

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

**COMPORTAMENTO DE FUNGICIDA EM PLANTAS
DE SOJA SUBMETIDAS A DIFERENTES REGIMES
HÍDRICOS E HORÁRIOS DE APLICAÇÃO**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Marlon Tagliapietra Stefanello

**Santa Maria, RS, Brasil
2014**

**COMPORTAMENTO DE FUNGICIDA EM PLANTAS DE
SOJA SUBMETIDAS A DIFERENTES REGIMES HÍDRICOS E
HORÁRIOS DE APLICAÇÃO**

Marlon Tagliapietra Stefanello

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de
Pós-Graduação em Agronomia, Área de Concentração em
Produção Vegetal, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como
requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Agronomia.

Orientador: Prof. Ricardo Silveiro Balardin

**Santa Maria, RS, Brasil
2014**

Ficha catalográfica elaborada através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Central da UFSM, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Stefanello, Marlon Tagliapietra

Comportamento de fungicida em plantas de soja submetidas a diferentes regimes hídricos e horários de aplicação / Marlon Tagliapietra Stefanello.-2014.

122 p.; 30cm

Orientador: Ricardo Silveiro Balardin

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, RS, 2014

1. Estresse hídrico 2. Controle químico 3. Déficit hídrico 4. Phakopsora pachyrhizi 5. Cercospora kikuchii
I. Balardin, Ricardo Silveiro II. Título.

**Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Ciências Rurais
Programa de Pós-Graduação em Agronomia**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,
aprova a Dissertação de Mestrado

**COMPORTAMENTO DE FUNGICIDA EM PLANTAS DE SOJA
SUBMETIDAS A DIFERENTES REGIMES HÍDRICOS E HORÁRIOS
DE APLICAÇÃO**

elaborada por
Marlon Tagliapietra Stefanello

como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Agronomia

Comissão Examinadora:

Ricardo Silveiro Balardin, Ph.D.
(Presidente/Orientador)

Ivan Francisco Dressler da Costa, Dr. (UFSM)

Marcelo Grippa Madalosso, Dr. (URI)

Santa Maria, 21 de fevereiro de 2014.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço à Deus por iluminar meu caminho e me dar forças para seguir sempre em frente.

À Universidade Federal de Santa Maria e ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia pela oportunidade de realização deste curso e aperfeiçoamento profissional.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão da bolsa.

Ao professor Ricardo Balardin pela oportunidade, orientação, ensinamentos e confiança.

À Clarice Rubin Balardin pela disponibilidade da estrutura e recursos que viabilizaram a realização dos experimentos.

À minha mãe Maria Tagliapietra Stefanello (in memoriam), que de algum lugar sempre esta me iluminando e dando forças.

Ao meu pai Reni Assis Cargnin Stefanello, minha madrastra Ceres Helena Xavier, meu irmão Fernando Tagliapietra Stefanello e demais familiares pela educação, ensinamentos, amor, companheirismo, apoio e que sempre foram meus exemplos de vida e minha motivação para seguir em frente e superar os desafios.

À minha namorada Aline Binotto Mazzardo pelo companheirismo, convivência e motivação nos momentos difíceis.

Agradecimento especial aos colegas do Instituto Phytus Diego Dalla Favera, Gerson Dalla Corte, Leandro Marques, Francis Maffini, Rafael Gai, Carla Siqueira, Pablo Serafini, Paulo Sérgio Santos, Simone Minuzzi, Carol Gulart, Felipe Frigo, Juliano Perlin, Juliano Uebel, Nédio Rodrigo Tormen, André Ebone, Fabiano Arbugeri, Heraldo Cezar, Lucas Foggiato (in memoriam), Daniela Pezzini, Débora Schreiner, Carlos Rodrigo Bigolin, Lucas Drebes, Jonas Dahmer, Diogo Patias, Angelica Marian, Eduardo Canova, Gabriel Finatto, Aline Camargo, Marcos Tomazetti, Pedro Cadore, Marcelo Madalosso, Mônica Debortoli, pela amizade e contribuição ao trabalho.

Aos funcionários do Instituto Phytus Paulo Lopes, Antão dos Santos, Eduardo Lopes e Vani Nascimento pela amizade e convivência.

Aos professores do Programa de Pós-graduação em Agronomia e do Curso de Agronomia da UFSM pelos inúmeros ensinamentos.

Aos membros da banca avaliadora pela disponibilidade, sugestões e contribuições para melhoria do trabalho.

A todos aqueles não listados e que de algumas maneira contribuíram para que eu chegasse até aqui, o meu muito obrigado.

EPÍGRAFE

O saber a gente aprende com os mestres e com os livros.
A sabedoria se aprende é com a vida e com os humildes.

Cora Coralina

"Bote fé que terás uma bússola que indica a direção.
Bote esperança e todos os seus dias serão iluminados e
o seu horizonte já não será escuro, mas luminoso.
Bote amor e a sua existência será como uma casa construída sobre a rocha,
o seu caminho será alegre, porque encontrará muitos amigos que caminham com você.
Bote fé, bote esperança, bote amor, e a vida terá um novo sabor"

Jorge Mario Bergoglio (Papa Francisco)

RESUMO

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-Graduação em Agronomia
Universidade Federal de Santa Maria

COMPORTAMENTO DE FUNGICIDA EM PLANTAS DE SOJA SUBMETIDAS A DIFERENTES REGIMES HÍDRICOS E HORÁRIOS DE APLICAÇÃO

AUTOR: MARLON TAGLIAPIETRA STEFANELLO

ORIENTADOR: RICARDO SILVEIRO BALARDIN

Local e Data: Santa Maria/RS, 21 de fevereiro de 2014.

