE et al., 2006)

Segundo Yorinori (2003), as primeiras lesões podem ser visíveis cinco a seis dias após inoculação e as primeiras frutificações (uredíneas) podem ser visíveis seis a sete dias após inoculação.

Godoy et al. (2003) citam que a evolução da doença e a severidade final nas cultivares de soja, variam em função da época de semeadura.

#### 2.3.5 Disseminação

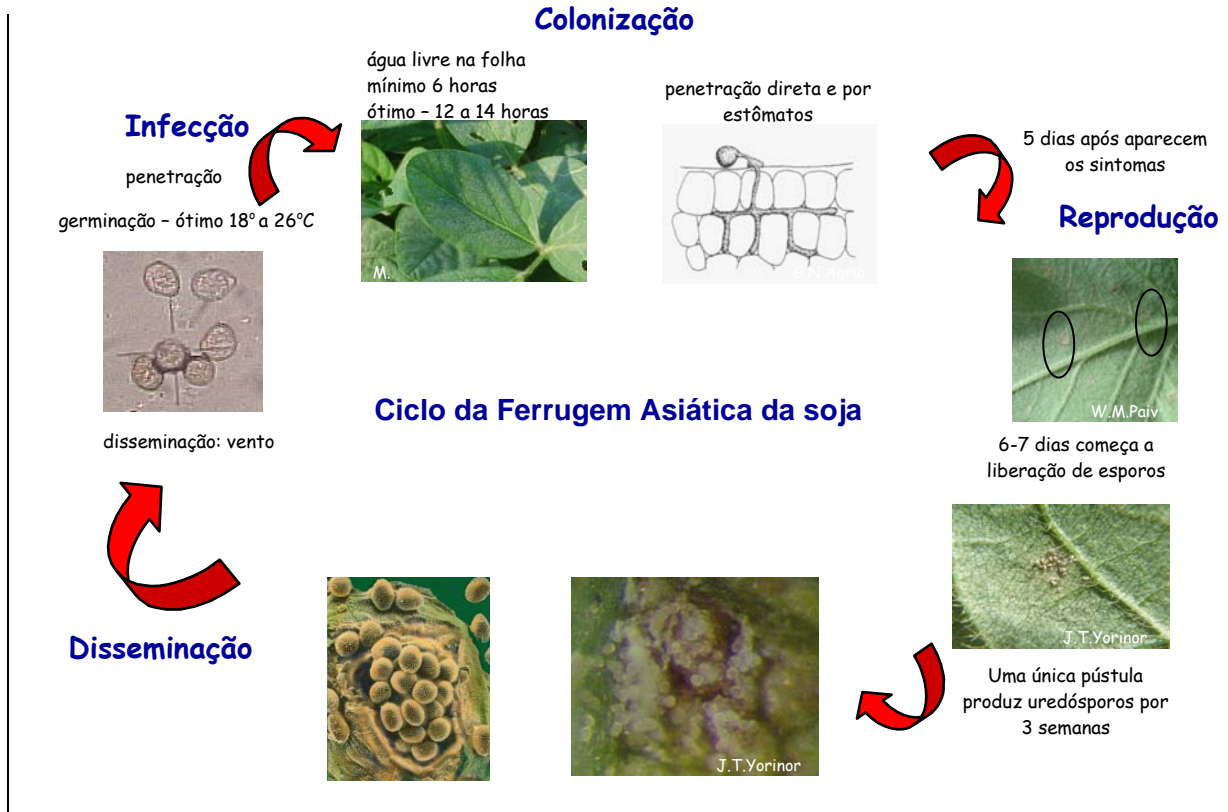
Grande parte dos fitopatologistas, em diversas partes do planeta, tem aceitado o fato de que a dispersão do fungo causador da ferrugem da soja tenha se dado a longas distâncias pelo vento (BROWN, 1984; DAVIS, 1987; NAGARAJAN; SING, 1990; SINCLAIR; HARTMAN, 1999; YORINORI et al. 2003; UTIAMADA, 2003).

O fungo *P. pachyrhizi* não é transmitido via sementes, somente é disseminado pelo vento e pode passar de uma safra de verão para outra por intermédio de plantas hospedeiras como soja voluntária, lavouras de multiplicação de sementes de soja no inverno, irrigadas ou não, soja perene e outras espécies de leguminosas (UTIAMADA, 2003; YORINORI, 2003; EMBRAPA SOJA, 2003; JULIATTI et al., 2004).

Yorinori (2003) supõe que esporos do fungo tenham atravessado o Oceano Atlântico, vindo dos países do Sul da África (Zimbabue, Zâmbia e África do Sul), onde a doença vem causando perdas desde 1998.

Como é um patógeno de fácil disseminação, pode infectar uma lavoura em poucas horas, desde que ocorram condições favoráveis para o seu

desenvolvimento (YORINORI et al., 2003; JULIATTI et al., 2004) conforme ciclo demonstrado pela Figura 1.



### 2.3.6 Medidas de Controle

Para o controle da ferrugem da soja, uma série de medidas são recomendadas a fim de evitar e/ou reduzir perdas, sempre com a preocupação da redução da fonte de inóculo.

Para o entendimento e manejo da ferrugem, a compreensão de todo o seu ciclo vital é de grande importância, pois uma das medidas clássicas de controle de doenças visa a diminuição e eliminação da fonte de inóculo (Figura 2.3.5.1).

A adoção do vazio sanitário da cultura da soja em todas as áreas produtoras têm auxiliado na redução do inóculo inicial, principalmente nos estados

do Mato Grosso, Maranhão, Tocantins e Goiás, onde se concentravam grandes áreas produtoras de sementes (TECNOLOGIAS, 2008).

Segue abaixo uma série de medidas de controle, integrando diferentes métodos segundo vários estudiosos sobre o assunto:

1. Vazio Sanitário (EMBRAPA SOJA, 2002a; TECNOLOGIAS, 2008);

2. Erradicação por dessecação com herbicidas das plantas tigueras e plantas hospedeiras e alternativas como carrapicho-beiço-de-boi (*Desmodium tortuosum*) (JULIATTI et al., 2004).

3. Incremento de fósforo em níveis adequados à exigência nutricional da cultura da soja (CALDWELL et al., 2002);

4. Nos locais onde já foi constatada a ferrugem: semear, preferencialmente cultivares mais precoces, concentrando os plantios no início da época de semeadura indicada para cada região (EMBRAPA SOJA, 2002a, 2003; YORINORI, 2003; JULIATTI et al., 2004);

5. Aumentar a área de rotação com milho ou algodão (cerrados) (EMBRAPA SOJA, 2002a; YORINORI, 2003);

6. No caso de soja irrigada, efetuar a irrigação no meio do dia, de modo que reduza o período de molhamento foliar antes do período noturno (formação de orvalho) (CALDWELL et al. 2002).

7. Como a disponibilidade de cultivares resistentes é limitada, o manejo da cultura, por meio de épocas de semeadura e aplicação de defensivos, de uma forma racional, constitui um bom manejo da doença (GODOY; CANTERI, 2004).

8. Monitoramento constante da lavoura para determinar o momento de controle (AKINSANMI et al., 2001; CALDWELL et al., 2002; EMBRAPA SOJA, 2002, 2003; YORINORI, 2003, YORINORI et al., 2003; GODOY et al., 2003; UTIAMADA, 2003; JULIATTI et al., 2004)

9. Controle químico através da utilização de fungicidas dos grupos das estrubirulinas, triazóis e suas respectivas misturas (SINCLAIR; HARTMAN, 1999; AKINSANMI et al., 2001; KLOPPERS, 2002; CALDWELL et al., 2002; EMBRAPA SOJA, 2002, 2003; YORINORI, 2003; YORINORI et al., 2003; UTIAMADA, 2003; USDA-APHIS, 2004; JULIATTI et al., 2004; GODOY; CANTERI, 2004);

10. Resistência ou tolerância varietal quando disponível (Dr. Arlindo Harada, Informação pessoal, 2008).

Baseado nas informações sobre trabalhos realizados na Ásia, bem como no Brasil sobre a quebra de resistência, pode-se concluir que o fungo *P. pachyrhizi* tem grande capacidade de desenvolver novas raças e, portanto, torna-se arriscado investir em um único gene (GODOY; ARIAS, 2003). Segundo Costamilan et al., (2003) e Juliatti et al., (2004), os materiais; BRMS Bacuri, FT2001, KIS601, BRS13, CS201(Esplendor), FT2, FT3 e FT17 foram melhores, mais tolerantes à ferrugem da soja dentre os materiais testados, não apresentando reação do tipo RB (Reddish Brown). No entanto, esses materiais comportaram-se como suscetíveis na safra seguinte (EMBRAPA SOJA, 2007). Atualmente a Embrapa Soja e a TMG (Tropical Melhoramento e Genética) desenvolvem cultivares com tolerância a ferrugem que devem chegar ao mercado na próxima safra de 2009/10 (Dr. Arlindo Harada, Informação pessoal, 2008).

### 2.3.7 Controle Químico

A aplicação de fungicidas para o controle da ferrugem da soja, torna-se uma prática essencial e importante para manter o desenvolvimento da cultura e garantir a produtividade.

Diferentes fungicidas encontram-se registrados no Ministério da Agricultura, pecuária e Abastecimento (MAPA) para o controle da ferrugem Asiática da soja, com diferentes níveis de eficiência (TECNOLOGIAS, 2008). Godoy e Canteri (2004) avaliaram, sob condições de casa de vegetação, alguns fungicidas para o controle de ferrugem Asiática e, concluíram que os pertencentes aos grupos dos triazóis + estrubirulinas, individualmente ou em misturas, foram eficientes no controle da ferrugem.

Os fungicidas constituem-se numa ferramenta importante para minimizar os danos causados pelas doenças sendo uma medida emergencial, rápida e eficiente, porém o seu uso aumenta o custo de produção (REIS; BRESOLIM, 2004). Zambolim (2006) afirma que é importante levar em consideração o manejo de fungicidas no controle da ferrugem, uma vez que o número excessivo de aplicações

de produtos sistêmicos, além de aumentar o custo de produção, pode tornar a cultura antieconômica.

Pensando em evitar ou adiar o surgimento de resistência na população de *P. pachyrhizi*, deve-se sempre recomendar a mistura de diferentes mecanismos de ação para o controle da ferrugem, como por exemplo mistura dos grupos químicos das estrubilurinas e triazóis.

Na falta de cultivares resistentes, o controle químico torna-se essencial, porém, essa prática necessita de melhores estudos sobre o momento correto e modo de aplicação e eficiência dos fungicidas (YORINORI, 2003).

Segundo Juliatti et al., (2004), aplicações tardias de fungicidas, independentemente do princípio ativo e sua formulação comercial, têm resultado em insucesso de controle da doença, assim, níveis de infecção acima de 30% podem resultar na frustração de safra e no aumento do número de aplicações.

Portanto, o monitoramento constante das áreas para determinar o momento correto na aplicação dos fungicidas, constitui-se um fator de extrema importância e determinante no sucesso do controle da ferrugem da soja (AKINSANMI et al., 2001; EMBRAPA SOJA, 2002a, 2003; YORINORI, 2003; YORINORI et al., 2003; GODOY et al., 2003; CALDWELL et al., 2002; UTIAMADA, 2003; JULIATTI et al., 2004).

Reis et al. (2004) recomendam que no monitoramento deve-se proceder a coleta de plantas, em cada situação de lavoura, caminhando em zig-zag, coletando 20 plantas ao acaso; eliminar as ramificações e destacar apenas as folhas da haste principal (eliminar folhas mortas/senescidas por causas desconhecidas e as em expansão); proceder a avaliação da severidade nos folíolos centrais individuais; somar os valores de severidade de cada folíolo.

Inúmeras pesquisas têm sido desenvolvidas nesse âmbito, devendo dar destaque ao desenvolvimento de uma técnica diferente e inovadora, para auxiliar no monitoramento de doenças na cultura da soja, a exemplo do coletor de esporos, criado e desenvolvido pelo professor Seiji Igarashi, do Departamento de agronomia da Universidade Estadual de Londrina, que tem por objetivo principal detectar a presença de esporos do fungo *P. pachyrhizi* no ar, antes da infecção na planta. Instalado em alguns pontos da lavoura, são coletadas amostras periodicamente e, os resultados obtidos são cruzados com dados meteorológicos (chuva, temperatura)

e umidade relativa do ar. Daí em diante, a tomada de decisão para determinar o momento de aplicação fica embasada em tais resultados.

Mapeamento do Estado do Paraná, realizado pelo professor Dr. Marcelo G. Canteri, Docente do Departamento de Agronomia da Universidade Estadual de Londrina, permite a visualização dos locais de maior probabilidade (zonas de favorabilidade) de ocorrência da ferrugem asiática da soja.

Por causa do controle químico da ferrugem, 80% (14,4 milhões de ha) da área de soja do Brasil (18 milhões de ha) recebeu, em média, duas aplicações de fungicidas, ao custo de US\$ 40,00/ha, atingindo um total de US\$ 576,00 milhões. Portanto o custo com a ferrugem da soja, na safra de 2002/03 atingiu pelo menos US\$ 1,126 bilhão (YORINORI, 2003).

Segundo Melo Filho e Richietti (2004), a participação do custo do controle da ferrugem da soja no custo de produção no Estado do Mato Grosso, varia de 4,86 a 6,78% e o custo do tratamento corresponde ao valor de 1,44 a 2,04 sacas de soja/ha.

#### 2.4 QUANTIFICAÇÃO DE DOENÇAS

A quantificação de doenças, designada como fitopatometria, é indispensável em diferentes especialidades na fitopatologia. como aplicação em estudos de medidas para controle (ex. eficiência e momento ideal de aplicação de fungicida), determinação de curvas de progresso da doença, quantificação de danos e, obtenção do limiar de dano econômico. Sua importância tem sido comparada a da diagnose, pois de nada adianta conhecer o patógeno de uma enfermidade se não for possível quantificar os sintomas por ela causados (BERGAMIN FILHO; AMORIM, 1996).

## 2.5 QUANTIFICAÇÃO DE DANOS

Segundo Bergamin Filho et al. (1995) qualquer sintoma visível causado por um organismo nocivo (patógenos ou pragas) é, coletivamente chamado injúria. O dano é definido como qualquer redução na qualidade e/ou quantidade da produção causada por uma injúria. A redução em retorno financeiro por unidade de área devida à ação de organismos nocivos é chamada perda.

Tradicionalmente, para quantificar danos relaciona-se produtividade com severidade de doença ou AACPD (área abaixo da curva de progresso da doença). Entretanto, tem-se verificado a falta de transportabilidade desses modelos que, entre outras causas, é atribuído à fraca e indireta relação entre a produtividade e doença (BERGAMIN FILHO et al., 1997). Por outro lado Watson (1947) cita que produtividade é função do índice de área foliar (LAI), sendo mais bem relacionada com duração da área foliar (LAD).

Nesse conceito, Monteith (1977) introduziu idéias sobre a radiação interceptada pela copa das plantas (RI), estabelecendo sólidas relações entre produtividade e absorção da área foliar (LAA). Wagonner e Bergger (1987) adaptaram esses conceitos para o contexto da fitopatologia, propondo o índice de área foliar sadia (HAA). Essa metodologia, utilizada em trabalhos prévios com patossistemas do feijoeiro, mostram maior eficiência do que aquelas que se baseiam em severidade da doença (NUNES; BERGAMIN FILHO, 1996; BERGAMIN FILHO et al., 1997; CANTERI, 1998; CANTERI et. al., 1999). Umas não consideram a desfolha promovida pelo patógeno no hospedeiro e conseqüentemente acredita-se que a doença tenha sido subestimada (BERGAMIN FILHO et al., 1997). Tal fato pode explicar a falta de relação entre doença e produtividade.

O cálculo de dano invariavelmente implica na determinação da produtividade das parcelas como a diferença de produção entre parcelas com diferentes níveis de doença e parcelas sadias (BERGAMIN FILHO et al., 1995).

Vários são os modelos sugeridos para estimar danos: modelos de ponto crítico, de pontos múltiplos, integrais, de superfície resposta e sinecológicos. Todos são baseados na lógica incerta da relação injúria-dano (WAGONNER; BERGGER, 1987; BERGAMIN FILHO et al., 1996).

Wagonner e Bergger (1987) confirmando a abordagem tradicional, a qual se concentra apenas em medir o aumento e desenvolvimento das doenças, propuseram o emprego da duração da área foliar sadia (HAD-Healthy leaf area duration, em dias) e da absorção da radiação pela área foliar sadia (HAA – Healthy leaf area absorption, em MJ<sup>-2</sup>) para estimar danos provocados por doenças em plantas. Assim, é possível verificar o efeito da doença sobre a folhagem do hospedeiro, tendo estas sido consideradas eficientes na determinação de danos causados por doenças (BERGAMIN FILHO et al., 1997; CANTERI, 1998; KOGA, 2007).

De acordo com Canteri et al. (1999) existe a necessidade do estabelecimento de uma forma rápida de se determinar o índice de área foliar (LAI). Para viabilizar o uso de HAD e HAA no cálculo de danos, técnicas de sensoriamento remoto têm demonstrado potencial para execução de estimativas rápidas e precisas do LAI principalmente sob condições de campo.

Esta técnica apresenta algumas desvantagens, pois o aparelho faz a leitura indireta das doenças e, se houver falhas de plantio, problemas com população de plantas ou com ervas daninhas podem interferir nas leituras (CANTERI et al., 1999).

## 2.6 SENSORIAMENTO REMOTO

O interesse em obter informações sobre produção de alimentos aumentou de maneira significativa, uma vez que o consumo de alimento é sempre crescente, devido ao crescimento populacional mundial. Além disso é necessário obter informações precisas e em tempo hábil para otimizar e melhorar o processo produtivo como um todo.

A tecnologia de sensoriamento remoto apresenta grande potencial de utilização em agricultura (BERNARDES, 1985). Através desta técnica é possível obter informações sobre: estimativa de área plantada, produção agrícola, vigor vegetativo das culturas, quantificação de danos causados por pragas, patógenos, stresses (herbicidas, déficit hídrico, deficiência nutricional), fornecendo subsídios para o manejo agrícola em vários níveis. Essa prática envolve um conjunto de técnicas

capazes de obter informações de um objeto sem o contato físico entre o instrumento de medida e objeto (BERGAMIN FILHO et al., 1995; CANTERI et al., 1998). Com estas medidas, não-destrutivas ou não invasivas, um objeto específico pode ser analisado muitas vezes sem danificar a amostra (NILSSON, 1995).

Trabalhos recentes têm mostrado a possibilidade do emprego de medidas de refletância como método para avaliar a eficácia de tratamentos fungicidas (AQUINO et al., 1992; NUTTER JR.; LITTREL, 1996; CANTERI, 1998; CANTERI et al., 1999, KOGA, 2007).