Os fatores climáticos, em especial o déficit hídrico, provocam alterações nos aspectos morfofisiológicos e bioquímicos nas plantas de soja, que conseqüentemente, afetam o comportamento de aplicações fungicidas foliares e a patogenicidade de fungos. O presente trabalho objetivou avaliar o comportamento de fungicida em plantas de soja submetidas a diferentes regimes hídricos e horários de aplicação. Para isso foram conduzidos dois experimentos, sendo um em casa de vegetação e outro à campo, ambos no município de Itaara – RS. Em casa de vegetação foi utilizado o delineamento inteiramente casualizado com quatro repetições, em arranjo trifatorial (2x6x5), cujos fatores foram, fator 01: dois regimes hídricos (50-60% da capacidade de campo e 90-100% da capacidade de campo); fator 02: cinco horários de aplicação (04:00, 09:00, 14:00, 18:00, 23:00 horas), além de um testemunha sem aplicação; fator 03: quatro intervalos de tempo entre a aplicação de fungicida e a aplicação de chuva simulada (0, 30, 60 e 120 min) mais uma testemunha sem chuva. Foi utilizado o fungicida composto pelos ingredientes ativos Trifloxistrobina + Protiocanazol (70,0 + 60,0 g i.a.ha⁻¹) com adição de Aureo[®] na dose de 0,375 L p.c ha⁻¹. Os parâmetros avaliados foram o tempo decorrido entre a aplicação e o surgimento da primeira pústula de ferrugem asiática, a severidade de *Phakopsora pachyrhizi* e *Cercospora kikuchii* em folhas, incidência de *C. kikuchii* em grãos, teor relativo de clorofila, densidade estomática, densidade de tricomas, concentração de peróxido de hidrogênio e peroxidação lipídica, produtividade e a massa de grão. À campo foi utilizado o delineamento experimental de blocos ao acaso com parcelas subdivididas. O experimento constituiu-se de dois fatores (6x5). O primeiro fator foi composto pelos horários de aplicação (04:00, 09:00, 14:00, 18:00, 23:00 horas), e uma testemunha sem aplicação de fungicida. O segundo fator foi composto pelos intervalos de tempo entre a aplicação de fungicidas e a simulação de chuva (2, 30, 60 e 120 min), mais uma testemunha sem chuva. Os parâmetros avaliados foram a severidade de ferrugem asiática e o teor relativo de clorofila estratificados nos três terço do dossel, área abaixo da curva de progresso da doença, produtividade e massa de 100 grãos. Os resultados obtidos indicam que a penetração de fungicida é mais rápida em trifólios sob luz solar. Verifica-se que a aplicação de fungicida em plantas sob déficit hídrico proporciona o maior número de dias para o aparecimento da primeira pústula. A simulação de chuva tem maior efeito na remoção de fungicidas em aplicações realizadas à noite. A aplicação de fungicida em trifólios realizada às 09:00 horas proporciona o maior número de dias para o aparecimento da primeira pústula. As plantas de soja em déficit hídrico desenvolvem estratégias para reduzir a perda de água, o que afeta a patogenicidade de *Phakopsora pachyrhizi* e *Cercospora kikuchii*.

Palavras-chave: *Phakopsora pachyrhizi*. *Cercospora kikuchii*. Chuva simulada. Déficit hídrico. Estresse hídrico. Controle químico. Capacidade de campo.

ABSTRACT

Master Dissertation
Programa de Pós-Graduação em Agronomia
Universidade Federal de Santa Maria

PERFORMANCE OF FUNGICIDE IN SOYBEAN PLANTS UNDER DIFFERENT WATER REGIMES AND TIMES OF APPLICATION

AUTHOR: MARLON TAGLIAPIETRA STEFANELLO

ADVISOR: RICARDO SILVEIRO BALARDIN

Local and Date: Santa Maria/RS, february 21th, 2014

The climatic factors, especially water deficit, cause changes in biochemical and morphophysiological aspects in soybean plants, which consequently affect the performance of fungicide applications on leaves and pathogenicity of fungi. This study aimed to evaluate the performance of fungicide in soybean under different water regimes and times of application. For this purpose two experiments were conducted, one in the greenhouse and one on the field, both in Itaara – RS, Brazil. The experimental design in greenhouse was composed by completely randomized design with four replications in a factorial (2x6x5), which factors were composed, factor 01: two water regimes (50-60% of the field capacity and 90-100% of the field capacity); factor 02: five times of application (04:00 a.m., 09:00 a.m., 14:00 p.m., 18:00 p.m., 23:00 p.m.) and a control without fungicide applying; factor 03: four time periods between the fungicide application and simulated rain (0, 30, 60 and 120') plus a control with no rain. Fungicide comprising the active ingredients Trifloxystrobin + Prothioconazole (70.0 + 60.0 g ha⁻¹ a.i.) was used with the addition of Aureo® at a dose of 0.375 l ha⁻¹ c.p. The parameters evaluated were the number of days until the first pustule preview of asian rust, the severity of *Phakopsora pachyrhizi* and *Cercospora kikuchii* in leaves, incidence of *C. kikuchii* in grain, relative chlorophyll content, stomatal density, trichome density, concentration of hydrogen peroxide, lipid peroxidation, yield and grain weight. The experimental design in the field was composed by randomized blocks with split plots. The experiment consisted of two factors (6x5). The first factor was composed of the application time (04:00 a.m., 09:00 a.m., 14:00 p.m., 18:00 p.m., 23:00 p.m.) and a control without fungicide applying. The second factor was composed of the time periods between the fungicide application and simulated rain (0, 30, 60 and 120') plus a control with no rain. The parameters evaluated were the severity of the asian rust, the relative chlorophyll content stratified in three thirds of the canopy, area under the disease progress curve, yield and hundred grain weight. The results indicate that the penetration of fungicide is faster in leaflets in sunlight. It finds that the application of fungicides in plants under water deficit provides the greatest number of days until the first pustule preview. The simulated rainfall has a greater effect on the removal of fungicide applications made at night. The fungicide application in leaflets made at 09:00 am provides the greatest number of days until the first pustule preview. Soybean plants in water deficit develop strategies to reduce the loss of water, which affects the pathogenicity of *Phakopsora pachyrhizi* and *Cercospora kikuchii*.

Key words: *Phakopsora pachyrhizi*. *Cercospora kikuchii*. Simulated rainfall. Water deficit. Water stress. Chemical control. Field capacity.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Preparação do substrato (1A), substrato em estufa para secagem (1B), pesagem do vaso + saco plástico (0,185 kg) (1C), pesagem do vaso + saco plástico + 5 kg de solo seco (5,185 kg) (1D), pesagem do tubo PVC (0,030 kg) (1E), pesagem total do vaso + saco plástico + solo seco + tubo de PVC (5,215 kg). Itaara – RS, 2013.	36
Figura 2 – Regimes hídricos: C/D – com déficit hídrico (capacidade de campo de 50-60%), S/D – sem déficit hídrico (capacidade de campo de 90-100%). Itaara – RS, 2013.....	37
Figura 3 – Pesagem da planta à ser considerada no cálculo do volume da água de irrigação. Itaara – RS, 2013.	37
Figura 4 – Simulador de chuva desenvolvido por Debortoli (2008), para aplicação dos tratamentos em casa de vegetação. Itaara – RS, 2013.	39
Figura 5 – Sintomas de <i>Cercospora kikuchii</i> em grãos nos legumes (1A), incidência da doença em grãos (1B). Itaara – RS, 2013.....	41
Figura 6 – Visualização dos tricomas (1A) e estômatos (1B) em um sistema de fotomicroscópio com um acessório de computador (Modelo, Leica, Wetzlar, Alemanha). Itaara – RS, 2013.	42
Figura 7 – Precipitação e temperatura média semanal incidentes na área experimental na safra agrícola 2012/13. Dados oriundos de estação meteorologia automática localizada na área experimental. Itaara – RS, 2013.	45
Figura 8 – Simulador de chuva desenvolvido para o experimento para aplicação dos tratamentos à campo (1A, 1B, 1C), detalhe do microaspersor (1D). Itaara – RS, 2013.....	48
Figura 9 – Densidade de estômatos e tricomas em folhas de plantas sem déficit hídrico e com déficit hídrico. Itaara – RS, 2013.....	66
Figura 10 – Tricomas de folhas em plantas sem déficit hídrico (1A), tricomas de folhas em plantas sob déficit hídrico (1B). Itaara – RS, 2013.....	66
Figura 11 – Peróxido de hidrogênio em folhas de plantas submetidas a diferentes regimes hídricos. Itaara – RS, 2013.....	68
Figura 12 – Peroxidação lipídica em folhas de plantas submetidas a diferentes regimes hídricos. Itaara – RS, 2013.....	68
Figura 13 – Severidade de <i>Phakopsora pachyrhizi</i> na interação entre horário de aplicação e intervalos de simulação de chuva aos 21 DAA1. Itaara – RS, 2013..	81

Figura 14 – Teor relativo de clorofila (TRC) de folhas do terço inferior do dossel da cultura aos 10 DAA1 na interação entre horário de aplicação e intervalos de simulação de chuva. Itaara – RS, 2013	83
Figura 15 – Teor relativo de clorofila (TRC) de folhas do terço inferior do dossel da cultura aos 20 DAA1 na interação entre horário de aplicação e intervalos de simulação de chuva. Itaara – RS, 2013	84
Figura 16 – Teor relativo de clorofila (TRC) de folhas do terço médio do dossel da cultura aos 20 DAA1 na interação entre horário de aplicação e intervalos de simulação de chuva. Itaara – RS, 2013	85
Figura 17 – Massa de grãos da soja ($\text{g } 100\text{grãos}^{-1}$) na média dos horários de aplicação. Itaara – RS, 2013	88
Figura 18 – Massa de grãos da soja ($\text{g } 100\text{grãos}^{-1}$) na média dos intervalos de simulação de chuva. Itaara – RS, 2013	89

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Horário, data, estágio de desenvolvimento da cultura, temperatura, umidade relativa do ar (URA) e velocidade do vento (Vel. Vento) no momento das aplicações na cultura da soja. Itaara – RS, 2013.	38
Tabela 2 – Horário, data, estágio de desenvolvimento da cultura, temperatura, umidade relativa do ar (URA) e velocidade do vento (Vel. Vento) no momento das aplicações na cultura da soja. Itaara – RS, 2013.	46
Tabela 3 – Número de dias para o aparecimento da primeira pústula de <i>Phakopsora pachyrhizi</i> na interação entre regimes hídrico, horários de aplicação e intervalos de simulação de chuva após a aplicação. Itaara – RS, 2013.	58
Tabela 4 – Severidade de <i>Phakopsora pachyrhizi</i> na interação entre regimes hídrico, horários de aplicação e intervalos de simulação de chuva após a aplicação aos 30 DAA. Itaara – RS, 2013.	59
Tabela 5 – Severidade de <i>Cercospora kikuchii</i> na interação entre regimes hídrico, horários de aplicação e intervalos de simulação de chuva após a aplicação aos 30 DAE. Itaara – RS, 2013.	62
Tabela 6 – Incidência de <i>Cercospora kikuchii</i> em grãos de soja na interação entre horário de aplicação e intervalos de simulação de chuva. Itaara – RS, 2013.	63
Tabela 7 – Teor relativo de clorofila (TRC) de folhas de soja na interação entre horário de aplicação e intervalos de simulação de chuva aos 30 DAA. Itaara – RS, 2013.	64
Tabela 8 – Produtividade de soja (g planta ⁻¹) na interação entre regimes hídrico, horários de aplicação e intervalos de simulação de chuva após a aplicação. Itaara – RS, 2013.	72
Tabela 9 – Massa de grão de soja (g grão ⁻¹) na interação entre regime hídrico e horário de aplicação. Itaara – RS, 2013.	73
Tabela 10 – Massa de grão de soja (g grão ⁻¹) na interação entre horário de aplicação e intervalos de simulação de chuva. Itaara – RS, 2013.	73
Tabela 11 – Coeficiente de correlação linear de Pearson para o regime com déficit hídrico entre as variáveis número de dias para o aparecimento da primeira pústula (NDAPP), severidade de <i>Phakopsora pachyrhizi</i> (SEVP), severidade de <i>Cercospora kikuchii</i> (SEVC), incidência em grãos de <i>C. kikuchii</i> (INCGRÃOS), teor relativo de clorofila aos 30 dias após a	