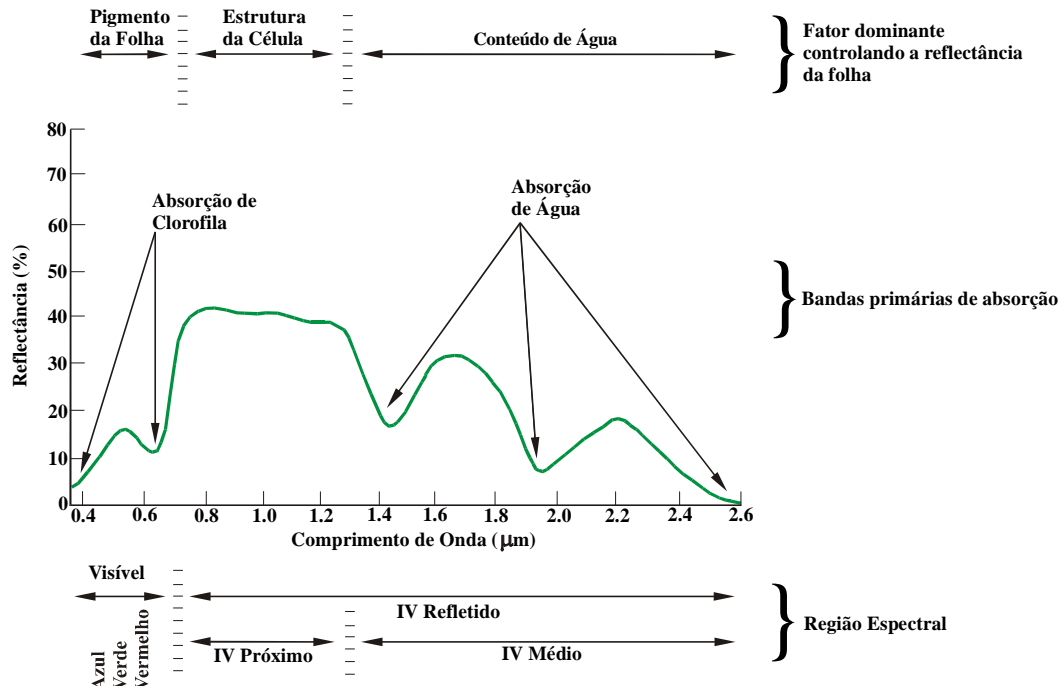
## 2.7. INTERAÇÃO RADIAÇÃO SOLAR X PLANTA

O estudo detalhado da interação de energia incidente com o dossel é realizado com base em análise das alterações que ambos apresentam como consequência desta interação (WEST et al., 2003). No caso da vegetação, a parte refletida, que pode ser medida por sensores, resulta da interação da radiação solar com as diversas camadas ou extratos de vegetação e do solo sobre o qual ela se desenvolveu (BAUER, 1975 apud CANTERI, 1998).

A região do espectro reflectivo (380 nm a 3000 nm), onde a energia detectada é basicamente originada da reflexão da energia solar por objetos na superfície terrestre, é a de maior interesse à fitopatologia. Pode ser dividido em três sub-regiões (VETORAZZI, 1992):

- a) Visível (380 ~ 720 nm);
- b) Infravermelho Próximo (IR) (720 ~ 1300 nm);
- c) Infravermelho Médio (1300 ~3000 nm);

A refletância de folhas pode ser estudada de acordo com duas regiões do espectro: região do visível e região do infravermelho (IV) (Figura 2).



**Figura 2** – Curva de refletância típica de uma folha verde

Fonte: [http://www.fgel.uerj.br/labgis/gis\\_atualizada/sensoriamento/espectro.html#resp\\_veg](http://www.fgel.uerj.br/labgis/gis_atualizada/sensoriamento/espectro.html#resp_veg)

Folhas saudáveis apresentam: a) baixa refletância nos comprimentos de onda na região do visível devido a forte absorção dos pigmentos fotoativos (clorofilas, antocianinas, carotenóides); b) alta refletância no IR (infravermelho) devido à grande quantidade difusa de ar na interface das células nos tecidos internos da folha. No geral, quanto mais lacunosa for a estrutura, maior será o espalhamento interno da radiação incidente e, conseqüentemente, maior também será a refletância; c) baixa refletância na região do infravermelho médio devido à absorção pela água, proteínas e outros constituintes carbonos (HARTFIELD; PINTER, 1990).

A região do espectro eletromagnético, entre 400 e 700 nanômetros, corresponde à radiação fotossinteticamente ativa (PAR), utilizada pelas plantas nos processos fisiológicos de acúmulo de biomassa (SALISBURG; ROSS, 1992). Esta utilização da radiação é o que justifica a grande absorção apresentada por uma folha individual nesta faixa de comprimento de onda (SALISBURG; ROSS, 1992). Entre 700 e 2000 nm há predomínio dos processos de reflexão e transmissão da radiação incidente, em função das reflexões múltiplas da radiação que ocorrem no mesófilo, sendo que a partir de 100 nm, aproximadamente, os valores das diferentes funções

da radiação nas bandas localizadas nos comprimentos de onda de 1100, 1400, 1900, 2700 nm (HATFIELD; PINTER, 1990).

Para avaliar o comportamento espectral de um dossel deve-se considerar, inicialmente, o comportamento observado em uma folha individual, atentando que, à medida que ocorram alterações na quantidade de biomassa foliar do dossel, as frações absorvida, transmitida e refletida da radiação eletromagnética também serão alteradas. A análise e a quantificação destas relações é o que possibilitou o monitoramento da vegetação através do sensoriamento remoto, bem como, a integração dos dados obtidos à partir dos sensores remotos com modelos matemáticos que permitem inferir sobre as propriedades biofísicas de um dossel (FONSECA et al., 2002).

O conhecimento das relações entre a energia eletromagnética e as culturas, aliado a outras técnicas, permite a utilização do sensoriamento remoto na agricultura. Normalmente o que se usa é a banda simples, ou seja, o registro das informações em banda espectral determinada. A disponibilidade de várias bandas espectrais permite a exploração mais eficiente das bandas espectrais dos alvos, em conjunto com os modos de operação dos diversos sistemas sensores (EIPHANIO et al., 1996). Quanto mais bandas espectrais dispuser um sistema sensor, mais informações ele fornecerá.

Têm surgido diversos tipos de agrupamentos de bandas, entre os quais se destacam as razões simples, normalizações, distâncias no espaço cartesiano e suas variantes; em geral tais índices realçam o componente espectral da vegetação e se correlacionam com parâmetros biofísicos da vegetação, como o índice de área foliar (Leaf Area Index) (EIPHANIO et al., 1996; CANTERI, 1998; FIDELIS FILHO et al., 2005).

De acordo com Fontana et al. (1998), os índices de vegetação representam uma técnica amplamente utilizada, na área de sensoriamento remoto, por indicarem a presença e condições da vegetação monitorada. Os autores informam que o êxito da utilização dos índices de vegetação se fundamenta no fato de que a produção primária de uma comunidade vegetal tem estreita relação com a energia solar absorvida, o que define o crescimento e o desenvolvimento dessa comunidade.

As medidas de índice de vegetação têm, em geral, associação direta com a quantidade de biomassa, o índice de área foliar, a cobertura do solo, a

interceptação da radiação solar e o rendimento agrícola (MILLARD et al., 1990; RUDORFF; BATISTA, 1990; ANTUNES et al., 1993; BERGAMIN FILHO et al., 1997; CANTERI, 1998; CANTERI et al., 1999).

Plantas podem responder a patógenos foliares de várias maneiras, incluindo manchas foliares sobre a epiderme, cloroses ou necroses de partes fotossintéticas das plantas, injúria nas folhas, desfolhas, nanismo, murchas, entre outras (GUAN; NUTTER JR., 2002a). Todos esses fatores são muito difíceis de se quantificar visualmente com aceitáveis graus de acurácia, precisão e velocidade.

Todas estas respostas das plantas estão ligadas diretamente ao valor e qualidade da radiação eletromagnética refletida a partir do dossel das plantas (NUTTER JR., 1990; NILSSON, 1995; NUTTER JR.; LITTREL, 1996; GUAN; NUTTER JR. 2002b). Dessa maneira, os instrumentos de sensoriamento remoto que medem e gravam as radiações eletromagnéticas proporcionam uma forma melhor para quantificar objetivamente os efeitos de doenças foliares em populações de hospedeiros do que a maioria dos tradicionais métodos de avaliação de doenças (NUTTER JR., 1989; NUTTER JR.; LITTREL, 1996). Outra vantagem potencial do sensoriamento remoto é que o dossel das plantas (unidades amostrais) pode ser avaliado todo o tempo, sem invadir e destruir as parcelas (MITCHEL et al., 1990; NILSSON, 1995; NUTTER JR. et al., 2002; CANTERI, 1998; CANTERI et al., 1999; KOGA, 2007).

## 2.8 USO DO RADIÔMETRO DE MÚLTIPLO ESPECTRO

O radiômetro de múltiplo espectro mede a intensidade da luz solar e a intensidade da luz refletida pelo dossel simultaneamente em nove bandas fixas, conforme Tabela 2. Na faixa de 810 nm vários autores encontraram correlação com massa foliar, índice de área foliar, severidade de doenças, desfolha e produtividade nas culturas de amendoim, feijão, soja e trigo (MILLARD et al., 1990; RUDORFF; BATISTA, 1990; ANTUNES et al., 1993; BERGAMIN FILHO et al., 1996; CANTERI, 1998; CANTERI et al., 1999; REIS; BRESOLIM, 2004).

**Tabela 2** – Características espectrais do radiômetro MSR 87

Comprimento de Onda	Range nm	Cor	Propriedades
R <sub>460</sub>	456-463	Azul	Absorbância pela Clorofila e água atmosférica
R <sub>4510</sub>	506-514	Verde	Baixa absorvância pela clorofila
R <sub>559</sub>	555-564	Verde	Baixa absorvância pela clorofila
R <sub>610</sub>	607-617	Vermelho	Alta absorvância pela clorofila
R <sub>661</sub>	655-666	Vermelho	Alta absorvância pela clorofila
R <sub>710</sub>	702-714	Vermelho	Alta absorvância pela clorofila
R <sub>760</sub>	746-774	Infravermelho	Alta reflectância pela interface água-ar no mesófilo foliar
R <sub>810</sub>	707-829	Infravermelho	Alta reflectância pela interface água-ar no mesófilo foliar
R <sub>935</sub>	790-1,080	Infravermelho	Alta reflectância pela interface água-ar no mesófilo foliar

**Fonte:** Steddom (2005).

O radiômetro de múltiplo espectro (Figuras 3 e 4) é composto por: Radiômetro, DLC ou conversor, terminal, suporte, cabos de conexão e softwares de operação. Possui filtros que conseguem medir comprimentos de onda que vão de 450 a 1720 nm.

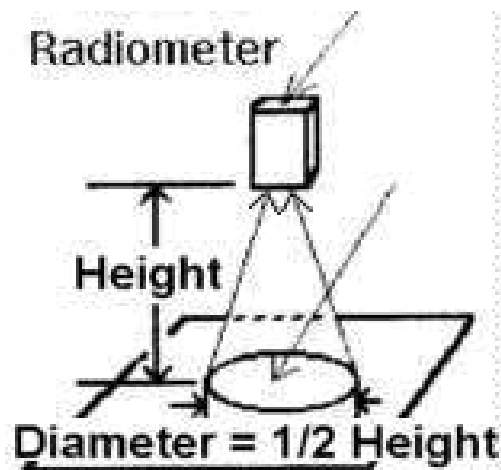
**Figura 3** – Radiômetro de múltiplo espectro em uso no campo

**Fonte:** Cropscan (2008).

No campo, o radiômetro é posicionado acima do dossel da cultura.

O diâmetro do campo avaliado é metade da altura que o aparelho é posicionado. (Figura 3). Ajustado, ele capta a radiação refletida pelo dossel da cultura e processa através de um software que transforma-os em dados em

voltagem e grava como % de refletância para cada banda selecionada. Esse programa também faz a média de várias sub-amostras realizadas dentro das parcelas.



**Figura 4** – Sistema de operação do radiômetro de múltiplo espectro  
**Fonte:** CropScan Inc (2008).

Em cada leitura, ao posicionar o aparelho na parcela, aperta-se a tecla “enter” e a leitura é realizada. Ao final de cada leitura, o radiômetro emite um som (bip), que indica que a leitura foi realizada. Ao término de 3, 4 ou 5 leituras por parcela o software calcula a média da parcela e armazena em seu banco de dados.

O software do radiômetro divide a intensidade da luz solar refletida e apresenta a porcentagem de luz solar refletida (0 a 100%) para cada banda. Esse é o valor de refletância. O sensor tem um campo de visão de 28 graus e deve trabalhar a uma altura média de 2,0m perpendicular ao dossel, dependendo da cultura em questão e faz leitura em uma área média de 0,5m de raio (NUTTER JR.; LITTREL, 1996; CANTERI, 1998; CANTERI et al., 1999).

O aparelho capta os percentuais de refletância em diversos comprimentos de onda, via sensores que transformaram a quantidade de radiação incidente e refletida em valores de voltagem, a qual é transformada posteriormente por um programa, em porcentagem de refletância (CANTERI, 1998; CANTERI et al., 1999).

De acordo com Steddom (2005), o operador do radiômetro de múltiplo espectro não exerce influência nas avaliações, tendo em vista que as avaliações realizadas diretamente pelo sensor do aparelho são obtidas de forma objetiva e padronizadas.

Hatfield e Pinter (1993) e Nilsson (1995) fizeram revisão sobre uso de radiômetro de múltiplo espectro na quantificação de doenças de plantas e afirmam ser uma importante ferramenta na quantificação de danos em várias culturas. Radiometria tem sido utilizada com êxito na quantificação de alternaria em tomate (RAIKES; BURPEE, 1998); ferrugem e antracnose em amendoim (NUTTER JR., 1989; CANTERI et al., 1999), manchas foliares em gramíneas (NUTTER JR. et al., 1993), brusone em arroz e manchas foliares em milho e sorgo (WU, 1989; NILSSON, 1991; RAIKES; BURPEE, 1998).

Nilsson (1991) e Reis et al. (2004) relatam excelente desempenho de radiômetro na quantificação de doenças em cereais, trigo e cevada, onde os dados apresentaram alta correlação com massa verde, GLAI (Crescimento e duração do índice de área foliar verde), crescimento das plantas e produtividade.

Raikes e Burpee (1998) conseguiram quantificar *Rhizoctoniose* e stresses em soja, através do uso de medidas de refletância. Os levantamentos realizados com auxílio do aparelho ficaram melhores, mais precisos e com maior correlação com biomassa e produtividade. Carter (1993) confirmando esses resultados, afirma que essa tecnologia é a melhor maneira para detectar stresse em plantas.

A desvantagem potencial do sensoriamento remoto é que medidas de refletância obtidas a partir do dossel da cultura podem ser afetadas por outros fatores além do stress causados por doenças (GUAN; NUTTER JR., 2001). São estes fatores: incidência da radiação, ângulo do sol, folhas orvalhadas, altura do sensor. Para minimizar estes efeitos dos fatores que não são doença, recomenda-se observar atentamente a fertilidade do solo, equilíbrio de nutrientes, controlar ervas daninhas nos ensaios, na realização dos levantamentos, fazer as determinações com a vegetação seca e sempre no mesmo horário, evitar avaliações com presença de nebulosidade e/ou horários antes das 10:00h da manhã e após as 15:00h da tarde (menor radiação), trabalhar com sensor à uma altura e ângulo constantes (CANTERI, 1998, CANTERI et al., 1999; GUAN; NUTTER JR., 2002b).

## 2.9 CORRELAÇÃO DE MEDIDAS DE REFLETÂNCIA COM CRESCIMENTO E DURAÇÃO DO ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR VERDE

A quantidade de tecido vegetal pode ser afetada por fatores bióticos e abióticos, inclusive doenças (HATFIELD; PINTER, 1990; NUTTER JR.; LITTREL, 1996) e sua duração apresenta correlação com produtividade (AQUINO et al., 1992; BERGAMIN FILHO et al., 1995; GAUNT, 1995; CANTERI, 1998; REIS et al., 2004). Portanto, avaliações de quantidade de doença podem correlacionar com a produtividade (GAUNT, 1995), mas o que realmente irá possibilitar a síntese de carboidratos e outros elementos para o enchimento de grãos é a duração do GLAI (green leaf area index) (JONHSON, 1987; BERGAMIN FILHO et al., 1995; GAUNT, 1995; WAGONNER; BERGGER, 1987).

Os índices computados pelas bandas do vermelho e infravermelho próximo têm sido relacionados com várias propriedades do dossel vegetativo, inclusive o índice de área foliar (LAI) e biomassa aérea. Os mais comuns desses índices são a razão entre o vermelho e infravermelho próximo (razão simples) e o índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) (FIDELIS FILHO et al., 2004).

Segundo Guan e Nutter Jr. (2002b); Bergamin et al. (1997); Canteri (1998); Canteri et al. (1999), avaliações com o uso de radiômetro de múltiespectro apresentam alta correlação com produtividade, métodos de avaliações visuais de doenças, GLAI e porcentagem de desfolha.

Leituras de refletância realizadas com radiômetro de múltiplo espectro na faixa de comprimento de onda próximo ao infravermelho (CARTER, 1993) apresentam uma boa correlação com GLAI e até mesmo com a área foliar fotossinteticamente ativa, presente por unidade de solo (WINGARD; RICHARDSON, 1990; CARTER, 1993; BERGAMIN FILHO et al., 1995; GAUNT, 1995; NILSSON, 1995).

Os estudos conduzem para a quantificação da relação entre avaliações com sensoriamento remoto e GLAI para uma série de culturas (AJAI et al., 1983; BEST; HARLAN, 1985; ALMIHANNA, 1990; BERGAMIN FILHO et al., 1997; CANTERI, 1998, CANTERI et al., 1999; REIS et al., 2004) e estes estudos têm demonstrado que medidas de refletância próxima ao infravermelho (720 – 850 nm) apresentam significativa correlação com GLAI.

De acordo com Fontana et al. (1998) os índices de vegetação representam uma técnica amplamente utilizada na área de sensoriamento remoto, por indicarem a presença e condições da vegetação monitorada e que o êxito da utilização das medidas de refletância se fundamenta no fato de que a produção primária de uma comunidade vegetal tem estreita relação com a energia solar absorvida, o que define o crescimento e desenvolvimento dessa comunidade.

As medidas de refletância têm, em geral, associação direta com a quantidade de biomassa, o índice de área foliar, a cobertura do solo, a interceptação da radiação solar e o rendimento agrícola (MILLARD et al., 1990; RUDORFF; BATISTA, 1990; ANTUNES et al., 1993; BERGAMIN FILHO et al., 1995; CANTERI, 1998; CANTERI et al., 1999).

Crescimento e duração do índice de área foliar verde (GLAI) da cultura determinam a porcentagem de incidência da radiação solar que será interceptada pelo dossel da cultura, assim influenciando a fotossíntese no dossel, translocação de fotossintatos e finalmente, produtividade (DALE et al., 1980; NUTTER JR.; LITTREL, 1996; CANTERI, 1998; CANTERI et al., 1999).

## 2.10 REFERÊNCIAS

AJAI, D.S. et al. Spectral assessment of leaf area index , chlorophyll content, and biomass of chickpea. **Photogramm. Eng. Remote Sens.**, v. 49, p. 1721-1727. 1983.

ALMEIDA, A. M. R. et al. **Relatório do levantamento de ferrugem da soja**. Londrina: EMBRAPA SOJA, 1980. 5 p.

ALMIHANNA, A. A. **Comparison of GLAI, dry weight, disease intensity and percentage reflectance as inputs for modeling yield losses in peanuts**. Athens: M. S. thesis. Univ. of Geórgia, 1990.

AQUINO, V. M. et al. Relationships among late leafspot, healthy leaf area duration, canopy reflectance, and yield of peanut. **Phytopathology**, v. 82, p. 546-552, 1992.

AKINSANMI, A.; LADIPO, J.; OYEKAN, P. First report of soybean rust (*Phakopsora pachyrhizi*) in Nigéria, 2001. **Plant Disease**, v. 85, n. 1, p. 97.

ANTUNES, M. A. H.; ASSAD, E. D.; BATISTA, G. T. Variação das Medidas Espectrais Tomadas com Espectrorradiômetro ao Longo do Ciclo de Crescimento de Soja (*Glycine max* (L.) Merrill). In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 7., 1993, Curitiba. **Anais...** Curitiba: INPE, 1993. v. 2, p. 01-09.

BERGAMIN FILHO, A. et al. Avaliação de danos causados por doenças de plantas. **Revisão Anual de Patologia de Plantas**, v. 3, p. 133-170, 1995.

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

BERGAMIN FILHO, A. et al. Angular leaf spot of Phaseolus beans: relationships between disease, healthy leaf area, and yield. **Phytopathology**, v. 87, p. 506-515. 1997.

BERNARDES, S. **Noções básicas sobre vegetação e sua interação com radiação solar**, 1985. Disponível em: [http://www.epamig.br/geosolos/MN\\_GEO/capitulo04.pdf](http://www.epamig.br/geosolos/MN_GEO/capitulo04.pdf). Acesso em: 05 mar. 2008.

BEST, R. G., HARLAN, J. C. Spectral estimation of green leaf area index of oats. **Remote Sens, Environ**, v. 17, p. 27-36, 1985.

BROMFIELD, K. R. **Soybean Rust**. St Paul: American Phytopathological Society, 1984. 64p. (Monograph, 11).

CABI. *Phakopsora pachyrhizi*. From **Crop Protection Compendium**. Available from CAB international, Wallingford, Oxon, 2001.

BROWN, J. S. Recent invasions of Australia and New Zealand by pathogenic fungo and counter measures. **Eppo Bull**, v. 1, n. 3, p. 417-428, 1984.

CALDWELL, P.; LAING, M.; JULIAN, W. **Soybean rust**: an important new disease on soybeans. 2002. Disponível em: [http://www.saspp.org/archived\\_articles/pat\\_caldwelljan2002.php](http://www.saspp.org/archived_articles/pat_caldwelljan2002.php). Acesso em: 05 abr. 2004.

CANTERI, M. G. **Uso de medidas da área foliar sadia e refletância no manejo da mancha angular do feijoeiro**. 1998. 81 f. Tese. (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, São Paulo, SP.

CANTERI, M. G. et al. Refletância e avaliação visual como indicadores de severidade de doenças foliares comparados à produtividade em amendoim. **Summa Phytopathologica**, v. 25, p. 228-233, 1999.

CANTERI, M. G. W. Aplicações da computação na fitopatologia. **Revisão Anual de Patologia de Plantas**, v. 12, p. 243-285, 2004.

CARTER, G. A. Responses of leaf spectral reflectance to plant stress. **American Journal of Botany**, v. 80, n. 3, p. 239-243, 1993.

COMPANIA NACIONAL DE ABASTACIMENTO. Disponível em: [http://www.conab.gov.br/conabweb/download/safra/estudo\\_safra.pdf](http://www.conab.gov.br/conabweb/download/safra/estudo_safra.pdf). Acesso em 06 set. 2008.

COSTAMILAN, L. M.; BERTAGNOLLI, P. F.; YORINORI, J. T. Avaliação de danos em soja causados por ferrugem asiática. In: RESULTADOS de pesquisa, 2001/2002 e 2002/2003. Passo Fundo: Embrapa Soja, 2003. p.172-173.

CROPSCAN INC. **Radiometer Company**. Disponível em: <http://www.cropscan.com/msr.html>. Acesso em: 05 fev. 2008.

DALE, R. F., COELHO, D. T., GALLO, K. P. Prediction of daily green leaf area index for corn. **Agron. J.**, v. 72, p. 999-1005, 1980.

DAVIS, J. M. Modeling the long-distance transport of plant pathogens in the atmosphere.. **Ann. Ver. Phytopath.**, v. 25, p. 169-188, 1987.

DEL PONTE, E. M. et al. Predicting severity of asian soybean rust epidemics with empirical rainfall models. **Phytopathology**, v. 96, n. 7, p. 797-803, 2006.

DESLANDES, J. Ferrugem de soja e de outras leguminosas causadas por *Phakopsora pachyrhizi* no estado de Minas Gerais. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 4, p. 337-339, 1979.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – CENTRO NACIONAL DE PESQUISA DE SOJA. **Contribuição ao desenvolvimento de linhagens de soja com resistência à patógenos**. Londrina: EMBRAPA Soja, 2002a. 43p. (Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 1)

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – CENTRO NACIONAL DE PESQUISA DE SOJA. **Ferrugem da soja**: *Phakopsora pachyrhizi* Sydow. Londrina: EMBRAPA Soja, 2002b.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – CENTRO NACIONAL DE PESQUISA DE SOJA. **Tecnologias de produção de soja da região central do Brasil 2003**, Londrina: EMBRAPA Soja, 2003.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – CENTRO NACIONAL DE PESQUISA DE SOJA. **A soja**. 2008. Disponível em: <[http://cnpso.embrapa.br/index.php?op\\_page=22&cod\\_pai=16](http://cnpso.embrapa.br/index.php?op_page=22&cod_pai=16)> Acesso em: 10 fev. 2008.

EPIPHANIO, J. C. N. et al. Índices de vegetação no sensoriamento remoto na cultura do feijão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 31, n. 6, p. 445-454, 1996.

FEHR, W. R.; CAVINESS, C. E. **Stages of soybean development**. Ames: Iowa State University, 1977. 12 p.

FIDELES FILHO, J. et al. Estimativa do índice de área foliar da cultura do amendoim através de dados de refletância nas bandas do visível e infravermelhos próximo. **Revista de Oleaginosas e Fibrosas**, v. 1, n. 1, p. 143-148, 2004.

FIDELES FILHO, J. Monitoramento da área foliar e biomassa do feijoeiro usando índice de vegetação por diferença normalizada. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 13, n. 2, p. 212-218, 2005.

FONSECA, E. L.; ROSA, L. M. G.; FONTANA, D. C. Caracterização espectral de *Paspalum notatum* em diferentes níveis de adubação nitrogenada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 3, p. 365-371, 2002.

FONTANA, D. C. BERLATO, M. A. BERGAMASCHI, A. Relação entre índice de vegetação global e condições hídricas no Rio Grande do Sul. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 33, n. 8, p. 1399-1405, 1998.

GASSEN, F.; BORGES, L. D. Importância econômica da soja. In: FORCELINI, C.A. et al. **Doenças na cultura da soja**. Passo Fundo: Ed. Série técnica, 2004. p. 11-20.

GAUNT, R. E. The relationship between plant disease severity and yield. **Annu. Rev. Phytopathol.** Palo Alto, v. 33, p. 119-144, 1995.

GODOY, C. V. et al. Análise temporal do progresso da ferrugem da soja em Londrina (PR). **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 28, p.386, ago. 2003.

GODOY, C. V.; ARIAS, A. A. Resistência Quebrada. **Revista Cultivar**, Pelotas, v. 5, n. 55, p. 28-29, ago. 2003.

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

GREEN, A. Soybean rust. Pests not known to occur in the United States or of limited distribution. **USDA-APHIS-PPQ**, n. 56. 1984.

GUAN, J. NUTTER JR., F. W. Factors that affect the quality and quantity of sunlight reflected from alfafa canopies. **Plant Disease**, v. 85, p. 865-874, 2001.

GUAN, J. NUTTER JR., F. W. Relationships between defoliation, dry weight, percentage reflectance, leaf-to-stem ratio, and green leaf area index in the alfafa leaf spot pathosystem. **Crop Science**, v. 42, p. 1264-1273, 2002a.

GUAN, J. NUTTER, JR. F. W. Relationships between Defoliation, leaf area index, canopy reflectance, and forage yield in the alfafa-leaf spot pathosystem. **Computer and Electronics in Agriculture**, v. 37, p. 97-112 ,2002b.

HATFIELD, J. L., PINTER JR., P. J. Remote sensing for crop protection: application to plant pathology. **Phytopathology**, v. 80, n. 1, p. 37-39, 1990.

JOHNSON, K. B. Defoliation, disease and growth: a reply. **Phytopathology**. St Paul, v. 77, p. 1495-1497, 1987.

JULIATTI, F. C.; POLIZEL, A. C.; JULIATTI, A. C.; **Manejo Integrado de Doenças na Cultura da soja**. Uberlândia: UFU, 2004. 327 p.

KOGA, L. J. Relação entre medidas de refletância e área foliar sadia, severidade da ferrugem Asiática e produtividade da cultura da soja. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 28, n. 4, p. 571-580, 2007.

KLOPPERS, R. **New Soybean disease in South Africa**. 2002. Disponível em:

[http://www.saspp.org/new\\_disease/soybean\\_2001.php](http://www.saspp.org/new_disease/soybean_2001.php). Acesso em: 02 dez. 2005.

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, n. 6, 1976.

MELLO FILHO, G. A.; RICHETTI, A. **Custo do controle químico da ferrugem asiática da soja**. Dourados: EMBRAPA Agropecuária Oeste, 2004. 04 p. (Comunicado Técnico, 83).

MILLARD, P. et al. Estimation of light interception and biomass of potato (*Solanum tuberosum* L.) from reflection in the red and near-infrared spectral bands. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 53, p. 19-31. 1990.

MITCHELL, A. R. et al. Spectral reflectance measurements of alfalfa under sheep grazing. **Agron. Journal**. v. 82, p. 1098-1103, 1990.

MONTEITH, J. L. Climate and the efficiency of crop production in Britain. **Philos. Trans. R. Soc. London.**, v. 281, p. 277-294, 1977.

NAGARAJAN, S.; SINGH, D.V. Long-distance dispersion of rust pathogens, **Ann. Rev. Phytopath.**, v. 28, p. 139-153, 1990.

NILSSON, H. E. Hand-held radiometry and IR thermography of plant diseases in field plot experiments. **Int. J. Remote Sensing**, v. 12, p. 545-547, 1991.

NILSSON, H.E. Remote sensing and image analysis in plant pathology. **Annual Reviews Phytopathology**, v. 15, p. 489-527. 1995.

NUNES, W. M. C.; BERGAMIN FILHO, A. Avaliação de danos causados pela antracnose (*Colletotrichum lindemuthianum*) do feijoeiro. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 21, n. 4, p. 436-442, 1996.

NUTTER JR., F. W. Detection and measurement of plant disease gradients in peanut with a multispectral radiometer. **Phytopathology**, v. 79, p. 958-963, 1989.

NUTTER JR., F. W. Remote sensing and image analysis for crop loss assessment. In: **International Rice Research Institute**. Philippines. p. 91-105. 324 p. 1990.

NUTTER, JR., F. W.; TENG, P. S.; ROYER, M. H. Terms and concept for yield, crop loss and disease thresholds. **Plant Disease**, v. 77, p. 211–215, 1993.

NUTTER JR., F. W., LITTRELL, R. H. Relationships between defoliation, canopy reflectance and pod yield in the peanut-late leafspot pathosystem. **Crop Protection**, v. 15, n. 2, p. 135-142, 1996.

NUTTER JR., F.W. et al. Quantifying alfafa yield losses caused by foliar diseases in Iowa, Ohio, Wisconsin, and Vermont. **Plant Disease**, v. 86, p. 269-277, 2002,

ONO, Y.; BURITICA, P.; HENNEN, J. Delimitation of *Phakopsora*, *Physopella*, and *Cerotelium* and their species on leguminosae. **Mycol. Res.**, v. 96, p. 825-850, 1992.

RAIKES, C., BURPEE, L. L. Use of multispectral radiometry for assessment of *Rhizoctonia* blight in creeping bentgrass. **Phytopathology**. v. 88, p. 446-449, 1998.

REIS, E. M. et al. Ferrugem da soja: critério indicador do momento para o controle econômico com fungicidas. In: FORCELINI, C.A. et al. **Doenças na cultura da soja**. Passo Fundo: Aldeia Norte, 2004. 178 p.

REIS, E. M.; BRESOLIN, A. C. R. Fatores climáticos e doenças de plantas. In: REIS, E. M. **Previsão de doenças de plantas**. [s.l.]: UPF editora, 2004. p. 23-45.

REIS, E. M., LEITES, A., FORCELINI, C. A. Relações entre intensidade da ferrugem da folha, refletância da radiação solar e rendimento de grãos na cultura do trigo Embrapa 16. **Fitopatologia Brasileira**, v. 31, p. 447-454, 2006.

RUDDORF, B. F. T., BATISTA, G. T. Yield estimation of sugarcane based on agrometeorological-spectral models. **Remote Sensing of Environment**, v. 33, p. 183-192, 1990.

SALISBURG, F. B.; ROSS, C. W. **Plant physiology**. [s.l.], Wadsworth Pub., 1992. 682p.

SHIN, D. C. TSCHANZ, A. T. Studies on physiological reactions of soybean cultivars tolerant and susceptible to rust (*Phakopsora pachyrhizi*), 1986. **Korean Journal of Crop Science**, v. 3, n. 4, p. 440-446.

SINCLAIR, J. B. HARTMAN, G. L. Proceedings of the soybean rust Workshop. **National Soybean Research Laboratory**, Publication n.º 1, 1996.

SINCLAIR, J. B.; HARTMAN, G. L. Soybean rust. In: HARTMAN, G.L.; SINCLAIR, J.B.; RUPE, J.C. (ed.). **Compendium of Soybean Diseases**. 4. ed. St. Paul: The American Phytopathological Society Press, 1999. p. 25-26.

STEDDOM, K. Comparison of visual and multispectral radiometric disease evaluations of cercospora leaf spot of sugar beet. **Plant Disease**. v. 89, n. 2, p. 153-158, 2005.

TECNOLOGIAS DE PRODUÇÃO. Paraná. **Tecnologias de produção de soja**: 2007. Londrina: Embrapa Soja, 2006. 217p.

TECNOLOGIAS DE PRODUÇÃO. Região Central do Brasil. **Tecnologias de produção de soja**: 2008. Rio Verde: Embrapa Soja: Fundação Meridional, 2008. 98 p.

THURSTON, W. H. The rust of Minas Gerais, Brazil based on collections of A.S. Muller. **Mycology**, v. 32, p. 290-309, 1940.

**USDA APHIS**: Disponível em: <http://www.aphis.usda.gov/ppq/ep/soybeanrust/>  
Acesso em: 23 maio 2004.

UTIAMADA, C. M.; ROIM, F. B.; MUTTA, F. T. T. Controle químico da ferrugem da soja (*Phakopsora pachyrhizi*). **Fitopatologia Brasileira**. v. 2, supl., ago. 2003.

VALE, R. do.; ZAMBOLIM, L.; CHAVES, G. M. Efeito do binômio temperatura – duração do molhamento foliar sobre a infecção por *Phakopsora pachyrhizi* em soja. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, DF, v. 15, p. 03, set. 1990.

YORINORI, J.T. et al. Evolução da Ferrugem da Soja (*Phakopsora pachyrhizi*) no Brasil, de 2001 a 2003. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 28, p.210, ago. 2003.

YORINORI, J.T. Ferrugem da soja: ocorrência no Brasil e estratégias de manejo. In: **DOENÇAS na cultura da soja**. Passo Fundo Aldeia Norte Editora, 2003. p.77-84.

YORINORI, J. T; NUNES JUNIOR, J.; LAZZAROTTO, J. J. **Ferrugem “Asiática” da soja no Brasil**: evolução, importância econômica e controle. Londrina: Embrapa Soja, 2004. (Documentos / Embrapa Soja, n. 247), 36 p.

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

WATSON, D. J. Comparative physiological studies on the growth of field crops. 1. Variation in net assimilation rate and leaf area between species and varieties, and within and between years. **Annals of Botany**. v. 11, p. 41-76, 1947.

WEST, J. S. et al. The potential of optical canopy measurement for targeted control of field crop diseases. **Annual Reviews Phytopathology**., v. 41, p. 593-614, 2003.

WIEGARD, C. L. et al. Vegetation indices in crop assessments. **Remote Sensing. Environ.**, v. 35, p. 105-119, 1991.

WU, W. S. The application of remote sensing to plant disease survey in Taiwan. **Plant Protection**., Bull. v. 31, p. 151-162, 1989.

ZAMBOLIM, L. **Ferrugem asiática da soja**. Viçosa:Universidade Federal de Viçosa, 2006. 140p.

### 3 ARTIGO 1: REFLETÂNCIA E AVALIAÇÃO VISUAL COMO INDICADORES DE SEVERIDADE DA FERRUGEM ASIÁTICA, COMPARADOS À PRODUTIVIDADE EM SOJA

#### 3.1 RESUMO

Os objetivos deste trabalho foram comparar medidas de refletância com métodos de avaliações visuais no patossistema ferrugem asiática da soja para quantificar sua intensidade em diferentes épocas e sua correlação com a produtividade em duas épocas de semeadura. Os experimentos foram conduzidos no município de Londrina, PR, na safra de 2006/07. O ensaio foi repetido em duas épocas de semeadura, a fim de se obter intensidade variável da doença em diferentes estádios fenológicos da cultura. O delineamento experimental foi de blocos ao acaso com 11 tratamentos e quatro repetições e, cada parcela experimental foi constituída de cinco linhas de cinco metros de comprimento. A severidade da doença foi estimada em intervalos semanais, a partir do surgimento dos primeiros sintomas. As leituras de refletância foram realizadas com radiômetro de múltiplo espectro, em oito comprimentos de onda (460 a 810 nm). Avaliações visuais foram realizadas semanalmente com auxílio de escala diagramática e escala de desfolha. Foi calculada a área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD) as integrais das medidas de refletância em 810 nm (AACR<sub>810</sub>). As medidas de refletância (R<sub>810</sub>) apresentaram correlação com a produtividade  $R^2 = 76,7\%$  e com a desfolha ( $R^2 = 90\%$ ). Comparadas às medidas de avaliação visual da ferrugem asiática, o sensoriamento remoto mostrou-se um método, rápido, prático e preciso, apresentando baixos níveis de CV% (CV=4 e 5,2) enquanto o tradicional método de avaliação visual mostrou valores superiores (CV= 17,59 e 23,1). A semeadura tardia (época 2) apresentou maior desenvolvimento da ferrugem asiática da soja e maiores danos na produtividade (78,8%). O sensoriamento remoto apresentou potencial para utilização na quantificação de danos causados pela ferrugem asiática da soja.