aplicação de fungicida (CLOR 30), produtividade de soja (PROD) e massa de grão (MASSA GRÃO). Itaara – RS, 2013.	75
Tabela 12 – Coeficiente de correlação linear de Pearson para o regime sem déficit hídrico entre as variáveis número de dias para o aparecimento da primeira pústula (NDAPP), severidade de <i>Phakopsora pachyrhizi</i> (SEVP), severidade de <i>Cercospora kikuchii</i> (SEVC), incidência em grãos de <i>C. kikuchii</i> (INCGRÃOS), teor relativo de clorofila aos 30 dias após a aplicação de fungicida (CLOR 30), produtividade de soja (PROD) e massa de grão (MASSA GRÃO). Itaara – RS, 2013.	76
Tabela 13 – Área abaixo da curva de progresso de <i>Phakopsora pachyrhizi</i> (AACPP) na interação entre horário de aplicação e intervalos de simulação de chuva. Itaara – RS, 2013. .	81
Tabela 14 – Produtividade da soja (kg ha ⁻¹) na interação entre horário de aplicação e intervalos de simulação de chuva. Itaara – RS, 2013.....	87
Tabela 15 – Coeficiente de correlação linear de Pearson entre as variáveis severidade de <i>Phakopsora pachyrhizi</i> (SEV), área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD), teor relativo de clorofila (CLOR) aos 10 e 20 dias após a primeira aplicação de fungicida, nos terços inferior (I) e médio (M), produtividade da soja (PROD) e massa de 100 grãos (100 GRÃOS). Itaara – RS, 2013.	90

LISTA DE APÊNDICES

APÊNDICE A – Análise da variância das variáveis em casa de vegetação.....	111
APÊNDICE B – Análise da variância das variáveis à campo.....	119

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	21
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	23
2.1 Aplicação de fungicida	23
2.2 Horário de Aplicação.....	23
2.3 Efeito da chuva e orvalho na aplicação de fungicidas.....	25
2.4 Doenças em soja: ferrugem asiática e crestamento foliar de <i>Cercospora</i>	26
2.5 Comportamento morfológico, fisiológico e bioquímico em plantas sob déficit hídrico	28
3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	33
3.1 Experimento em casa de vegetação.....	33
3.1.1 Local, condições do ambiente, implantação e manejo da cultura	33
3.1.2 Tratamentos e delineamento experimental	34
3.1.2.1 Regime hídrico	34
3.1.2.2 Horário de aplicação	37
3.1.2.3 Simulação de chuva	38
3.1.2.4 Inoculação de <i>Phakopsora pachyrhizi</i> e <i>Cercospora kikuchii</i>	39
3.1.3 Parâmetros avaliados	40
3.1.3.1 Número de dias para a visualização da primeira pústula de <i>Phakopsora</i> <i>pachyrhizi</i>	40
3.1.3.2 Severidade de <i>Phakopsora pachyrhizi</i> e <i>Cercospora kikuchii</i>	40
3.1.3.3 Incidência de <i>Cercospora kikuchii</i> em grãos de soja.....	41
3.1.3.4 Teor relativo de clorofila (TRC).....	41
3.1.3.5 Densidade de estômatos e tricomas	41
3.1.3.6 Concentração de peróxido de hidrogênio e peroxidação lipídica.....	42
3.1.3.7 Produtividade da soja e massa de grão	43
3.1.4 Análise estatística	43
3.2 Experimento à campo	44
3.2.1 Local, condições do ambiente, implantação e manejo da cultura	44
3.2.2 Tratamentos e delineamento experimental	45
3.2.2.1 Horário de aplicação	45
3.2.2.2 Simulação de chuva	46
3.2.3 Parâmetros avaliados	48
3.2.3.1 Severidade de <i>Phakopsora pachyrhizi</i> e Área Abaixo da Curva de Progresso da Doença (AACPD)	48
3.2.3.2 Teor relativo de clorofila (TRC).....	49
3.2.3.3 Produtividade por hectare e massa de 100 grãos.....	50

3.2.4 Análise estatística	50
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	51
4.1 Experimento em casa de vegetação	51
4.1.1 Parâmetros relacionados à doença	51
4.1.1.1 Número de dias para o aparecimento da primeira pústula e severidade de <i>Phakopsora pachyrhizi</i>	51
4.1.1.2 Severidade em folhas, incidência em grãos de <i>Cercospora kikuchii</i> em soja ..	59
4.1.2 Parâmetros relacionados à fisiologia e morfologia da cultura	63
4.1.2.1 Teor relativo de clorofila (TRC)	63
4.1.2.2 Densidade de estômatos e tricomas em folhas	64
4.1.2.3 Concentração de peróxido de hidrogênio e peroxidação lipídica	67
4.1.3 Parâmetros relacionados à produtividade da soja	69
4.1.3.1 Produtividade da soja e massa de grão	69
4.1.4 Correlações entre as variáveis	73
4.2 Experimento à campo	76
4.2.1 Parâmetros relacionados à doença	76
4.2.1.1 Severidade de <i>Phakopsora pachyrhizi</i> aos 21 dias após a primeira aplicação (21DAA1) e Área Abaixo da Curva de Progresso da Doença (AACPD)	76
4.2.2 Parâmetros relacionados à fisiologia da cultura	82
4.2.2.1 Teor relativo de clorofila (TRC)	82
4.2.3 Parâmetros relacionados à produtividade da soja	85
4.2.3.1 Produtividade da soja e massa de 100 grãos	85
4.2.4 Correlações entre as variáveis	89
5 CONCLUSÕES	91
REFERÊNCIAS	93
APÊNDICES	109