**Palavras-Chave:** Medidas de refletância. *Phakopsora pachyrhizi*. Sensoriamento remoto. Radiômetro.

#### Abstract

The objectives of this study were to compare measures of reflectance with methods of visual assessments in patossistema of Asian soybean rust to quantify damage at different times and its correlation with the yield on two sowing dates. The experiments were conducted in the municipality of Londrina, PR, in the 2006/07 season. The test was repeated in two sowing dates in order to obtain variable intensity of the disease in different phenological stages of culture. The experimental design was randomized blocks with 11 treatments and four repetitions, and each experimental plot was composed of five rows of six meters in length. To achieve gradient of disease treatments were used in different seasons for applications of fungicide in the BRS 133. The severity of the disease was estimated at weekly

intervals, from the appearance of first symptoms. The readings were made of reflectance radiometer with a multiple-spectrum in eight a wavelength (460 to 810 nm). Visual assessments were performed weekly with the help of scale and scale diagrammatic of defoliation. It calculated the area under the curve of progress of the disease (AUDPC) the full measures of reflectance at 810 nm ( $AAR_{810}$ ). Measures of reflectance ( $R_{810}$ ) showed correlation with the yield  $R_2 = 76.7\%$  and the defoliation ( $R_2 = 90\%$ ). Compared to measures of visual assessment of Asian rust, the remote sensing method proved to be a quick, convenient and accurate, showing low levels of VC% ( $CV = 4; 5,2$ ) while the traditional method of visual assessment showed higher values ( $CV = 17.59; 23.1$ ). The late sowing (Season 2) presented the further development of Asian soybean rust damage in productivity and higher (78.8%). The remote sensing showed potential for use in the quantification of damage caused by the Asian soybean rust.

**Key words:** Relectance's measures; *Phakopsora pachyrhizi*; remote sensi 34 radiometer.

### 3.2 INTRODUÇÃO

A soja (*Glycine max* (L.) Merrill) constitui-se em uma importante cultura na economia brasileira, representando cerca de 6,77% do total das exportações. Na safra 2006/07 apresentou produtividade média de 2.823 kg.ha<sup>-1</sup>. Dentre os principais fatores limitantes da produtividade estão as doenças (EMBRAPA SOJA, 2007a).

A ferrugem asiática causada por *Phakopsora pachyrhizi* Syd. & P. Syd. destaca-se com uma das principais doenças que incidem sobre a cultura da soja. Desde a sua constatação no Brasil em 2001, têm-se mostrada altamente agressiva e com grande potencial de expansão, provocando reduções na produtividade de até 80% (YORINORI et al., 2004). Segundo Yang et al. (1991) plantas severamente afetadas apresentam desfolha precoce e comprometimento da formação, enchimento de vagens e peso final do grão.

A redução da produtividade está diretamente ligada ao estágio de desenvolvimento da planta em que a doença teve início e, também, o grau de intensidade. Ataques durante o florescimento e no período de enchimento das vagens reduzem mais severamente a produtividade (HARTMAN et al., 1991; KAWUKI et al., 2003).

A principal medida de controle é a utilização de fungicidas, principalmente, quando a doença já está instalada (YORINORI et al., 2004). Vários fungicidas são recomendados para o controle da ferrugem asiática, com diferentes

níveis de eficiência, sendo as misturas prontas de triazol + estrubirulinas os produtos mais eficientes para seu controle (EMBRAPA SOJA, 2007b). No entanto sabe-se que existe diferença na eficiência de controle entre as misturas (TECNOLOGIAS, 2008).

Segundo Yorinori et al. (2004) o emprego de cultivares precoces e a concentração de semeaduras no início da época indicada para cada região são práticas de manejo recomendadas para aumentar a eficiência de controle da doença e reduzir os danos na produtividade.

Uma medida de controle legislativa (vazio sanitário) implementada desde 2006 proporcionou redução significativa do inóculo inicial em várias áreas do país, especialmente região dos Cerrados (GO, MT, MG). Apesar disso, em algumas regiões onde apresentavam clima favorável e grande quantidade de inóculo inicial do fungo, exigiram várias pulverizações de fungicida para o controle da ferrugem.

Dessa maneira, o estudo e pesquisa de novas técnicas/metodologias que contribuam para melhor quantificação de doenças, que possam auxiliar na tomada de decisão quanto ao momento de controle, monitoramento climático e favorabilidade para ocorrência da doença são de extrema importância para reduzir perdas, custos de produção e possibilitar o uso racional consciente de fungicidas.

A quantificação de doenças é uma prática geralmente laboriosa e subjetiva, dependendo do treinamento e acuidade visual de cada avaliador (CANTERI, 1998; CANTERI et al., 1999). No caso da ferrugem da soja, têm-se como importante ferramenta, a escala diagramática para estimar a severidade da doença (GODOY et al., 2006), que considera diferentes graus de severidade nas folhas, possibilitando avaliações mais seguras e padronizadas, porém, trabalhosas e demoradas.

Medidas de refletância do dossel das culturas, através do uso de radiômetro de múltiplo espectro, têm sido usadas com êxito na determinação de injúria causada por patógenos, pragas, herbicidas, compactação de solo, deficiências nutricionais, etc. Trabalhos recentes no Brasil e no exterior apresentam resultados convincentes com o uso dessa tecnologia nas culturas de feijão, beterraba, soja, amendoim, entre outras (BERGAMIN FILHO et al., 1995; CANTERI, 1998; CANTERI et al., 1999; NUTTER et al., 2002).

O uso do sensoriamento remoto na agricultura tem apresentado sucesso nas diferentes áreas (Fitopatologia, Entomologia, Agricultura de precisão,

Fertilidade de solos, Herbologia, Fitotecnia, etc) pois viabiliza captura de dados com exatidão, rapidez e praticidade. No caso específico da quantificação de danos causadas por doenças, as medidas de refletância constituem o principal exemplo da aplicação destas técnicas na fitopatologia (SILVA et al., 2000; CANTERI et al., 2004).

Os objetivos deste trabalho foram comparar medidas de refletância através do uso do radiômetro de múltiplo espectro com medidas visuais de avaliação de intensidade no patossistema ferrugem asiática da soja e sua correlação com a produtividade em duas épocas de plantio.

### 3.3 MATERIAL E MÉTODOS

Foram instalados dois experimentos na área da Fazenda Escola da Universidade Estadual de Londrina, localizada a 22° 41' 30" de latitude Sul 47° 38' 30" latitude Oeste e 546m de altitude, no município de Londrina, PR, no ano agrícola 2006/07. A cultivar BRS 133 foi semeada em duas épocas, sendo a primeira época (E<sub>1</sub>) em 29/11/2006 e a segunda (E<sub>2</sub>) em 25/12/2006 em ambas foi adaptado o espaçamento de 0,45 m entre linhas e estande final de 200.000 plantas/ha. Foi realizado o controle químico de pragas e ervas daninhas para não interferência nos resultados.

O delineamento experimental utilizado foi de blocos ao acaso com onze tratamentos e quatro repetições.

As parcelas tinham dimensão de 2,5 m de largura por 5 m de comprimento, totalizando uma área útil de 12,5 m<sup>2</sup>, sendo constituídas por cinco linhas de plantas de soja. Foram consideradas as duas linhas centrais da parcela para as avaliações e colheita dos experimentos (área colhida de 5 m<sup>2</sup>), descontando-se 0,50m de bordadura em cada extremidade da parcela.

Foram realizadas aplicações do fungicida piraclostrobina + epoxiconazol (66,5 + 25 gramas de ingrediente ativo por hectare), sendo a primeira aplicação em R<sub>1</sub> e as demais em diferentes estádios de desenvolvimento da cultura, em ambos os experimentos (épocas 01 e 02), conforme a tabela 3.

Onde o tratamento T<sub>1</sub>, é a testemunha sem aplicação e T<sub>2</sub> o controle adotou-se o tratamento com maior número de aplicações.

**Tabela 3** – Número e época das aplicações do fungicida piraclostobina + epoxiconazol adotadas para controle da ferrugem asiática da soja, nas duas épocas de semeadura, safra 2006/07, Londrina – PR.

Tratamentos	Estádio de aplicação*	Nº. Aplicações
1 - T <sub>1</sub> (Testemunha)	-	-
2 - T <sub>2</sub> (Controle)	R <sub>1</sub> , R <sub>1</sub> +14, R <sub>1</sub> +28, R <sub>1</sub> +42	4
3 - T <sub>3</sub>	R <sub>1</sub> , R <sub>1</sub> +14, R <sub>1</sub> +28	3
4 - T <sub>4</sub>	R <sub>1</sub> , R <sub>1</sub> +21, R <sub>1</sub> +42	3
5 - T <sub>5</sub>	R <sub>1</sub> , R <sub>1</sub> +21	2
6 - T <sub>6</sub>	R <sub>1</sub> , R <sub>1</sub> +28	2
7 - T <sub>7</sub>	R <sub>3</sub> , R <sub>3</sub> +14, R <sub>3</sub> +28	3
8 - T <sub>8</sub>	R <sub>3</sub> , R <sub>3</sub> +14	2
9 - T <sub>9</sub>	R <sub>3</sub> , R <sub>3</sub> +21	2
10 - T <sub>10</sub>	R <sub>3</sub> , R <sub>3</sub> +28	2
11 - T <sub>11</sub>	R <sub>4</sub>	1

\*Estádio fenológico em que foi realizada aplicação de fungicida de acordo com Fehr e Caviness, (1977);

As aplicações do fungicida foram realizadas utilizando-se pulverizador costal pressurizado por CO<sub>2</sub>, contendo barra de 2,0 metros, quatro pontas leque XR 11002, espaçadas de 50 cm. O volume utilizado foi de 200 l/ha, com pressão de 30 libras/pol<sup>2</sup>.

Para a identificação dos estádios fenológicos durante o desenvolvimento da cultura, utilizou-se a escala desenvolvida e apresentada pela Embrapa Soja (TECNOLOGIAS, 2008).

A cultivar utilizada nos ensaios, considerada suscetível à ferrugem asiática e cultivada nas principais regiões produtoras de soja no país foi a BRS 133, de crescimento determinado, que está incluída no grupo de maturação semi-precoce, com ciclo variando de 116 a 125 dias.

As aplicações foram realizadas, preferencialmente nos períodos mais frescos do dia, na parte da manhã, até as 10:00 h ou no período da tarde, após as 17:00 h, dependendo das condições climáticas. Foram consideradas como condições mínimas para aplicação a umidade relativa do ar em 65%, temperatura máxima de 32 °C e velocidade do vento não superior a 4,0 km/h.

Os dados climáticos; umidade relativa do ar (UR%), temperatura (°C), velocidade do vento (km/h) foram obtidos com apoio de termo higrômetro e anemômetro.

Os dados climáticos correspondentes aos períodos de experimentação foram obtidos junto à estação meteorológica pertencente ao Instituto Agrônômico do Paraná (IAPAR).

As avaliações de severidade da doença foram realizadas com auxílio da escala diagramática para estimar a intensidade de ferrugem da soja desenvolvida por Godoy et al. (2006).

Foram selecionados quatro pontos em cada uma das parcelas, onde foram avaliados na haste principal da planta, 12 trifólios dos terços inferior, médio e superior, respectivamente, nas segundas e terceiras linhas de plantio, no começo e final das parcelas, descontando-se 0,5m de bordadura.

As avaliações iniciaram a partir do aparecimento dos primeiros sintomas nas folhas e seguiram-se em intervalos semanais. Com os dados de severidades obtidos nos quatro pontos de cada parcela, efetuou-se a média aritmética desses valores, obtendo-se a severidade média de cada tratamento. O percentual de controle foi, para cada tratamento, calculado em relação a testemunha não tratada.

Os valores de AACPD foram calculados para cada parcela por integração trapezoidal (Shaner e Finney, 1987):

$$\text{AACPD} = \sum_{i=1}^{n-1} [(X_i + X_{i+1}) / 2](t_{i+1} - t_i)$$

Onde  $X$  é a severidade média da doença por parcela (dada em proporção),  $X_i = X(t_i)$ ,  $n$  é o número de avaliações  $n$  é o número de avaliações e  $(t_{i+1} - t_i)$  é o intervalo entre duas avaliações consecutivas.

A desfolha foi avaliada no estádio  $R_6$  (época 01) e  $R_5$  (época 02), quando a testemunha apresentava em média 90% de desfolha. A avaliação foi realizada com auxílio da escala diagramática para desfolha desenvolvida por Canteri et al. (2006).

As avaliações de refletância foram realizadas com um radiômetro de múltiplo espectro portátil, marca CropScan, Inc., modelo MSR 87, que armazenou o percentual de luz difusa refletida pelo dossel no comprimento de onda próximo ao infravermelho (810 nm).

O sensor foi montado em uma barra conectado ao armazenador de dados (“data logger”), que automaticamente gravou os dados de todos os canais. Durante a leitura, a barra permanecia em um ângulo de 45°, com o sensor a uma altura de 2,00 m do solo. Foram feitas três leituras por parcela; e a área medida foi a de um círculo com diâmetro igual à metade da altura do sensor, centralizado no intervalo entre as duas linhas mais internas da parcela (CANTERI, 1998).

As leituras foram realizadas com intervalos de 7-10 dias, em ambos os experimentos, iniciando-se no estádio R<sub>3</sub> e seguindo-se até a desfolha de 90% da testemunha.

Para o comprimento de onda de 810 nm (R<sub>810</sub>), foram calculados por integração trapezoidal os valores da área sob a curva das medidas de refletância (AAR) para cada parcela, pela fórmula:

$$AAR_{810} = \sum_{i=1}^{n-1} [(R_i + R_{i+1}) / 2] (t_{i+1} - t_i)$$

onde  $R$  é a medida de refletância em cada comprimento de onda (porcentagem),  $R_i = R(t_i)$ ,  $n$  é o número de avaliações e  $(t_{i+1} - t_i)$  é o intervalo entre duas avaliações consecutivas.

Foram avaliadas 50 plantas das duas linhas centrais de cada parcela e estimada sua produtividade em kg.ha<sup>-1</sup> e o peso de mil grãos. A umidade dos grãos foi corrigida para 13%.

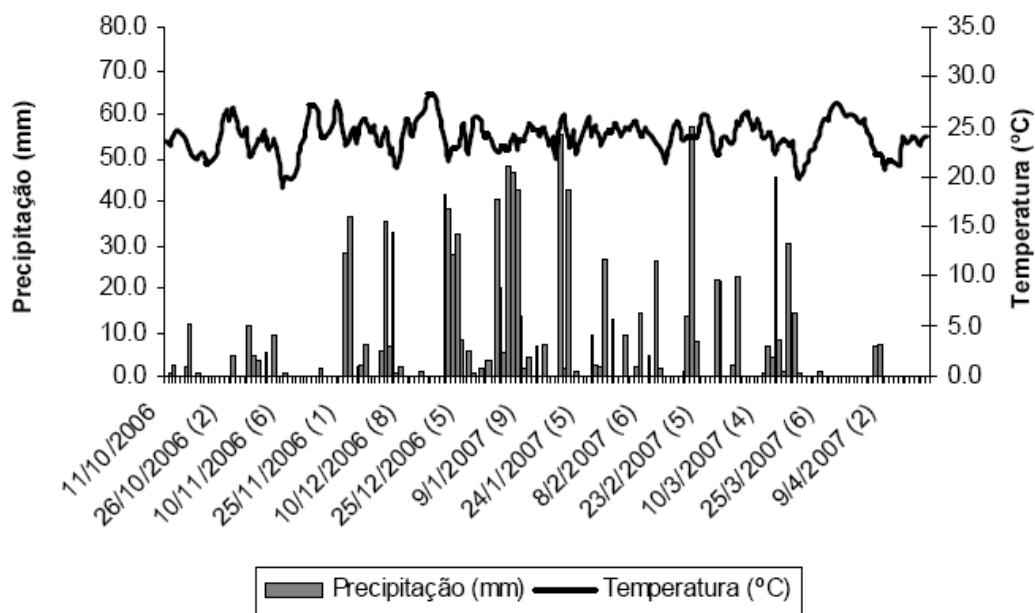
Os dados foram submetidos à análise de variância pelo teste de F e as diferenças entre as médias, quando significativas, foram comparadas pelo teste de Scott Knott, ao nível de 5% de probabilidade, usando-se o programa SASM-Agri (CANTERI et al., 2001). As relações entre produtividade e AACPD, produtividade e severidade, produtividade e AAR<sub>810</sub>, produtividade e medidas de refletância e medidas de refletância e severidade foram examinadas por regressão linear, utilizando-se o programa Excel.

### 3.4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A precipitação diária e a temperatura média do ar, verificadas durante a dos experimentos (E<sub>1</sub> e E<sub>2</sub>) são apresentados na na Figura 3.4.1. No período de outubro de 2006 a abril de 2007 a temperatura mínima variou de 18,8 a

19,7 °C e a máxima ficou entre 27,4 e 28,3 °C. A temperatura média foi de 24,1 °C na época 02 e 24,0°C na época três.

De acordo com Embrapa Soja (2006) a soja necessita de temperaturas entre 20 – 30 °C para seu ideal desenvolvimento e necessita em torno de 7 a 8mm de água por dia durante a fase de enchimento de grãos e a necessidade total para o máximo rendimento varia entre 450 e 800 mm por ciclo. Durante a condução dos experimentos verificou-se boa distribuição do regime de chuvas.



**Figura 3.4.1** – Temperatura média, precipitação média registrados na safra 2006/07 para a região de Londrina, PR. Número entre parênteses indica o número de dias de chuva no período anterior.

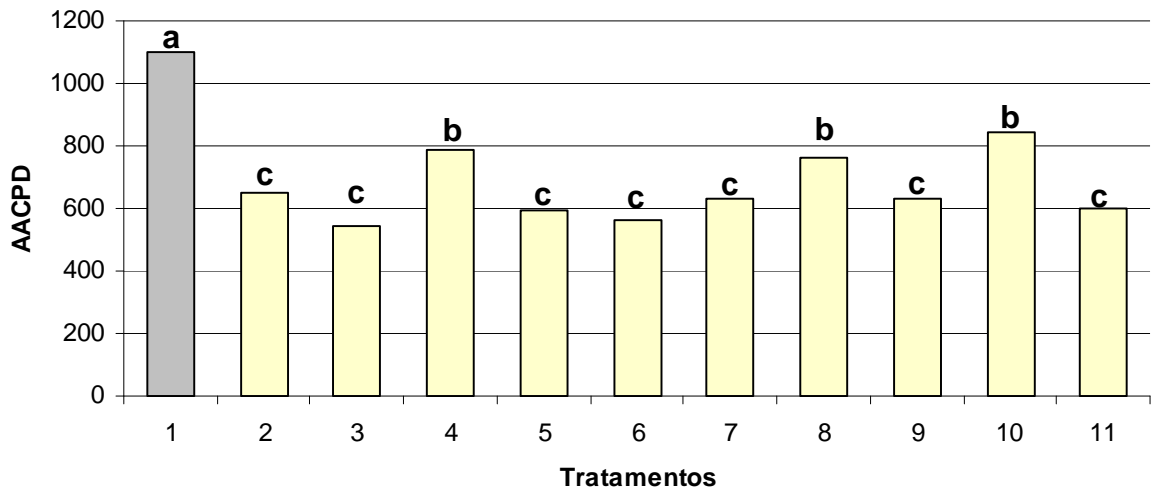
Os primeiros sintomas no experimento da época 1 ( $E_1$ ) foram observados aos 54 DAE, estágio  $R_2$ . Na época 2 ( $E_2$ ) a ferrugem foi constatada aos 42 DAE ( $V_7$ ). O experimento da época 01 simulou o plantio realizado pela maioria dos produtores da região, enquanto o experimento da época 2 representou aqueles plantios mais tardios.

Observou-se que ao passo que atras-se o plantio de soja, há uma tendência de ocorrência da doença nos estádios iniciais de desenvolvimento da cultura, devido ao elevado inóculo inicial e as condições climáticas favoráveis a sobrevivência e multiplicação do fungo. De acordo com Marchetti et al. (1976) a

ferrugem necessita de um período mínimo de seis horas de molhamento foliar numa faixa de temperatura de 20 a 25 °C para iniciar o processo de infecção.

### Experimento 1 – Época 1

Analisando-se dados de AACPD (área abaixo da curva e progresso da doença) observa-se que a testemunha sem aplicação de fungicida mostrou uma evolução significativamente superior aos demais tratamentos (Figura 5).



**Figura 5** – Área abaixo da curva e progresso da ferrugem asiática da soja na cultivar BRS 133 em experimento da Época 1, safra 2006/07 (E<sub>1</sub>). Londrina, PR. Colunas seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Scott Knott ao nível de 5% de probabilidade.

Todos os tratamentos foram significativamente superiores a testemunha apresentando menores valores de progresso da ferrugem. Os melhores tratamentos foram T2, T3, T5 a T8, T9 e T11 (Figura 5). Os dados demonstram que tratamentos com apenas uma aplicação de fungicida no estágio R<sub>4</sub> foi suficiente para o controle da doença (T11). Esses resultados devem-se à baixa pressão inicial da doença no estágio R<sub>2</sub> e sua baixa evolução até o estágio R<sub>5</sub>. Resultados similares são apresentados por órgãos oficiais de pesquisa, onde, quando em situações de

menor pressão inicial, o número de aplicações não diferencia-se de maneira significativa (EMBRAPA SOJA, 2007a; TECNOLOGIAS, 2008).

De acordo com Juliatti et al. (2004); Embrapa Soja, (2007a) lavouras semadas tardiamente tendem a sofrer com maior quantidade de inóculo, enquanto que, lavouras semeadas na época recomendada (primeiros plantios) estão sujeitos a menor carga de inóculo, tendo em vista que o patógeno utiliza-se dessas lavouras para sua multiplicação e dispersão.

As avaliações realizadas com o radiômetro de múltiplo espectro reproduzem o efeito da ferrugem asiática observado no campo. A testemunha apresentou curva de progresso da doença mais acentuada, maior desfolha, conseqüentemente menor área foliar verde e menor quantidade de folhas na parcela.

Quanto maiores são os valores de refletância, mais área verde e folhas temos nas parcelas.

De acordo com Millard et al. (1990), Canteri (1998) e Canteri et al. (1999) as medidas de refletância têm em geral, associação direta com a quantidade de biomassa, o índice de área foliar, a cobertura do solo, a interceptação da radiação solar e o rendimento agrícola.

Não foi possível uma separação maior entre os tratamentos devido ao aparecimento da doença no estágio  $R_2$  apresentando baixo índice de severidade (0,08%) e seu progresso ser lento inicialmente e após o estágio  $R_{5.1}$  apresentar maior evolução (28,54%).

Analisando-se os resultados de produtividade (tabela 4), pode-se observar que os tratamentos T3, T4, T5 e T6 foram superiores a testemunha e aos demais tratamentos apresentando respectivamente 29, 35, 34 e 22 sacas de  $60\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  a mais que a testemunha.

**Tabela 4** – Área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD), área abaixo da curva de refletância (AAR), desfolha, produtividade e peso de mil grãos (Pmg) observados para os tratamentos com diferentes épocas de início e número de aplicações de fungicida para o controle de ferrugem asiática (*P. pachyrhizi*) (E<sub>1</sub>) no ano agrícola de 2006/2007, Londrina, PR.

Tratamentos	Severidade		Refletância	Produtividade	Pmg**
	AACPD	Desfolha %	AAR <sub>810</sub>	(kg.ha <sup>-1</sup> )	(g)
1 - Testemunha	1101,12 a	92,75 a	1349,78 a	2255,09 b	112,0 b
2 - R <sub>1</sub> , R <sub>1</sub> +14, R <sub>1</sub> +28, R <sub>1</sub> +42	652,91 c	42,00 d	2248,75 b	3431,89 b	145,0 a
3 - R <sub>1</sub> , R <sub>1</sub> +14, R <sub>1</sub> +28	540,83 c	48,25 d	2323,49 b	4007,55 a	145,0 a
4 - R <sub>1</sub> , R <sub>1</sub> +21, R <sub>1</sub> +42	784,66 b	55,50 c	2415,09 b	4410,94 a	138,4 a
5 - R <sub>1</sub> , R <sub>1</sub> +21	593,27 c	53,00 c	2273,26 b	4325,38 a	158,0 a
6 - R <sub>1</sub> , R <sub>1</sub> +28	565,17 c	69,50 b	2302,77 b	3597,75 a	140,7 a
7 - R <sub>3</sub> , R <sub>3</sub> +14, R <sub>3</sub> +28	632,40 c	44,50 d	2227,09 b	2953,65 b	120,0 a
8 - R <sub>3</sub> , R <sub>3</sub> +14	765,48 b	53,75 c	2329,48 b	3050,50 b	12,50 b
9 - R <sub>3</sub> , R <sub>3</sub> +21	631,60 c	59,00 c	2290,32 b	3018,91 b	12,00 b
10 - R <sub>3</sub> , R <sub>3</sub> +28	844,59 b	63,00 c	2383,53 b	3062,54 b	12,27 b
11 - R <sub>4</sub>	600,02 c	65,00 b	2339,66 b	3391,65 b	14,00 a
CV (%)	23,10	12,42	4,00	22,05	7,55

Dados seguidos pela mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott Knott ( $P < 0,05$ ). \*\* Peso de mil grãos.

Todos os tratamentos com fungicida foram estatisticamente superiores à testemunha, apresentando maiores índices de área abaixo da curva da radiação, porém, não houve diferença entre eles (Tabela 4).

Aplicações iniciadas em R<sub>1</sub>, sem a presença da doença, com excessão do T2, seguidas de mais uma ou duas aplicações mostram-se mais efetivas no controle da ferrugem asiática e mostraram melhores resultados de produtividade.

Os resultados de desfolha (Tabela 4) demonstram claramente a diferença na evolução da doença na testemunha e nos tratamentos. No estágio fenológico R<sub>6</sub> as parcelas sem tratamento estavam em média com 92% de desfolha. Todos tratamentos diferiram-se da testemunha, mas, no entanto, os melhores tratamentos foram T2 com quatro aplicações (42%), T3 com três aplicações (48%) e T7 com três aplicações (44,5%).

A desfolha iniciou-se em estádios anteriores e a avaliação foi realizada no momento em que constatou-se maior diferença visual entre os tratamentos. De acordo com Canteri (1998) a interceptação da radiação solar pela

folha é fundamental para o enchimento de grãos. A quantidade de tecido vegetal pode ser afetado por fatores bióticos e abióticos, inclusive doenças (HATFIELD; PINTER, 1990; NUTTER; LITTREL, 1996) e sua duração apresenta correlação com produtividade (AQUINO et al., 1992; BERGAMIN FILHO et al., 1995; GAUNT, 1995; CANTERI, 1998; REIS et al., 2004).

Os dados de peso de mil grãos evidenciam o efeito da doença na testemunha que produziu grãos mais leves quando comparados aos demais tratamentos que diferiram estatisticamente pelo teste de Scott Knott ao nível de 5% de probabilidade.

### 3.5 RELAÇÕES ENTRE MEDIDAS DE REFLETÂNCIA, AACPD, DESFOLHA E PRODUTIVIDADE

Os resultados da análise de regressão linear entre as variáveis AACPD, medidas de refletância, desfolha e produtividade encontram-se na Tabela 5.

**Tabela 5** – Coeficiente de determinação ( $R^2$ ) para a análise de regressão entre as variáveis: área sob a curva de progresso da doença (AACPD); área sob a curva de refletância em 810 nm ( $AAR_{810}$ ), desfolha e produtividade.

Epoca 1				
	AACPD	$AAR_{810}$	Desfolha	Produtividade ( $kg \cdot ha^{-1}$ )
AACPD	--	n.s.	n.s.	0,57*
$AAR_{810}$	0,53*	--	0,72*	n.s.

\* $P < 0,05$ , \*\* $P < 0,01$  n.s. – não significativo

A produtividade apresentou correlação ( $P < 0,05$ ) significativa apenas com AACPD. A produtividade variou de  $2.255,09 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$  (testemunha) a  $4.410,94 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ , (tratamento 4 – Tabela 5), o que representou um dano de 48,85% causado pela ferrugem asiática da soja.

Observou-se que a área abaixo da curva e progresso da doença (AACPD) apresentou correlação linear com produtividade e não apresentou correlação com as medidas de refletância e desfolha.

A variável área abaixo da curva da radiação ( $AACR_{810}$ ) apresentou correlação ( $P < 0,05$ ) linear com desfolha.

Os resultados apresentados são consequência do menor progresso da doença nos estádios R<sub>1</sub> a R<sub>4</sub>. Com a utilização do radiômetro neste experimento não foi possível fazer uma separação clara entre os tratamentos, tendo em vista que a pressão e inóculo inicial foram menores.

## **Experimento 2 – Época 2**

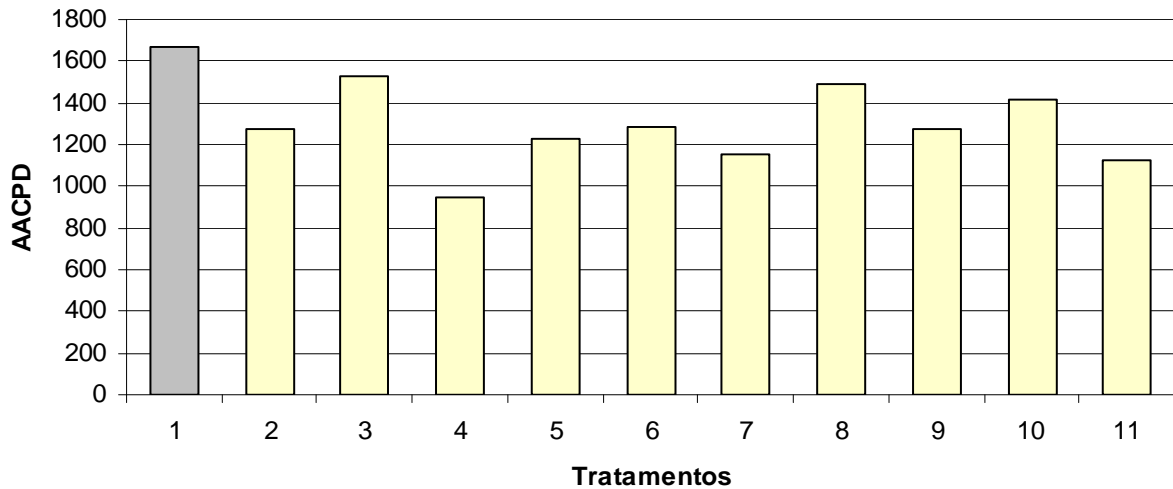
Neste experimento foi observada maior pressão da doença tendo em vista que foi semeado em época tardia (25/12/2006). A ocorrência da doença foi constatada no estágio V<sub>7</sub> aos 42 DAE.

Os resultados de AACPD (área abaixo da curva e progresso da doença) estão apresentados na Figura 3.3.3.4.2. Pode-se observar que a evolução da doença foi mais acentuada que no experimento da época 1 (AACPD= 1100), apresentando valor de AACPD de 1655 na testemunha.

Uma possível explicação para o maior progresso da doença na Época 2 (E<sub>2</sub>) é a multiplicação do patógeno nos plantios iniciais que aumenta a probabilidade de sucesso das infecções devido a maior quantidade de uredosporos.

Desse modo, mesmo em condições climáticas não tão favoráveis, maior exposição dos uredosporos a radiação solar e menor período de molhamento foliar proporcionada pelo dossel aberto, a infecção ocorreu precocemente no plantio tardio. Costamilan et al., (2005) observou essa mesma tendência em ensaios sequenciais.

Os tratamentos T2, T4 a T7, T9 e T11 diferiram significativamente da testemunha pelo teste de Scott Knott ao nível de 5% de probabilidade (Figura 6).



**Figura 6** – Área abaixo da curva e progresso da ferrugem asiática da soja na cultivar BRS 133 em experimento da Época 2, safra 2006/07 (E<sub>2</sub>). Londrina, PR. Colunas seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Scott Knott ao nível de 5% de probabilidade.

Os resultados demonstram que foram necessárias duas a três aplicações para o controle da ferrugem iniciando-se no estágio R<sub>1</sub>, repetindo-se com intervalos de 14 a 21 dias.

Resultados encontrados na literatura confirmam estes resultados onde a ocorrência da doença em estádios iniciais exige a várias aplicações de fungicida para seu controle (JULLIATI et al., 2004; EMBRAPA SOJA, 2007a).

A avaliação visual de desfolha foi realizada no estágio fenológico R<sub>5</sub> devido ao acentuado progresso da doença e sua ocorrência ainda na fase vegetativa da cultura. Nesta fase a testemunha estava com 90% de desfolha (Tabela 6), enquanto que no experimento da época 1 (E<sub>1</sub>) a testemunha só atingiu esse valor no estágio R<sub>6</sub>.

Todos os tratamentos, com exceção do T6 foram superiores a testemunha, apresentado menores índices de desfolha. Não foi verificada diferença significativa entre os tratamentos.

As avaliações de medidas de refletância em 810 nm foram eficazes para separação dos tratamentos (Tabela 6). Quanto maior valor de AACR<sub>810</sub>, menor foi o desenvolvimento da doença.

**Tabela 6** – Área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD), área abaixo da curva de refletância (AAR), produtividade e peso de mil grãos (Pmg) observados para os tratamentos com diferentes épocas de início e número de aplicações de fungicida para o controle de ferrugem asiática (*P. pachyrhizi*) (E<sub>2</sub>) no ano agrícola de 2006/2007.

Estádios das Aplicações	Tratamentos	Severidade	Refletância	Produtividade	Pmg**	
		AACPD	Desfolha %	AAR <sub>810</sub>	(kg.ha <sup>-1</sup> )	(g)
1 - Testemunha		1670 a	90,00 a	872,00 c	867,46 b	96,93 a
2 - R <sub>1</sub> , R <sub>1</sub> +14, R <sub>1</sub> +28, R <sub>1</sub> +42		1277,41 b	46,75 b	1178,40 a	1902,16 a	111,12 a
3 - R <sub>1</sub> , R <sub>1</sub> +14, R <sub>1</sub> +28		1527,38 a	41,50 b	1200,79 a	2112,95 a	110,10 a
4 - R <sub>1</sub> , R <sub>1</sub> +21, R <sub>1</sub> +42		946,99 b	52,00 b	1081,90 b	1832,32 a	105,85 a
5 - R <sub>1</sub> , R <sub>1</sub> +21		1228,29 b	51,50 b	1108,02 b	2027,57 a	109,52 a
6 - R <sub>1</sub> , R <sub>1</sub> +28		1283,71 b	75,00 a	1031,77 b	1172,41 a	95,19 a
7 - R <sub>3</sub> , R <sub>3</sub> +14, R <sub>3</sub> +28		1153,93 b	45,75 b	1161,79 b	1752,60 a	113,43 a
8 - R <sub>3</sub> , R <sub>3</sub> +14		1494,56 a	58,25 b	1068,26 b	1611,36 a	106,84 a
9 - R <sub>3</sub> , R <sub>3</sub> +21		1275,90 b	54,75 b	1081,35 b	1610,51 a	108,39 a
10 - R <sub>3</sub> , R <sub>3</sub> +28		1414,29 a	57,50 b	1065,88 b	1383,24 a	112,58 a
11 - R <sub>4</sub>		1126,29 b	62,00 b	1019,58 b	1609,20 a	103,70 a
CV (%)		17,09	17,59	5,20	15,20	12,5

Dados seguidos pela mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott Knott (P<0,05). \*\* Peso de mil grãos.

Todos os tratamentos foram superiores a testemunha e diferiram entre si, pelo teste de Scott Knott ao nível de 5% de probabilidade.

A testemunha apresentou maiores valores de AACPD (1670), desfolha (90%) e menor valor e AAR<sub>810</sub> (872), o que demonstra a eficácia das medidas de refletância e sua relação com desfolha e AACPD (Tabela 6).

Os melhores tratamentos foram T2 (quatro aplicações, iniciando-se em R<sub>1</sub>) e T3 (três aplicações, iniciando-se em R<sub>1</sub>). Os resultados demonstram que o atraso na aplicação de fungicidas tende a diminuir a sua eficácia. Como a doença ocorreu ainda no estágio vegetativo (V<sub>7</sub>) e já havia abundante produção de inóculo proveniente de plantios mais velhos, aliado as condições climáticas favoráveis, foram necessárias pelo menos três aplicações para se obter um controle satisfatório da doença.

Analisando-se os dados de produtividade (6) pode-se observar que todos os tratamentos diferiram estatisticamente da testemunha, porém, não houve diferença estatística entre os tratamentos.

Devido às condições climáticas favoráveis, aliada ao inóculo produzido pelo patógeno, a ferrugem desenvolveu-se com rapidez apresentando curva de progresso acentuada (AACPD= 1670). Isso acarretou em significativas diferenças no rendimento final da cultura, ou seja, danos da ordem de 78,8%. Os melhores tratamentos apresentaram acréscimo de 240%, ou seja, 21 sacas de  $60\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ .

O peso de mil grãos não apresentou diferença significativa entre os tratamentos.

Os resultados da análise de regressão linear entre as variáveis AACPD, medidas de refletância, desfolha e produtividade encontram-se na Tabela 3.3.3.4.4.

A produtividade apresentou correlação ( $P<0,05$ ) significativa apenas com AAR. A produtividade variou de  $867,46\text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  (testemunha) a  $2112,95\text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ , (tratamento 3 – Tabela 7), o que representou um dano de 78,8% causado pela ferrugem asiática da soja.

Observou-se que a área abaixo da curva da radiação (AAR) apresentou correlação ( $P<0,05$ ) linear com produtividade (76,7%) e com desfolha (90%) e não apresentou correlação com AACPD (Tabela 3.3.3.4.4). Resultados similares foram apresentados por Canteri (1998), Canteri et al. 1999; Koga (2007) e Hikishima (2007).

**Tabela 7** – Coeficiente de determinação ( $R^2$ ) para a análise de regressão entre as variáveis: área sob a curva de progresso da doença (AACPD); área sob a curva de refletância em 810 nm ( $\text{AAR}_{810}$ ), desfolha e produtividade.

Epoca 2				
	AACPD	$\text{AAR}_{810}$	Desfolha	Produtividade ( $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ )
AACPD	--	n.s.	n.s.	n.s.
$\text{AAR}_{810}$	n.s.	--	0,9*	0,77*

\* $P<0,05$ , \*\* $P<0,01$  n.s. – não significativo.

A variável área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD) não apresentou correlação com nenhuma das variáveis avaliadas.

Neste experimento, observou-se alta pressão da doença, que iniciou-se ainda no estágio vegetativo e evoluiu de forma significativa a partir do estágio  $R_1$ . A quantidade de inóculo era alta, pois as condições climáticas foram favoráveis para a multiplicação do patógeno.