1 INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, o uso de fungicidas na agricultura tornou-se um fator crucial para o controle efetivo de doenças em plantas, uma vez que infecções fúngicas causam reduções de produtividade de lavouras em todo o mundo. No entanto a ferrugem asiática da soja e o crestamento foliar por cercospora causadas pelos fungos *Phakopsora pachyrhizi* e *Cercospora kikuchii* respectivamente, vem se destacando nesse cenário, pois o molhamento foliar contínuo, promovido pela chuva ou por orvalho e sob condições ótimas de temperatura favorece o rápido estabelecimento e desenvolvimento dos patógenos.

A pesquisa produziu uma diversidade de produtos fungicidas com novos modos de ação que, devido ao seu custo relativamente baixo, facilidade de utilização e eficácia de controle, tornaram-se o principal meio de controle dessas doenças.

Além das perdas atribuídas exclusivamente às doenças, são relatadas perdas por ocorrência de adversidades climáticas como a seca. A imprevisibilidade das variações climáticas tanto de chuvas como de déficit hídrico, tornaram-se um fator de preocupação no controle de doenças, principalmente pela limitação de estudos que expliquem o comportamento das aplicações fungicidas ou mesmo da interação dos produtos aplicados em parte aérea sob plantas em estresse.

Na condição de déficit hídrico a planta desenvolve mecanismos de defesa bioquímicas e estruturas pós-formadas em respostas ao tratamento com agentes abióticos (BONALDO et al., 2005; CAVALCANTI et al., 2005), proporcionando resistência a desidratação da planta. Essas alterações morfofisiológicas e bioquímicas podem conferir diferentes respostas nas aplicações quanto à difusão do fungicida em folhas, bem como, seus efeitos na patogenicidade de fungos em plantas submetidas a estas condições.

A interação de fungicidas com a planta está relacionada com a velocidade de difusão para o interior da folha, que por sua vez é dependente tanto das características inerentes aos ingredientes ativos aplicados, como também da constituição da epiderme das folhas que recebem o produto (REIS et al., 2001).

O nível de eficiência de controle irá depender da severidade da doença no momento da aplicação, da sistemicidade, velocidade de difusão e eficácia do fungicida, do equipamento de pulverização utilizado, volume de calda, tamanho das gotas, densidade de plantas que

favoreça a máxima cobertura foliar do fungicida e dos horários de aplicação devidos as diferentes condições meteorológicas no momento da aplicação (TSUMANUMA, 2009).

Na tomada de decisão, em função de aplicações fungicidas sobre plantas em diferentes regimes hídricos, o conhecimento do comportamento das aplicações em diferentes horários do dia, que permita uma melhor resposta no controle de doenças, torna-se fundamental para a obtenção de um manejo sustentável em busca de elevadas produtividades.

Dessa forma o presente trabalho teve como objetivo geral avaliar o comportamento de fungicida em plantas de soja submetidas a diferentes regimes hídricos e horários de aplicação, visando o controle de *Phakopsora pachyrhizi* e *Cercospora kikuchii*. Ainda, o trabalho teve por objetivos específicos: mensurar a influência que o déficit hídrico apresenta sobre a patogenicidade de *Phakopsora pachyrhizi* e *Cercospora kikuchii* em soja; mensurar a taxa de penetração do fungicida para o interior da folha em diferentes horários do dia; avaliar o controle de *Phakopsora pachyrhizi* e *Cercospora kikuchii* e seu efeito na produtividade da soja em plantas sob diferentes regimes hídrico e horários de aplicação fungicida.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Aplicação de fungicida

A penetração de substâncias em folhas é um processo passivo impulsionado por gradientes de concentração. De acordo com a lei de Fick, o gradiente de concentração é a força motriz para a difusão. As taxas de penetração por difusão de qualquer solução externamente aplicada sobre a superfície da folha, dependem tanto da sua concentração na superfície como da concentração no interior da folha.

A concentração de uma determinada solução no interior da folha, depende da natureza do composto em estudo e de fatores fisiológicos das plantas, tais como a mobilidade e a taxa de penetração na epiderme e células do mesófilo (GRIGNON et al., 1999; EWERT et al., 2000). Em comparação com as concentrações externas das substâncias de aplicação foliar, em especial para as concentrações das gotículas aplicadas ou os seus resíduos após alcançado o equilíbrio com a atmosfera, as concentrações internas abaixo da gota são supostamente muito menor, especialmente no início de um tratamento foliar. Portanto, pode-se dizer que as taxas de difusão foliar são principalmente governadas pela concentração externa dos solutos.

A difusão foliar de pulverização é determinada por muitas características planta-ambiente o que acabará por ter uma influência direta em fatores como a morfologia da folha, estrutura, posição, exposição ao sol e taxa de processos fisiológicos na planta.

2.2 Horário de Aplicação

A aplicação por pulverização é um processo complexo e pode ser drasticamente influenciado pelos elementos do clima como temperatura, umidade relativa do ar, velocidade do vento e luminosidade. Essas condições da atmosfera em diferentes horários do dia, exercem efeito sobre o comportamento físico das soluções pulverizadas e o estado fisiológico da planta, que subsequente afetarão a penetração foliar de substâncias e no processo de distribuição (RAMSEY et al., 2005; CURRIER; DYBING, 1959).