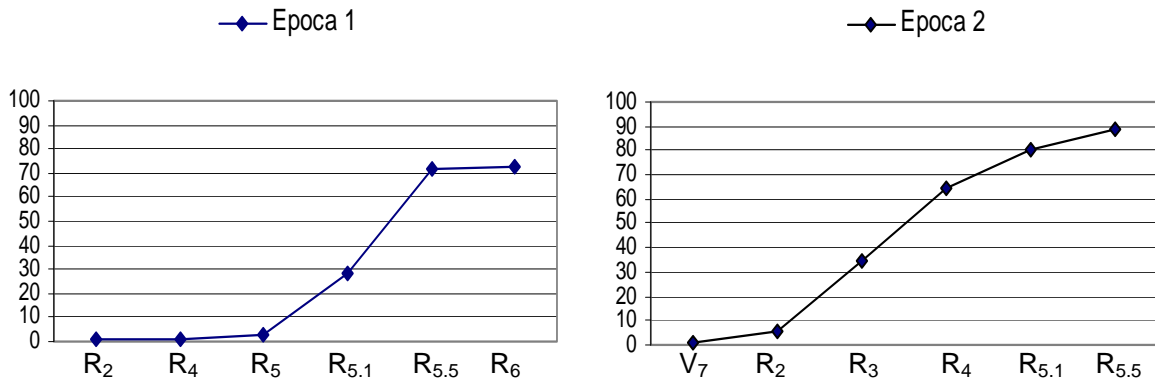
Analisando-se dados da época 1 ( $E_1$ ) é possível observar os efeitos dos tratamentos (Tabela 7). Na AACPD, os tratamentos 2, 3, 5, 6, 7, 9 e 11 diferiram da testemunha e dos demais tratamentos. As aplicações iniciadas no estágio  $R_1$  e seguidas de mais uma ou duas aplicações ou aplicações iniciadas em  $R_3$  apresentaram melhor eficácia de controle da ferrugem.

Comparando-se com os resultados da época 2 ( $E_2$ ) pode-se observar que alguns tratamentos foram superiores a testemunha (2, 4, 5, 6, 7, 9 e 11) e aos tratamentos 3, 8 e 10.

A produtividade evidenciou o controle da doença nas duas épocas estudadas. Na época 1 os tratamentos apresentaram em média cerca de 56% de incremento, enquanto na época 2 os tratamentos os rendimentos foram o dobro da testemunha.

Como os dois experimentos foram instalados em épocas diferentes, a evolução da doença se deu em níveis diferentes, iniciando-se em estágios fisiológicos distintos. Na época 1 a ferrugem foi detectada no estágio  $R_2$  e na época 3 em  $V_7$ .

Na figura 7 pode-se observar a curva de progresso da doença nas duas épocas de plantio. Na época 3 a doença iniciou-se mais precocemente e apresentou uma curva mais acentuada, pois recebeu a carga de esporos (inóculo) dos primeiros plantios, aliado às condições climáticas favoráveis.



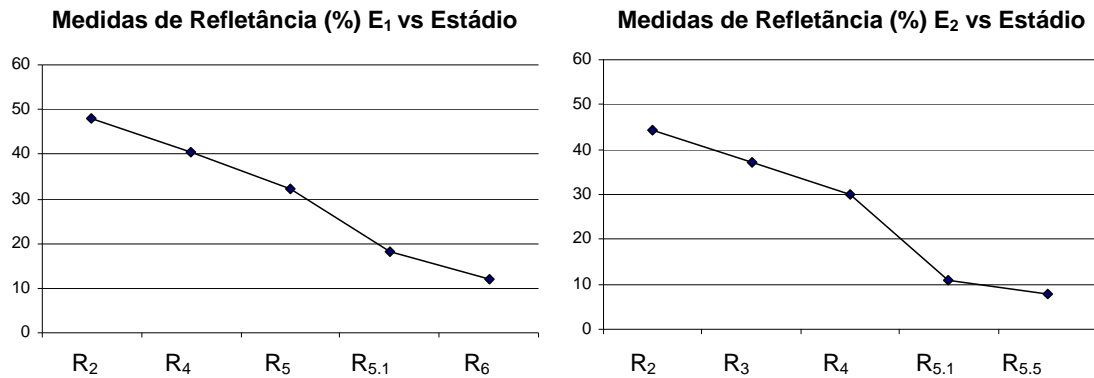
**Figura 7** – Curva e progresso da ferrugem asiática da soja na cultivar BRS 133 em dois experimentos; Epoca 1 e Epoca 2, safra 2006/07. Londrina, PR.

No experimento da epoca 1 a doença manteve estabilizada sua progressão do estágio R<sub>2</sub> a R<sub>4</sub> (Figura 7) aumentando somente a partir de R<sub>5</sub>. Este fato deve-se ao baixo inóculo inicial e pela não existência de lavouras mais velhas próximas. Já na epoca 2 pode-se observar que no estágio V<sub>7</sub> já foi confirmada a presença do fungo, sendo que à partir de R<sub>2</sub> já apresentou curva de progresso exponencial até R<sub>5.5</sub>. momento em que a testemunha encontrava-se com cerca de 90% de desfolha.

Trabalhos de epidemiologia de ferrugem demonstram que mesmo que as condições climáticas não sejam favoráveis, mas tendo inóculo inicial abundante, a doença consegue se estabelecer e o fungo se multiplicar (COSTAMILAN et al., 2005; TECNOLOGIAS, 2008; HIKISHIMA, 2007).

Os resultados de desfolha dos dois experimentos comprovam o efeito da época de semeadura nos dois experimentos (E<sub>1</sub>= 92,75 em R<sub>6</sub>; E<sub>2</sub>= 90% em R<sub>5.5</sub>). Onde a doença ocorreu no estágio vegetativo V<sub>7</sub> (E<sub>2</sub>), chegou ao máximo de desfolha no estágio R<sub>5.5</sub>, enquanto ocorrência em R<sub>2</sub> ocorreu somente em R<sub>6</sub> (E<sub>1</sub>).

Os dados de medidas de refletância da testemunha (Figura 8) mostram a mesma tendência dos resultados de AACPD para as duas épocas (E<sub>1</sub> e E<sub>2</sub>).



**Figura 8 –** Medidas de refletância ( $R_{810}$ ) obtidas da ferrugem asiática da soja na cultivar BRS 133 em dois experimentos; Epoca 1 e Epoca 2, safra 2006/07. Londrina, PR.

No estágio  $R_2$ , as leituras de refletância, para os dois experimentos apresentavam valores altos ( $E_1 = 48$  e  $E_2 = 43$ ) que foram diminuindo até chegar em  $R_6$  com índices de  $R_{810} = 12$  para a  $E_1$  e no estágio  $R_{5.5}$   $R_{810} = 8$  para a  $E_2$ .

Os resultados de medidas de refletância são obtidos através da radiação refletida pelas folhas da cultura, ou seja, quanto mais sadio e verde estiver o dossel avaliado, maiores são os índices lidos pelo radiômetro. Pode-se observar que os tratamentos fungicidas proporcionaram redução da curva de progresso da doença nos experimentos das épocas 1 e 2. Porém, foi na época 2 que ficaram mais evidentes as diferenças, pois a doença teve maior evolução e iniciou-se ainda no estágio vegetativo ( $V_7$ ).

Todos os métodos de avaliação de doenças foram eficazes na separação dos tratamentos. No entanto, foram mais eficazes no experimento da época 2, onde a doença apresentou maior curva de progresso.

Os métodos de avaliação visual de doenças (severidade, desfolha) foram menos eficientes que medidas de refletância ( $R_{810}$ ) (Tabela 8).

**Tabela 8** – Coeficiente de variação (CV%) e tempo de avaliação para as variáveis área abaixo da curva e progresso da doença (AACPD), desfolha, produtividade e medidas de refletância em 810 nm ( $R_{810}$ ).

<b>Epoca 1 (E<sub>1</sub>)</b>				
	<b>AACPD</b>	<b>Desfolha</b>	<b>AAR<sub>810</sub></b>	<b>Produtividade (kg.ha<sup>-1</sup>)</b>
<b>CV%</b>	23,1	12,42	4,0	7,55
<b>Tempo de Avaliação (h)</b>	2,0	1,2	0,6	-
<b>Epoca 2 (E<sub>2</sub>)</b>				
	<b>AACPD</b>	<b>Desfolha</b>	<b>AAR<sub>810</sub></b>	<b>Produtividade (kg.ha<sup>-1</sup>)</b>
<b>CV%</b>	17,09	17,59	5,2	12,5
<b>Tempo de Avaliação (h)</b>	2,0	1,2	0,6	-

A menor eficiência do método de avaliação visual pode ser explicada pelo maior coeficiente de variação (CV) associado ao tamanho da amostragem (CANTERI et al., 1999).

Para avaliações de severidade utilizou-se uma amostra de 12 trifólios/parcela, enquanto que para as leituras de refletância a área amostrada (1,2 m<sup>2</sup>) correspondia a quase 30% do tamanho da área útil das parcelas. Isto fica claro se observarmos o CV 23,1% (E<sub>1</sub>) e 17,59% (E<sub>2</sub>) para AACPD, comparado ao CV de 4,0% (E<sub>1</sub>) e 5,2% da avaliação de refletância na faixa de 810 nm (AAR<sub>810</sub>) (Tabela 8).

Para reduzir o CV das avaliações visuais seria necessário aumentar o tamanho das amostras, entretanto isto acarretaria em um acréscimo no tempo gasto para as avaliações. Gastou-se em média 2 horas para avaliações de severidade e uma hora doze minutos para avaliações de desfolha. Para avaliações de refletância gastou-se em média 36 minutos.

Para os resultados de severidade recomenda-se o uso de AACPD e se forem consideradas 5 avaliações utilizadas para sua determinação, o tempo gasto sobe para 10 horas (severidade) e 6 horas (desfolha). Na avaliação visual, os dados estão sujeitos a erros de anotação e transcrição, além da subjetividade na interpretação dos níveis de severidade.

Com o uso de radiômetro, os dados são transmitidos diretamente ao computador para execução das análises e não sofrem influência da subjetividade humana durante as avaliações. As leituras de refletância em 810 nm apresentaram

resultados inversamente proporcionais às avaliações de severidade das doenças (CANTERI, 1998; CANTERI et al., 1999; HIKISHIMA, 2007).

Se for usada para avaliar severidade de doenças, o uso de medidas de refletância apresenta a desvantagem de ser um método de avaliação indireto, isto é, não avalia a severidade da doença, mas sim apresenta correlação com o índice de área foliar da cultura. Portanto, se houver falhas no plantio, problemas com ervas daninhas ou mesmo outros problemas fitossanitários, pode haver erros nas leituras.

O uso de medidas de refletância em 810 nm para quantificar danos causados pela ferrugem asiática da soja mostrou-se um método rápido, com alta correlação com produtividade e com menor coeficiente de variação entre os métodos de avaliação testados. No entanto, o uso de medidas de avaliação em outros patossistemas necessita ser testado.

No patossistema *Phakopsora pachyrhizi*-soja esse método foi viável devido às características da doença avaliada que provoca seca e morte prematura de folhas. Na verdade, este método estima área foliar sadia, a qual é diretamente responsável pela fotossíntese para enchimento de grãos.

Nos dois experimentos estudados observou-se que as medidas de refletância proporcionaram avaliações com maior rapidez e eficiência. Devido o radiômetro ser um aparelho de fácil manuseio e operação, qualquer pessoa após ser treinada tem condições de utilizar.

Verificou-se que a produtividade apresentou incremento linear com as medidas de refletância em 810 nm ( $R_{810}$ ) com coeficiente de determinação de ( $R^2$ ) médio de 76% no experimento 1, onde  $AAR_{810}$  versus produtividade não foi significativo ( $P > 0,05$ ). Estes resultados mostram que a  $AAR_{810}$  tem potencial para estimar a produtividade e ser utilizada na quantificação de danos no patossistema *Phakopsora pachyrhizi*-soja, embora tenha a limitação de ser uma variável integral, ou seja, de necessitar de várias avaliações ao longo do ciclo da cultura.

As medidas de refletância podem sofrer influência da estação de cultivo, devido às variações da radiação incidente, tais como disponibilidade hídrica e turgor foliar (CANTERI, 1998; GUAN; NUTTER JR., 2001). Dessa maneira, os modelos usados para estimar a produtividade em função de medidas de refletância não devem ser usados antes de ser feita sua validação (testes à nível de campo).

A ferrugem asiática causou reduções drásticas na produtividade nos dois experimentos. A redução nas parcelas não tratadas foi de 56 (E<sub>1</sub>) e 100% (E<sub>2</sub>) em relação às parcelas tratadas. A época 2 apresentou maiores danos pela doença.

De acordo com Hartman et al., (1991) o atraso das infecções das plantas reduziu os danos causados pela ferrugem asiática da soja, ou seja, quanto mais tarde ocorrer a infecção, menos dano acarretará. Isso foi observado nos experimentos onde a ocorrência da doença no estágio vegetativo (E<sub>2</sub>) resultou em perdas da ordem de 100%.

Esses resultados da literatura e dos experimentos demonstram a importância da realização da semeadura no início da estação de cultivo, visando reduzir a quantidade de inóculo inicial, podendo atrasar a ocorrência da doença no ciclo da cultura possibilitando melhor eficácia de controle e redução das perdas causadas pela ferrugem asiática da soja.

Medidas de refletância e métodos de avaliações visuais de doenças mostraram-se eficazes na quantificação de danos causados pela ferrugem asiática da soja e ambos podem ser utilizados nos trabalhos de fitopatometria.

### 3.6 CONCLUSÕES

De acordo com os objetivos propostos, pode-se inferir que:

- Medidas de refletância mostram-se mais eficazes, rápidos e práticos na quantificação de danos causados pela ferrugem, quando comparados ao método de avaliação visual;
- Há relação significativa entre medidas de refletância e desfolha;
- A AAR<sub>810</sub> tem potencial para estimar a produtividade e ser utilizada na quantificação de danos causados pela ferrugem asiática da soja;
- Houve diferença na curva de progresso da doença quando atrasou-se a semeadura da cultura da soja sendo que plantios mais tardios apresentam maior desenvolvimento da ferrugem asiática e, conseqüentemente, maiores danos na produtividade.

### 3.7 REFERÊNCIAS

AQUINO, V. M. et al. Relationships among late leafspot, healthy leaf area duration, canopy reflectance, and yield of peanut. **Phytopathology**, v. 82, p. 546-552, 1992.

BERGAMIN FILHO, A. Curvas de progresso da doença. In: BERGAMIN FILHO, A., KIMATI, H., AMORIM, L. **Manual de fitopatologia**, 3. ed. São Paulo: Ceres, 1995. p.602-626.

CANTERI, M. G. **Uso de medidas da área foliar sadia e refletância no manejo da mancha angular do feijoeiro**. 1998. 81 p. Tese. (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, São Paulo, SP.

CANTERI, M. G. et al. Refletância e avaliação visual como indicadores de severidade de doenças foliares comparados à produtividade em amendoim. **Summa Phytopathologica**, v. 25, p. 228-233, 1999.

CANTERI, M. G. et al. Aplicações da computação na fitopatologia. **Revisão Anual de Patologia de Plantas**, v. 12, p. 243-285, 2004.

CANTERI, M. G.; KOGA, L. J.; GODOY, C. V.; Relações entre severidade da Ferrugem asiática, área foliar sadia e produtividade na cultura da cultura da soja. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SOJA, 4., 2006, Londrina. **Resumos**. Londrina, 2006. p. 106.

COSTAMILAN, L. M. et al. Evolução de ferrugem em quatro épocas de semeadura de soja. **Fitopatologia Brasileira**, v. 30, supl., p. 118, 2005.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – CENTRO NACIONAL DE PESQUISA DE SOJA. **Tecnologias de produção de soja da região central do Brasil 2006**. Londrina: EMBRAPA Soja, 2006.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Centro Nacional de Pesquisa de Soja. **A soja**. 2007a. Disponível em: [http://cnpso.embrapa.br/index.php?op\\_page=22&cod\\_pai=16](http://cnpso.embrapa.br/index.php?op_page=22&cod_pai=16). Acesso em: 01 nov. 2007.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – CENTRO NACIONAL DE PESQUISA DE SOJA. **Produtos registrados no MAPA para controle da ferrugem da soja (*Phakopsora pachyrhizi*)**. 2007b. Disponível em: [http://cnpso.embrapa.br/alerta/ver\\_alerta.php?cod\\_pagina\\_sa=180&cultura=1](http://cnpso.embrapa.br/alerta/ver_alerta.php?cod_pagina_sa=180&cultura=1). Acesso em: 01 jun. 2007.

GUAN, J.; NUTTER JR., F. W. Factors that affect the quality and quantity of sunlight reflected from alfalfa canopies. **Plant Disease**, v. 85, p. 865-874, 2001.

GAUNT, R. E. the relationship between plant disease severity and yield. **Annu. Rev. Phytopathol.** Palo Alto, v. 33, p. 119-144, 1995.

GODOY, C. V. et al. Análise temporal do progresso da ferrugem da soja em Londrina (PR). **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 28, p. 386, ago. 2003.

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

HATFIELD, J.L., PINTER JR., P. J. Remote sensing for crop protection: application to plant pathology. **Phytopathology**, v. 80, n. 1, p. 37-39. 1990.

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

HIKISHIMA, M. **Quantificação de danos e ralações entre severidade da doença, medidas de refletância e produtividade no patossistema ferrugem asiática da soja**. 2008. 71 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2008.

JULIATTI, F. C.; POLIZEL, A. C.; JULIATTI, A. C.; **Manejo Integrado de Doenças na Cultura da soja**. Uberlândia: UFU, 2004. 327 p.

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

KOGA, L. J. Relação entre medidas de refletância e área foliar sadia, severidade da ferrugem Asiática e produtividade da cultura da soja. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 28, n. 4, p. 571-580, 2007.

MARCHETTI, M. A.; MELCHING, J. S.; BROMFIELD, K. R. The effects of temperature and dew period on germination and infection by uredospores of *Phakopsora pachyrhizi*. **Phytopathology**, v. 66, n. 6, 1976.

MILLARD, P. et al. Estimation of light interception and biomass of potato (*Solanum tuberosum* L.) fro reflection in the red and near-infrared spectral bands. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 53, p. 19-31, 1990.

NUTTER JR., F. W., LITTRELL, R. H. Relationships between defoliation, canopy reflectance and pod yield in the peanut-late leafspot pathosystem. **Crop Protection**, v. 15, n. 2, p. 135-142, 1996.

NUTTER JR. et al. Quantifying alfafa yield losses caused by foliar diseases in Iowa, Ohio, Wisconsin, and Vermont. **Plant Disease**, v. 86, p. 269-277, 2002.

REIS, E. M. et al. Ferrugem da soja: critério indicador do momento para o controle econômico com fungicidas. In: FORCELINI, C.A. et al. **Doenças na cultura da soja**. Passo Fundo: Aldeia Norte, 2004. 178 p.

SHANER, G.; FINNEY, R. F. The effects of nitrogen fertilization on the expression of show-mildwing in knox wheat. **Phytopathology**, v. 67, p. 1051-1055, 1987.

SILVA, E. A. et al. Perspectivas no manejo e controle localizado de doenças das culturas: uma abordagem no manejo do nematóide do cisto da soja. In: BORÉM, A. **Agricultura de precisão**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2000. p. 409-453.

TECNOLOGIAS DE PRODUÇÃO. Região Central do Brasil. **Tecnologias de produção de soja**: 2008. Rio Verde: Embrapa Soja:, 2008.

YANG, X. B. et al. Development of yield loss models in relation to reductions of components of soybeans infected with *Phakopsora pachyrhizi*. **Phytopathology**, v. 81, n. 11, p. 1.420-1.426, 1991.

YORINORI, J. T; NUNES JUNIOR, J.; LAZZAROTTO, J. J. **Ferrugem “Asiática” da soja no Brasil**: evolução, importância econômica e controle. Londrina: EMBRAPA Soja, 2004. 36p. (Documentos /Embrapa Soja, n. 247)

## 4 ARTIGO 2: MEDIDAS DE REFLETÂNCIA PARA ESTIMAR EFEITO DE FUNGICIDAS NO CONTROLE DA FERRUGEM ASIÁTICA DA SOJA

### 4.1 RESUMO

Os objetivos deste trabalho foram comparar medidas de refletância com métodos de avaliação visual para avaliar a eficiência de fungicidas para o controle da ferrugem asiática da soja e quantificar sua relação com a produtividade. O experimento foi conduzido na Fazenda Escola da Universidade Estadual de Londrina, no município de Londrina, PR, na safra de 2006/07. O delineamento experimental foi de blocos ao acaso com 07 tratamentos e quatro repetições, sendo cada parcela experimental foi constituída de cinco linhas de seis metros de comprimento. Os tratamentos foram: 1) testemunha (sem aplicação); 2) piraclostrobina + epoxiconazol (66,5 +25 gramas do ingrediente ativo/hectare); 3) azoxistrobina + ciproconazol (60 + 24); 4) tebuconazol (100); 5) metconazol (36); 6) epoxiconazol (50); 7) picoxistrobina + ciproconazol (60+24). A primeira aplicação foi realizada dia 27/02/2007, ao nível de 3% de severidade (estádio R<sub>3</sub>) e a segunda, dia 17/03/2007 (18 dias após) no estágio R<sub>5,1</sub>. A severidade da doença foi estimada em intervalos semanais, a partir do surgimento dos primeiros sintomas. As leituras de refletância foram realizadas com radiômetro de múltiplo espectro, em oito comprimentos de onda (460 a 810 nm). Avaliações visuais foram realizadas semanalmente com auxílio de escala diagramática e escala de desfolha. As medidas de refletância (AAR<sub>810</sub>) apresentaram correlação com a produtividade R<sup>2</sup>= 89% apresentado menor valor de CV%= 5,8% enquanto o método de avaliação visual apresentou correlação com produtividade significativa aos 21 DAA (R<sup>2</sup>= 82%) e CV%= 14,7%. Os fungicidas azoxistrobina+ciproconazol e picoxistrobina+ciproconazol foram mais eficientes no controle da ferrugem da soja, proporcionando menores valores de progresso da doença (AACPD=900). Com exceção de epoxiconazol, todos os tratamentos apresentaram produtividade estatisticamente superior à testemunha. De acordo com medidas de refletância no comprimento de onda em 810 nm (R<sub>810</sub>), metconazol e epoxiconazol foram os tratamentos menos eficazes (AACPD= 1200 e 1100, respectivamente).

**Palavras-Chave:** Medidas de refletância. Controle químico. Sensoriamento remoto. Radiômetro.

### Abstract

The objectives of this study were to compare measures of reflectance with methods of visual assessment to evaluate the efficiency of fungicides for control of the Asian soybean rust and quantify its relationship with productivity. The experiment was conducted at the State University of Londrina, in the municipality of Londrina, PR, in the 2006/07 season. The experimental design was randomized blocks with 07 treatments and four repetitions, and each experimental plot was composed of five rows of six meters in length. The treatments were: 1) Untreated Check (no application), 2) pyraclostrobin + epoxiconazole (66.5 + 25 grams of active ingredient

per hectare), 3) azoxystrobin + cyproconazole (60 + 24); 4) tebuconazole (100); 5) Metconazole (36), 6) epoxiconazole (50); 7) picoxystrobin cyproconazole + (60 +24). The first application was made on 27/02/2007, at the 3% of severity (stage R<sub>3</sub>) and the second on 17/03/2007 (18 days) in the R<sub>5.1</sub> stage. The severity of the disease was estimated at weekly intervals, from the appearance of first symptoms. The readings were made of reflectance radiometer with a multiple-spectrum in eight a wavelengths bands (460 to 810 nm). Visual assessments were performed weekly using diagrammatic scale for defoliation. Measures of reflectance (AAR<sub>810</sub>) showed correlation with the yield  $R^2 = 89\%$  presented lower value of CV% = 5.8% while the method of visual assessment showed significant correlation with productivity at 21 DAA ( $R^2 = 82\%$ ) and CV% = 14.7%. The fungicides azoxystrobin + cyproconazole picoxystrobin cyproconazole and were more efficient to control the soybean rust, providing lower values of progress of the disease (AUDPC = 900). Except for epoxiconazole treatment, all others were statistically superior productivity to the untreated check. According to measures of reflectance at a wavelength of 810 nm in (R810), metconazole epoxiconazole and the treatments were less effective (AUDPC= 1240 and 1100 respectively).

**Key words:** Reflectance's measures. *Phakopsora pachyrhizi*. Remote sensing. Radiometer.

#### 4.2 INTRODUÇÃO

A soja é uma das culturas que vem contribuindo com a sustentabilidade econômica da atividade agrícola no Brasil, sua área de cultivo ganha, ano após ano, maior espaço nas lavouras (JULIATTI et al., 2004), além de apresentar grande importância social e econômica mundial provendo mais de 64% do suprimento global de farelo de oleaginosas (TECNOLOGIAS, 2008).

Atualmente, a distribuição da *Phakopsora pachyrhizi* Syd. & P. Syd inclui África, Ásia, Austrália, América do Sul e Havaí. A rápida dispersão e potencial para severas perdas de produção tornam a ferrugem a mais destrutiva doença foliar dentre as mais de uma centena que afetam a soja [*Glycine max* (L.) Merrill]. (BROMFIELD, 1980, JULIATTI et al., 2004, TECNOLOGIAS, 2008).

Após a sua constatação no Brasil na safra de 2000/01 (TECNOLOGIAS, 2008, YORINORI et al., 2004), muitos têm sido os estudos com o intuito de manejo e controle dessa doença. Segundo Reis e Bresolin (2004), os tratamentos fungicidas da parte aérea tem sido amplamente utilizados.

A quantificação de doenças na cultura da soja vem sendo realizada com base em métodos visuais, com auxílio de escalas diagramáticas. São práticas laboriosas que exigem treinamento e boa acuidade visual por parte dos avaliadores.

Trabalhos têm demonstrado a possibilidade de se usar medidas de refletância como método de avaliação da eficiência de tratamentos fungicidas (NUTTER JR., 1989; NILSSON, 1995; NUTTER JR.; LITTREL, 1996; CANTERI, 1998; CANTERI et al., 1999; JULIATTI et al., 2004; REIS et al., 2004).

Leituras de refletância realizadas com radiômetro de múltiplo espectro na faixa de comprimento de onda próximo ao infravermelho apresentam uma boa correlação com o índice de área foliar verde (GLAI) e até mesmo com a área foliar fotossinteticamente ativa, presente por unidade de área de solo (NILSSON, 1995; NUTTER; LITTREL, 1996; CANTERI, 1998; CANTERI et al., 1999;). O GLAI pode ser afetado por fatores bióticos e abióticos, inclusive doenças (NUTTER, 1989; NUTTER, LITTREL, 1996).

Diversos autores obtiveram bons resultados com o uso de radiômetro de múltiplo espectro na quantificação de doenças das culturas de feijão, amendoim, soja, batata inglesa, trigo e gramados (NUTTER, 1989; NILSSON, 1995; NUTTER; LITTREL, 1996; CANTERI, 1998; CANTERI et al., 1999; REIS; BRESOLIN, 2004).

Essa tecnologia apresenta algumas vantagens em relação aos métodos tradicionais, tais como: obtenção de informações sem que haja contato físico com o objeto, permitindo repetidas observações; leituras em uma faixa espectral não captada pelo olho humano; aumento na velocidade de aquisição dos dados, e redução do esforço de trabalho, pois se baseia nas propriedades radiantes das plantas (CANTERI et al., 1999). As avaliações, nessa nova abordagem, são realizadas através de instrumentos capazes de quantificar as diferenças nas respostas espectrais entre a planta sadia e a doente.

Os objetivos deste trabalho foram comparar medidas de refletância com métodos de avaliação visual para avaliar a eficiência de fungicidas para o controle da ferrugem asiática da soja e quantificar sua relação com a produtividade.

#### 4.3 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na Fazenda Escola da Universidade Estadual de Londrina no município de Londrina, PR, na safra 2006/07. As parcelas possuíam 2,40 m de largura x 6,0 m de comprimento. Foram consideradas as duas

linhas centrais da parcela para as avaliações e colheita do experimento, descontando-se 0,50 m de bordadura, com área útil de 5,0 m<sup>2</sup>.

O delineamento experimental utilizado foi de blocos ao acaso com sete tratamentos e quatro repetições. O plantio foi realizado dia 25 de dezembro de 2006.

As aplicações dos tratamentos fungicidas foram realizadas duas vezes, sendo a primeira aplicação em R<sub>3</sub> e a segunda no estágio R<sub>5,1</sub>, 18 dias após (Tabela 1).

Os tratamentos foram: 1) testemunha (sem aplicação); 2) piraclostrobina + epoxiconazol (66,5 +25 gramas do ingrediente ativo/hectare); 3) azoxistrobina + ciproconazol (60 + 24); 4) tebuconazol (100); 5) metconazol (36); 6) epoxiconazol (50); 7) picoxistrobina + ciproconazol (60+24).

As aplicações do fungicida foram realizadas utilizando-se pulverizador costal pressurizado a CO<sub>2</sub>, contendo barra de 2,0 metros, quatro pontas leque XR 11002, espaçadas de 50 cm, o volume utilizado foi de 200 l/ha, com pressão de 30 libras/pol<sup>2</sup>.

Para a identificação dos estádios fenológicos durante o desenvolvimento da cultura, utilizou-se a escala fenológica apresentada por Tecnologias, (2008).

A cultivar utilizada nos ensaios, considerada suscetível à ferrugem asiática e cultivada nas principais regiões produtoras de soja no país foi a BRS 133, de crescimento determinado, que está incluída no grupo de maturação semi-precoce, variando o ciclo de 116 a 125 dias.

As aplicações foram realizadas, preferencialmente nos períodos mais frescos do dia, até as 10:00 h da manhã ou no período da tarde, após as 17:00 h, dependendo das condições climáticas. Foram consideradas condições mínimas para aplicação a umidade relativa do ar em 65%, temperatura máxima de 32 °C e velocidade do vento não superior a 4,0 km/h.

Os dados climáticos correspondentes ao período de experimentação foram obtidos junto à estação meteorológica pertencente ao Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR).

As avaliações de severidade da doença foram realizadas com auxílio da escala diagramática para estimar a intensidade de ferrugem da soja desenvolvida por Godoy et al., (2006).

Foram selecionados quatro pontos em cada uma das parcelas, onde foram avaliados na haste principal da planta, 12 trifólios dos terços inferior, médio e superior, respectivamente, nas segundas e terceiras linhas de plantio, no começo e final das parcelas, descontando-se 0,5m de bordadura.

As avaliações iniciaram a partir do estágio R<sub>3</sub>, quando as plantas apresentaram em média 3% de severidade e prosseguiram com intervalos semanais. Com os dados de severidades obtidos nos quatro pontos de cada parcela, efetuou-se a média aritmética desses valores, obtendo-se a severidade média de cada tratamento. O percentual de controle para cada tratamento foi calculado em relação a testemunha não tratada.

Os valores de AACPD foram calculados para cada parcela por integração trapezoidal (SHANER; FINNEY, 1987):

$$\text{AACPD} = \sum_{i=1}^{n-1} [(X_i + X_{i+1}) / 2] (t_{i+1} - t_i)$$

Onde  $X$  é a severidade média da doença por parcela (dada em proporção),  $X_i = X(t_i)$ ,  $n$  é o número de avaliações e  $(t_{i+1} - t_i)$  é o intervalo entre duas avaliações consecutivas.

A desfolha foi avaliada no estágio R<sub>6</sub> quando a testemunha apresentava em média 90% de desfolha. A avaliação foi realizada com auxílio da escala diagramática para desfolha desenvolvida por Canteri et al. (2006).

As avaliações de refletância foram realizadas com um radiômetro de múltiplo espectro portátil, marca CropScan, Inc., modelo MSR 87, que armazenou o percentual de luz difusa refletida pelo dossel no comprimento de onda próximo ao infravermelho (810 nm) (CANTERI, 1998).

O sensor foi montado em uma barra conectado ao armazenador de dados ("data logger"), que automaticamente gravou os dados de todos os canais. Durante a leitura, a barra permanecia em um ângulo de 45°, com o sensor a uma altura de 2,00 m do solo.

Foram feitas três leituras por parcela, e a área avaliada foi a de um círculo com diâmetro igual à metade da altura do sensor, centralizado no intervalo entre as duas linhas mais internas da parcela.

As leituras foram realizadas com intervalos de 7-10 dias, iniciando-se no estágio R<sub>3</sub> e seguindo-se até a desfolha de 90% da testemunha.

Para o comprimento de onda de 810 nm ( $R_{810}$ ), foram calculados por integração trapezoidal os valores da área sob a curva das medidas de refletância (AAR) para cada parcela, pela fórmula:

$$AAR = \sum_{i=1}^{n-1} [(R_i + R_{i+1}) / 2] (t_{i+1} - t_i)$$

onde  $R$  é a medida de refletância em cada comprimento de onda (porcentagem),  $R_i = R(t_i)$ ,  $n$  é o número de avaliações e  $(t_{i+1} - t_i)$  é o intervalo entre duas avaliações consecutivas.

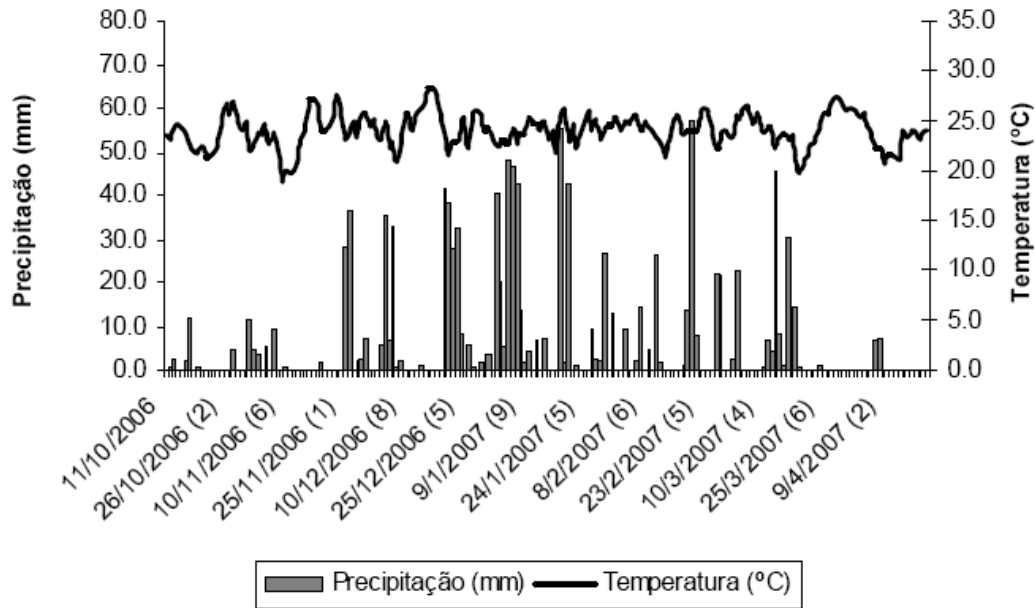
Foram avaliadas 50 plantas das duas linhas centrais de cada parcela e estimada sua produtividade em  $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  e o peso de mil grãos. A umidade dos grãos foi corrigida para 13%.

Os dados foram submetidos à análise de variância pelo teste de F e as diferenças entre as médias, quando significativas, foram comparadas pelo teste de Scott Knott, ao nível de 5% de probabilidade, usando-se o programa SASM-Agri (Canteri et al., 2001). As relações entre produtividade e AACPD, produtividade e severidade, produtividade e AAR, produtividade e medidas de refletância e medidas de refletância e severidade foram examinadas por regressão linear, utilizando-se o programa Excel.

#### 4.4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A precipitação diária e a temperatura média do ar do experimento são apresentados na Figura 9. No período de outubro de 2006 a abril de 2007 a temperatura mínima variou de 18,8 a 19,7 °C e a máxima ficou entre 27,4 e 28,3 °C. A temperatura média foi de 24,1 °C na época dois e 24,0°C na época três.

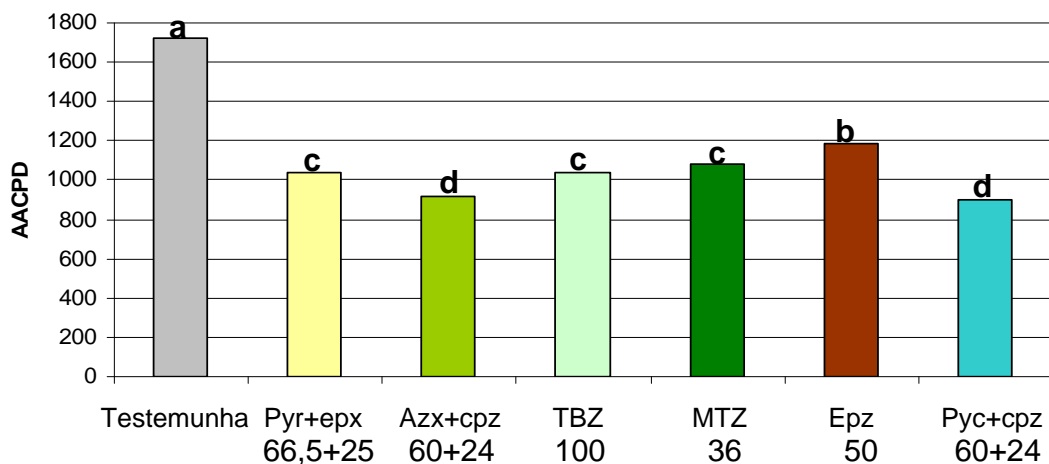
Durante a condução dos experimentos verificou-se boa distribuição do regime de chuvas.



**Figura 9** – Temperatura média, precipitação média registrados na safra 2006/07 para a região de Londrina, PR. Número entre parênteses indica o número de dias de chuva no período anterior.

Os primeiros sintomas foram observados aos 42 dias após a emergência ( $V_7$ ). Como o objetivo do trabalho é comparar medidas de refletância versus métodos visuais de avaliação e eficiência de produtos, o experimento foi semeado numa época mais tardia com intuito de obter maior pressão da doença e melhores condições para diferenciação dos tratamentos.

Analisando-se dados de AACPD (área abaixo da curva e progresso da doença) observa-se que a testemunha sem aplicação de fungicida mostrou uma evolução significativamente superior aos demais tratamentos (Figura 10).