As condições de clima devem ser favoráveis à penetração e translocação dos produtos. Em geral, no momento da aplicação a temperatura deve estar abaixo de 30°C, velocidade do vento entre 3 a 10 km h⁻¹ e umidade relativa do ar acima de 55% (ANDEF, 2004).

A umidade relativa do ar é um fator chave que influencia a penetração de soluções aplicadas na folha, uma vez que irá afetar a taxa de hidratação da cutícula e, assim, os mecanismos de penetração de solutos através da superfície da folha (FERNÁNDEZ et al., 2008a) e a evaporação das soluções aplicadas (EICHERT et al., 1998; SCHÖNHERR, 2000).

A alta umidade do ar normalmente estimula a penetração de nutrientes aplicados nas folhas (TUKEY; MARCZYNSKI, 1984). Bukovac e Wittwer (1959) mostraram que a penetração de P pelas folhas de feijoeiro foi duplicada quando o tratamento na superfície foi mantido úmido, em comparação com os tratamentos semelhantes em que a superfície da folha foram mantidas a seco. Schönherr (2001) relatou uma penetração reforçada de Ca²⁺ pela pêra (*Pyrus communis*), com o aumento da umidade do ar de 50 para 90%. No entanto Van Goor (1973) mostrou que a dinâmica de penetração de nutrientes minerais pelas folhas está inversamente relacionada com a umidade do ar. O autor demonstrou um aumento da penetração Ca²⁺ através da membrana cuticular do fruto em maçã correlacionada com a diminuição da umidade do ar durante o período inicial de tempo. Este fenômeno é explicado por um aumento da concentração das gotículas de Ca²⁺, como resultado da sua secagem que consequentemente aumentou o gradiente de concentração para a difusão.

Os efeitos da temperatura são geralmente expressados como a energia de ativação de difusão. As energias de ativação de difusão são interpretadas como a energia necessária para produzir volumes livres num polímero suficientemente grande para acomodar a molécula por difusão (BAUR et al., 1997). Consequentemente, a energia de ativação aumenta com o aumento do tamanho da molécula e um aumento na temperatura aumenta as taxas de penetração.

Os autores Reed e Tukey (1982) em trabalho realizado com nutrientes aplicados na superfície de folhas, afirmam que sob condições de altas temperaturas do ar a cera da superfície têm configuração vertical e a cobertura da superfície da folha diminui o que consequentemente pode aumentar a penetração de nutrientes. Esta visão é aceita por Kirkwood et al. (1972) e Lurie et al. (1996) que demonstraram que mesmo ligeiras alterações na configuração molecular de ceras superficiais afetam significativamente a taxa de penetração de nutrientes.

Os efeitos da luz solar na difusão de produtos para o interior da folha esta associada às taxas de transpiração das plantas durante o dia. Todos os fatores exógenos e endógenos que

afetam a transpiração estão sujeitos a alterações durante o dia, originando uma periodicidade diurna na taxa em que este processo ocorre. Para a maior parte das plantas durante a noite a taxa de transpiração é baixa, perto de zero, aumentando depois do nascer do Sol até atingir o máximo ao meio-dia. Na parte da tarde a transpiração começa a diminuir até atingir, ao entardecer, os valores mínimos, semelhantes aos da noite (SEBANEK, 1992).

A luz influencia na abertura e fechamento estomático, atuando em diversos processos fisiológicos na planta, que podem estar relacionados a diferentes respostas das pulverizações realizadas na folha. À noite, quando não há fotossíntese e, assim nenhuma demanda por CO_2 dentro da folha, as aberturas estomáticas se mantêm pequenas ou fechadas, impedindo perda desnecessária de água (TAIZ; ZAIGER, 2013). Com isso a densidade de pressão de vapor nos espaços intercelulares está muito perto da saturação. Nestas condições o potencial da água nas paredes das células está muito próximo de zero, assim como o potencial hídrico das células do mesófilo com o qual aquela água está em equilíbrio (MEIDNER; SHERIFF, 1976).

Em uma manhã ensolarada, quando o suprimento de água é abundante e a radiação solar incidente nas folhas favorece a alta atividade fotossintética, a demanda por CO_2 dentro da folha é grande, e as fendas estomáticas se abrem amplamente (TAIZ; ZAIGER, 2013). A perda de água por transpiração é substancial nessas condições, mas, uma vez que o suprimento hídrico é abundante, é vantajoso para a planta intercambiar a água por produtos da fotossíntese, essenciais para o crescimento e reprodução. Por esta perda de água da planta para a atmosfera, o comportamento das aplicações fungicidas podem ser diferenciadas durante o dia.

2.3 Efeito da chuva e orvalho na aplicação de fungicidas

A chuva e orvalho são fatores climáticos que também requerem atenção no momento das aplicações. Dentre todos os processos que podem ocorrer no meio ambiente de modo a prejudicar a eficácia dos fungicidas a chuva exerce grande efeito na atividade residual e na eficácia dos produtos de aplicação via foliar (MCDOWELL et al., 1987; SCHEPERS, 1996), considerando que a mesma venha logo após as aplicações.

A ocorrência de chuva pode afetar a estrutura e atividade do produto pela sua diluição, redistribuição, remoção física ou ainda pela remoção dos tecidos (THACKER; YOUNG, 1999). Neste caso, recomenda-se bastante cuidado na observação do intervalo mínimo de

tempo entre a aplicação e a ocorrência da chuva, visando permitir o tempo mínimo para a ação dos produtos.

O conhecimento da persistência dos produtos após a ocorrência de chuvas é essencial para otimizar a utilização dos mesmos (SCHEPERS, 1996). Tal fato permite estimar mais precisamente sua atividade residual (NEELY, 1971; KUDSK et al., 1991) e ajuda a estabelecer parâmetros para definir a necessidade de reaplicação após a ocorrência de chuvas (MCDOWELL et al., 1987; CABRAS et al., 2001). Além disso, estas informações são importantes para desenvolver modelos matemáticos que visam prever o transporte de agroquímicos através dos efluentes de água (SMITH et al., 1981), solo e absorção pelas plantas (MCDOWELL et al., 1987; WAUCHOPE et al., 2004).

A deposição de gotas de água por condensação sobre a superfície foliar, na forma de orvalho, durante as aplicações noturnas, madrugadas e/ou início da manhã, pode causar interferência na técnica de aplicação. A transformação do vapor de água do ar, em gotas de água, proporciona o acúmulo deste líquido, sobre qualquer superfície esfriada pelo processo normal e natural de perda de calor para o ambiente. Slatyer e McIlroy (1961) afirmaram que o orvalho já formado pode persistir por algumas horas ou ainda o dia todo, embora seja mais frequente a evaporação entre uma ou duas horas depois da condensação cessar.

A formação de orvalho indica a ocorrência de condições de elevada umidade do ar e temperaturas mais amenas, propícias para as aplicações (MENEGHETTI, 2006). O orvalho pode aumentar a área total de interceptação do produto e reduzir o impacto de grandes gotas em folhagens superficiais, evitando sua perda a partir das folhas (JOHNSTONE, 1973). Por outro lado, o excesso de formação de orvalho, tem restringido as pulverizações, reduzindo e limitando o período favorável para a aplicação de fungicidas. Em trabalhos realizados com herbicidas sistêmicos, em diferentes culturas e em dessecação, quando se realizaram aplicações com volumes elevados e com elevada presença de orvalho, ocorreu escorrimento do produto das folhas, com o produto não atingindo efetivamente o alvo. Além do escorrimento, Muro (1991) relata que o efeito negativo do orvalho pode ser pela diluição do produto antes que ocorra a penetração.

2.4 Doenças em soja: ferrugem asiática e crestamento foliar de *Cercospora*

A soja é uma cultura de grande importância para a economia brasileira, visto que o Brasil figurou como maior produtor mundial do grão na safra de 2012/13. Nesta safra, o cultivo de soja ocupou uma área estimada de 27.721,6 mil hectares, apresentando um incremento de 10,7% em comparação com o verificado na temporada 2011/12, totalizando uma produção de 81.456,7 milhões de toneladas de grãos (CONAB, 2013). Os valores de produção ainda não são maiores devido as doenças causadas por fungos, bactérias, nematóides e vírus, que limitam a produtividade máxima da cultura causando perdas anuais de 15 a 20%. Segundo a Embrapa (2005), algumas doenças se não controladas podem ocasionar até 100% de perda.

A principal doença que atinge a cultura da soja é a ferrugem asiática, causada pelo fungo *Phakopsora pachyrhizi* Sidow. Este patógeno é uma das principais preocupações dos produtores de soja do Brasil, pois causou prejuízos estimados em 41,73 milhões de toneladas, representando US\$ 10,32 bilhões. O alto potencial de dano à cultura é devido ao rápido amarelecimento e queda prematura de folhas, prejudicando a plena formação dos grãos.

Segundo Lobo Junior (2006), nas regiões do Brasil onde a ocorrência da ferrugem foi mais severa, houve a necessidade de se fazer até quatro aplicações de fungicidas para o seu controle e os danos provocados na produção variaram entre 30 e 80%. A infecção provocada pelo fungo, logo após o início da floração é mais comprometedora, pois sua severidade aumenta significativamente durante o estágio fenológico, capazes de promover a desfolha prematura das plantas de soja e provocar o abortamento e queda das vagens. Balardin et al. (2010) relatam que os danos pela ferrugem asiática são relativos principalmente à redução do número de vagens e peso de grãos podendo ser verificadas também reduções no conteúdo de óleo, porém sem decréscimos nos teores de proteína.

Apesar do grande número de produtos comerciais, até o momento, a ferrugem asiática pode ser controlada pelos grupos ativos, triazóis, estrobilurinas, cloronitrilos e carboxamidas (BUTZEN et al., 2005a).

A importância do crestamento foliar de cercospora [*Cercospora kikuchii* (Matsumoto e Tomoyasu) Gardner] em soja é indiscutível (WRATHER et al., 1997), embora nos últimos anos a ferrugem asiática venha se destacando (EMBRAPA, 2008). No Brasil, a doença está disseminada por todas as regiões produtoras de soja, porém causando maiores danos em regiões mais quentes e chuvosas (ALMEIDA et al., 1997).

O crestamento foliar de *Cercospora* é conhecido como doença de final de ciclo (DFC) por ocorrer com maior severidade na fase final de granação da soja, que podem causar perdas superiores a 20% (EMBRAPA, 1999). O fungo além de prejudicar a área fotossinteticamente

ativa da folha, causa descoloração em grãos como resultado do processo de colonização. Os grãos ostentam a coloração vermelha azulada ou purpúrea de onde decorre o nome comum da doença (HARTMAN et al., 1999). Entre as principais medidas de controle dessas doenças estão a utilização de sementes sadias, o tratamento de sementes, a incorporação dos restos culturais, a aplicação de fungicidas entre o florescimento e o enchimento de grãos e a rotação com espécies não suscetíveis (SINCLAIR; BACKMAN, 1989; EMBRAPA, 1999).

O controle de doenças em plantas, segundo Balardin (2004), resulta em benefício fitopatológico direto, devido ao impedimento do estabelecimento do patógeno, além de afetar o resultado fisiológico, cujo prejuízo fica minimizado possibilitando à planta plena manifestação de seu metabolismo basal ao invés de buscar o acúmulo de produtos relacionados à defesa.