**Figura 10** – Área abaixo da curva e progresso da ferrugem asiática da soja na cultivar BRS 133, safra 2006/07. Londrina, PR. Colunas seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Scott Knott ao nível de 5% de probabilidade.

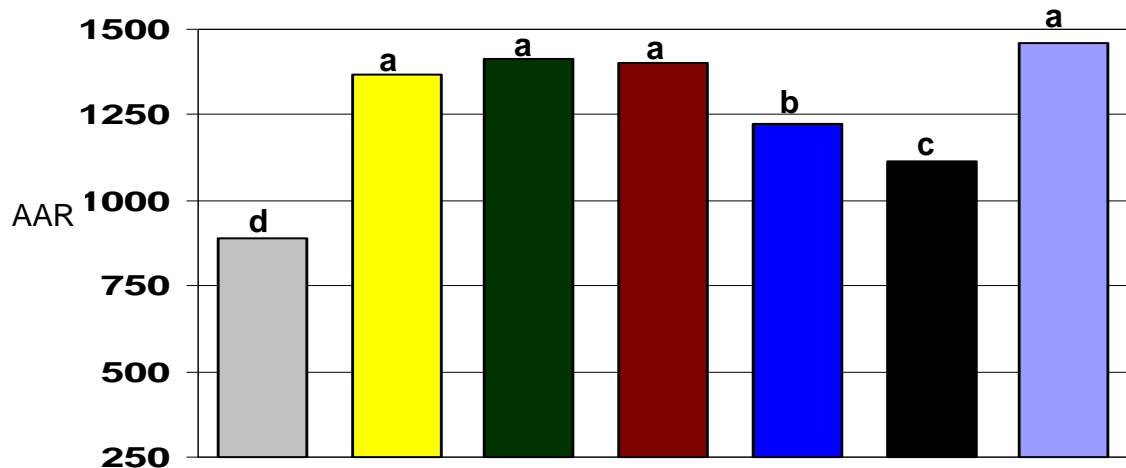
Todos os tratamentos fungicidas foram significativamente superiores a testemunha apresentando menores valores de progresso da ferrugem. Os melhores tratamentos foram picoxistrobina + ciproconozal 60+24 g.i.a./ha (T7) e azoxistrobina + ciproconazol 60+24 (T3) (Figura 10). Observou-se tendência de melhor controle nos tratamentos à base de mistura dos grupos químicos das estrubirulinas + triazóis (T2, T3 e T7) (Figura 10).

De acordo com Juliatti et al. (2004) e Embrapa Soja (2006) lavouras semeadas tardiamente tendem a sofrer com maior quantidade de inóculo. Enquanto que lavouras semeadas na época recomendada (primeiros plantios) estão sujeitas a menor quantidade de inóculo, tendo em vista que o patógeno utiliza-se dessas lavouras para sua multiplicação e dispersão.

De acordo com Canteri (1998), a interceptação da radiação solar pela folha é fundamental para o enchimento de grãos. A quantidade de tecido vegetal pode ser afetado por fatores bióticos e abióticos, inclusive doenças (HATFIELD; PINTER JR., 1990; NUTTER; LITTREL, 1996) e sua duração apresenta correlação com produtividade (AQUINO et al., 1992; BERGAMIN FILHO et al., 1995; GAUNT, 1995; CANTERI, 1998; REIS; BRESOLIN, 2004).

Quantificando-se os danos causados pela ferrugem com o radiômetro de múltiplo espectro pode-se observar que através desta técnica foi possível separar os tratamentos, de acordo com sua eficácia.

Todos os tratamentos foram estatisticamente superiores à testemunha, apresentando maiores índices de área abaixo da curva da radiação, porém, não houve diferença entre os tratamentos (Figura 11).



**Figura 11** – Área abaixo da curva da radiação (AAR) da ferrugem asiática da soja na cultivar BRS 133, safra 2006/07. Londrina, PR. Colunas seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Scott Knott ao nível de 5% de probabilidade.

De acordo com Canteri (1998) e Canteri et al. (1999) as medidas de refletância têm em geral, associação direta com a quantidade de biomassa, o índice de área foliar, a cobertura do solo, a interceptação da radiação solar e a produtividade.

As medidas de refletância e métodos de avaliação visuais da doença foram eficazes na separação dos tratamentos fungicidas (Figura 11). As medidas de refletância da luz solar em 810 nm e AACPD foram mais eficientes para captar pequenas diferenças, separando os produtos em 03 grupos distintos. De acordo com as medidas de refletância, os produtos 2, 3, 4 e 7, constituíam o grupo 1 (G1) (maior eficiência), seguido pelo tratamento 5 (G2, intermediário) e, tratamento 6 (G3, menor eficiência). Os dados de AACPD permitiram a separação dos produtos 3 e 7 (G1); 2, 4 e 5 (G2) e 6 (G3) (Figura 11).

Os resultados de desfolha (Tabela 9) demonstraram o efeito da doença sobre a cultura causando 90% de desfolha na testemunha. A avaliação de

desfolha foi realizada no momento em que constatou-se maior diferença visual entre os tratamentos.

**Tabela 9** – Área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD), área abaixo da curva de refletância (AAR), produtividade e peso de mil grãos (Pmg) observados para os tratamentos com aplicações de fungicidas para o controle de ferrugem asiática (*P. pachyrhizi*) no ano agrícola de 2006/2007, Londrina, PR.

Tratamentos	Severidade		Refletância	Produtividade	Pmg**
	AACPD	Desfolha %			
Estádios das Aplicações			AAR <sub>810</sub>	(kg.ha <sup>-1</sup> )	(g)
1- Testemunha	1721 a	90,0 a	890 d	830 b	95,0 c
2- piraclostrobin+epoxiconaz.	1039 c	60,5 b	1366 a	2036 a	114 b
3-azoxistrobina+ciproconazol	918,0 d	52,0 b	1415 a	2372 a	130 a
4-tebuconazol	1036 c	54,7 b	1401 a	1822 a	114 b
5-metconazol	1079 c	57,0 b	1224 a	1652 a	112 b
6-epoxiconazol	1182 b	51,5 b	1116 b	1178 b	94 c
7-picoxistrobina+ciproconazol	904,0 d	51,5 b	1459 a	2453 a	115 b
CV (%)	11,88	9,59	5,8	12,5	9,5

Dados seguidos pela mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott Knott ( $P < 0,05$ ). \*\* Peso de mil grãos.

A avaliação de severidade da doença aos 21 DAA possibilitou somente a separação dos tratamentos em dois grupos segundo sua eficiência (G1: 3 e 7) e (G2: 2, 4, 5 e 6).

A maior eficiência para separar os fungicidas em grupos através de leitura de medidas de refletância pode ser explicada pelo menor coeficiente de variação (CV%) associado ao tamanho da amostragem, pois a área amostrada era de 0,88 m<sup>2</sup>, o que correspondia a mais de 20% da área útil das parcelas. Para as avaliações de severidade, utilizou-se amostra de 12 trifólios/parcela. Observando o CV de 14,7 % para severidade de ferrugem da soja aos 21 DAA, comparado ao CV de 5,7% da avaliação de refletância na faixa de 810 nm aos 21 DAA.

O tempo gasto dispendido foi em média 2 horas para cada uma das avaliações de intensidade de doença. Nas leituras de refletância, dispendeu-se em média 15 minutos. Como foram realizadas 5 avaliações, o tempo dispendido foi de 10 horas para as avaliações visuais e 01 hora e 15 minutos para o uso do radiômetro.

Segundo Canteri et al. (1999), as avaliações visuais, além de demandar mais tempo e ser uma atividade laboriosa, pode incorrer de erros de anotação e transcrição, além da subjetividade humana na interpretação da severidade da doença.

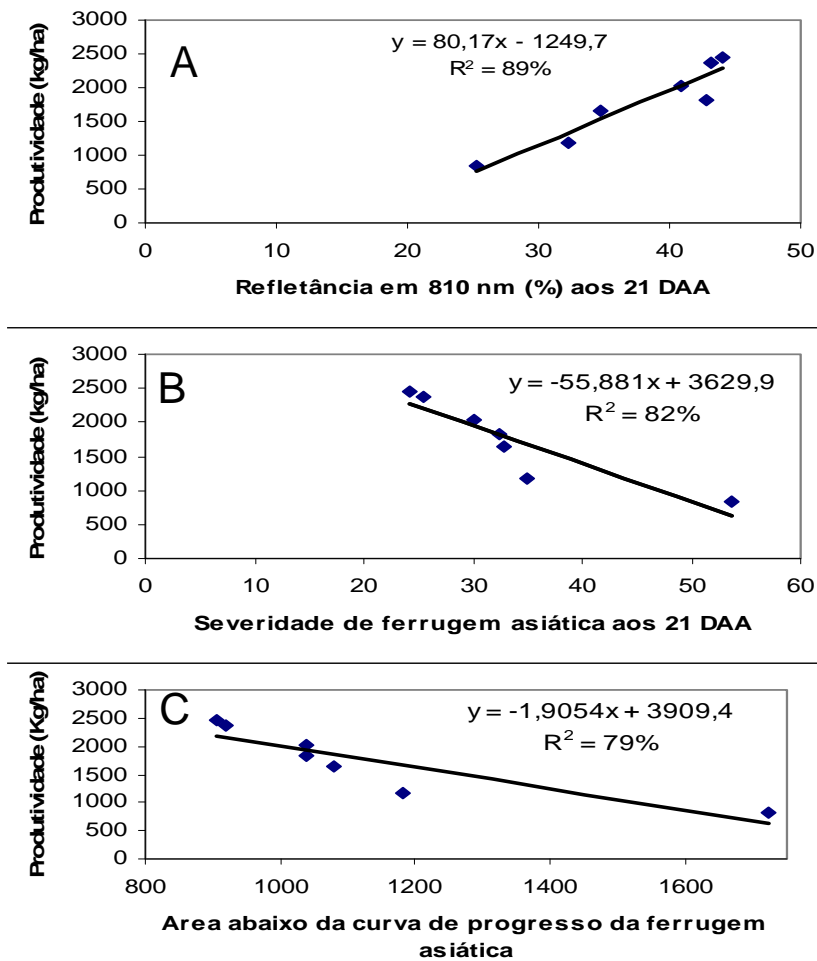
As leituras de refletância em 810 nm apresentaram resultados inversamente proporcionais às avaliações de severidade das doenças (Tabela 4.4.4). Comprimentos de onda próximos ao infravermelho, onde se inclui a faixa de 810 nm, apresentaram boa correlação com quantidade de tecido vegetal vivo (Nutter, 1989; Nutter et al., 1990; Canteri, 1998).

Analisando-se os resultados de produtividade (Tabela 9), pode-se observar que o tratamento a base de epoxiconazol não diferiu significativamente da testemunha. No entanto, os demais tratamentos fungicidas (T2, T3, T4, T5 e T7) proporcionaram manutenção do potencial produtivo da cultura, apresentando em média o dobro de produtividade, comparado à testemunha.

Analisando-se os dados de peso de mil grãos pode-se observar que o tratamento 3 (azoxistrobina + ciproconazol 60+24) diferiu da testemunha e dos demais tratamentos. Piraclostrobin + epoxiconazol 66,5+25 (T2), tebuconazol 100 (T4), metconazol 36 (T5) e picoxistrobina + ciproconazol diferiram da testemunha mas foram iguais entre si.

Os resultados da análise de regressão linear entre as variáveis AACPD, medidas de refletância, desfolha e produtividade encontram-se na Figura 6.

Para comparar a eficiência das avaliações visuais e das leituras de refletância escolheu-se a avaliação executada aos 21 DAA, por apresentar valores significativos de correlação. O coeficiente de determinação ( $R^2$ ) para relação entre produtividade e refletância foi o maior (89%), enquanto que para produtividade e severidade foi de 82%. Com o uso da AACPD no lugar da severidade, não houve melhora no valor de  $R^2$  (79%) (Figura 12).



**Figura 12** – Relações entre produtividade e refletância da luz solar em 810 nm aos 21 DAA (A), porcentagem de severidade de ferrugem asiática avaliadas aos 21 DAA (B), área sob a curva de progresso da ferrugem asiática (C), para soja tratada com diferentes fungicidas, Londrina, PR.

A variável AACPD é recomendada por autores para representar uma epidemia como um todo (SHANER; FINNEY, 1987). Utiliza as avaliações visuais de severidade para o seu cálculo e geralmente apresenta boa correlação com a produtividade (CANTERI, 1998).

A AACPD apresentou alta correlação com a produtividade (79%), porém a  $R_{810}$  realizada aos 21 DAA apresentou o maior valor (89%). A explicação para a melhor correlação entre medidas de refletância e produtividade é que a produtividade está relacionada à quantidade de radiação interceptada pela cultura

(BERGAMIN FILHO et al., 1995; GODOY et al., 2003; WAGGONER; BERGER, 1987) e a refletância correlaciona com quantidade de tecido foliar fotossinteticamente ativo presente por unidade de área capaz de interceptar a radiação solar (BERGAMIN FILHO et al., 1995; GODOY et al., 2003; NILSSON, 1995), diferentemente de avaliações de percentagem de severidade de doença que medem a quantidade de tecido doente (CANTERI et al., 1999).

A avaliação aos 21 DAA apresentou melhores valores de correlação pois neste momento, as diferenças entre os tratamentos e a testemunha eram maiores devido à curva de progresso da doença.

O uso de medidas de refletância em 810 nm ( $R_{810}$ ) para quantificar danos causados pela ferrugem asiática da soja mostrou-se um método rápido, com alta correlação com produtividade e com menor coeficiente de variação entre os métodos de avaliação testados. No entanto, o uso de medidas de avaliação em outros patossistemas necessita ser testado (CANTERI, 1998).

No patossistema *Phakopsora pachyrhizi*-soja esse método foi viável devido às características da doença avaliada que provoca seca e morte prematura de folhas. Na verdade, este método estima área foliar sadia, a qual é diretamente responsável pela fotossíntese para enchimento de grãos.

No experimento estudado observou-se que as medidas de refletância proporcionaram avaliações com maior rapidez e eficiência. Devido o radiômetro ser um aparelho de fácil manuseio e operação, qualquer pessoa após ser treinada tem condições de utilizar.

#### 4.5 CONCLUSÕES

De acordo com os objetivos propostos, pode-se inferir que:

- Medidas de refletância são eficazes, rápidas e prático na quantificação de danos causados pela ferrugem.
- Há relação significativa entre medidas de refletância tais  $AAR_{810}$  e produtividade/desfolha;
- A  $AAR_{810}$  tem potencial para estimar a produtividade e ser utilizada na quantificação de danos causados pela ferrugem asiática da soja;

- Os Fungicidas azoxistrobin + ciproconazol (60+24) e picoxistrobin + ciproconazol apresentaram melhor eficácia no controle de ferrugem da soja.

#### 4.6 REFERÊNCIAS

- AQUINO, V. M et al. Relationships among late leafspot, healthy leaf area duration, canopy reflectance, and yield of peanut. **Phytopathology**, v. 82, p. 546-552, 1992.
- BERGAMIN FILHO, A. et al. Avaliação de danos causados por doenças de plantas. **Revisão Anual de Patologia de Plantas**, Passo Fundo, v. 3, p. 133-184, 1995.
- BROMFIELD, K. R. Soybean Rust. Some considerations relevant to threat analysis. Monograph. **Protection Ecology** v. 2, n. 3, p. 251-257, 1980.
- CANTERI, M. G. **Uso de medidas da área foliar sadia e refletância no manejo da mancha angular do feijoeiro**. 1998. 81 p. Tese. (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, São Paulo, SP.
- CANTERI, M. G. et al. Refletância e avaliação visual como indicadores de severidade de doenças foliares comparados à produtividade do amendoim. **Summa Phytopathologica**, v. 25, n. 3. p. 228-233, 1999.
- CANTERI, M. G. et al. SASM-Agri: Sistema para análise e separação de médias em experimentos agrícolas pelos métodos Scott-Knott, Tukey e Duncan. **Revista Brasileira de Agrocomputação**, v. 1, n. 2, p. 18-24, 2001.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – CENTRO NACIONAL DE PESQUISA DE SOJA. **Tecnologias de produção de soja da região central do Brasil 2006**. Londrina: EMBRAPA Soja, 2006.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – CENTRO NACIONAL DE PESQUISA DE SOJA. **A soja**. 2007. Disponível em: [http://cnpso.embrapa.br/index.php?op\\_page=22&cod\\_pai=16](http://cnpso.embrapa.br/index.php?op_page=22&cod_pai=16). Acesso em: 01 nov. 2007.
- GAUNT, R. E. The relationship between plant disease severity and yield. **Annu. Rev. Phytopathol.** Palo Alto, v. 33, p. 119-144, 1995b.
- GODOY, C. V.; CANTERI, M. G.; KOGA, L. J. Diagrammatic scale for assessment of soybean rust severity. **Fitopatologia Brasileira**, v. 31, p.63-68, 2006.
- HATFIELD, J. L., PINTER JR., P. J. Remote sensing for crop protection: application to plant pathology. **Phytopathology**, v. 80, n. 1, p. 37-39, 1990.

JULIATTI, F. C.; POLIZEL, A. C.; JULIATTI, A. C. **Manejo Integrado de Doenças na Cultura da soja**. Uberlândia: UFU. 2004. 327p.

NILSSON, H. E. Remote sensing and image analysis in plant pathology. *Canadian Journal of Plant Pathology*. Ottawa, v. 17, p. 154-166, 1995.

NUTTER JR., F.W., Detection and measurement of plant disease gradients in peanut with a multispectral radiometer. *Phytopathology*, St. Paul, v. 79, n. 9, p. 958-963, 1989.

NUTTER JR., F.W., LITTREL, R. H. Relationships between defoliation, canopy reflectance and pod yield in the peanut-late leafspot pathosystem. *Crop Protection*, Guilford, v. 15, n. 2, p. 135-142, 1996.

NUTTER JR., F.W., LITTREL, R. H., BRENNEMAN, T. B. Utilization of a multispectral radiometer to evaluate fungicide efficacy to control late leaf spot in peanut. *Phytopathology*, St. Paul, v. 80, n. 1, p. 102-108, 1990.

REIS, E. M.; BRESOLIN, A. C. R. Fatores climáticos e doenças de plantas. In: REIS, E. M. **Previsão de doenças de plantas**. Passo Fundo: Universidade de Passo Fundo, 2004. p. 23-45.

RITCHIE, S. W.; HANWAY, J.; THOMPSON, H. E.; How a soybean plant develops. Iowa State University of Science and Technology/Cooperative Extension Service. **Special Report**, n. 53, sept.1982.

SHANER, G.; FINNEY, R. F. The effects of nitrogen fertilization on the expression of show-mildwing in knox wheat. *Phytopathology*, v. 67, p. 1051 -1055, 1987.

TECNOLOGIAS DE PRODUÇÃO. Região Central do Brasil **Tecnologias de produção de soja**: 2008. Rio Verde: Embrapa Soja, 2008.

YORINORI, J. T.; JUNIOR, J. N.; LAZZAROTO, J. J. **Ferrugem “asiática” da soja no Brasil**: evolução, importância econômica e controle. Londrina: Embrapa Soja, 2004. 36p. (Documentos, 247)

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