2.5 Comportamento morfológico, fisiológico e bioquímico em plantas sob déficit hídrico

A água é o recurso mais abundante e, ainda, frequentemente o mais limitante que as plantas necessitam para crescer e funcionar. A maior parte da água utilizada pelas plantas é absorvida pelas raízes a partir do solo. Quando o solo está saturado de água, isto é, quando ele atingiu a capacidade de campo, o potencial hídrico do solo pode aproximar-se de zero. Contudo, quando o solo está seco, seu potencial hídrico pode ficar abaixo de -1,5 Mpa reduzindo a disponibilidade de água para a planta causando déficit hídrico (TAIZ; ZAEGER, 2013).

O déficit hídrico é caracterizado pela perda de água pela planta que excede a sua taxa de absorção e deste modo atua diretamente nas relações hídricas impactando negativamente o crescimento e desenvolvimento das plantas (COSTA et al., 2008). Assim, existe um conflito entre a conservação da água pela planta e a taxa de assimilação de CO² para produção de carboidratos (TAIZ; ZEIGER, 1991), que induz a planta a desenvolver mecanismos morfológicos, fisiológicos e bioquímicos, que as conduzem a economizar água para uso em períodos posteriores (MCCREE; FERNÁNDEZ, 1989), visando a produção de sementes.

Portanto, a plasticidade fenotípica é a habilidade de um organismo em alterar sua fisiologia/morfologia em resposta a mudanças nas condições ambientais; habilidade particularmente importante para as plantas, cujo estilo de vida estática requer que as mesmas lidem com as diferentes condições ambientais (SCHLICHTING, 1986).

A indução de resistência representa uma importante ferramenta para sobrevivência de plantas sob condições adversas. Nesta situação a planta desenvolve mecanismos de defesa bioquímicas e estruturas pós-formadas em respostas ao tratamento com agentes abióticos (BONALDO et al., 2005; CAVALCANTI et al., 2005) em especial a falta de água no solo, proporcionando resistência a desidratação da planta.

Em ambientes com limitações hídricas, algumas características morfológicas dos vegetais são consideradas adaptativas, tais como: a redução da relação entre superfície e volume, cutícula e paredes periclinais externas das células epidérmicas espessadas; presença de ceras; indumento denso; estômatos protegidos; calotas de esclerênquima; tecidos armazenadores de água; parênquima paliçádico bem desenvolvido e idioblastos com compostos fenólicos e cristais (BURROWS, 2001; FAHMY, 1997; FAHN; CUTLER, 1992; ROTONDI et al., 2003).

A cutícula é uma estrutura multiestratificada de ceras e hidrocarbonetos relacionados, depositados nas paredes celulares externas da epiderme foliar. Como os tricomas, a cutícula pode refletir luz, reduzindo assim a carga de calor. Uma resposta do desenvolvimento ao déficit de água em algumas plantas é a produção de uma cutícula espessa que diminui a transpiração, bem como a penetração de patógenos (TAIZ; ZEIGER, 2013). Ainda não está esclarecido se a espessura alterada resulta de mudanças quantitativas (mais ceras) ou qualitativas (composição de ceras diferentes ou estrutura alterada da camada interna da cutícula).

Segundo Oosterhuis (2009), o déficit de água no solo tem demonstrado um aumento de 33% na espessura da cutícula em plantas. Além disso, o mesmo autor relata ser mais importante a alteração na composição dos constituintes lipídicos para mais lipídios hidrofóbicos de cadeia longa, e, assim, impedindo ainda mais a penetração de produtos aplicados na folha. Tal estrutura ajuda a limitar a penetração de moléculas de água e os íons através da membrana (MARSCHNER, 1995).

Além de exercer uma resistência a saída de água da planta e penetração de produtos, Stangarlin et al. (2011) relataram que a cutícula é uma barreira eficiente contra a entrada da maioria dos patógenos que colonizam a superfície das folhas. Reina-Pinto e Yephremov (2009) mostram que mutantes de plantas de tomate com a cutícula mais densa e espessa tornaram-se resistentes a *Botritis cinerea*.

As plantas desenvolvem também outros mecanismos de adaptação à seca como: ajustamento osmótico (THOMAS, 1986; BARKER et al., 1993), ajustamento da parede celular (NEUMANN, 1995), redução da área foliar (ROSENTHAL et al., 1987; CHAVES,

1991), aumento na densidade e profundidade de raízes (DOSS et al., 1960; KANO et al., 1999), fechamento estomático (NG et al., 1975; CHAVES, 1991).

A limitação de água causa perda de turgor nas células-guarda, o fechamento dos estômatos e, por sua vez, diminui o dióxido de carbono disponível limitando a fotossíntese; isto aumenta o estresse oxidativo e pode induzir o acúmulo de compostos fenólicos (CLOSE; MCARTUR, 2002).

O estresse oxidativo causado em plantas submetidas a seca, pode ser definido como um sério desequilíbrio entre a produção de espécies reativas de oxigênio (EROs) e de defesa antioxidante (SEN, 2012). Além disso, esta situação pode causar danos a macromoléculas celulares, incluindo em proteínas, lipídios, carboidratos e ao DNA (GILL; TUTEJA, 2010). As EROs incluem o radical superóxido ($O_2^{\cdot-}$), oxigênio singlete (1O_2), radical hidroxila (OH^{\cdot}), radical hidroperoxila (HO_2^{\cdot}), peróxido de hidrogênio (H_2O_2).

Segundo Doke et al. (1996), as espécies reativas de oxigênio podem atuar diretamente sobre o patógeno, inibindo seu desenvolvimento, fortalecendo a parede celular por favorecer a formação de ligações cruzadas com proteínas estruturais e fortalecendo sua integridade através da peroxidação de lipídeos da membrana plasmática reduzindo sua fluidez. O peróxido de hidrogênio (espécie reativa de oxigênio mais estável e prontamente transportada através da membrana), pode regular a expressão de genes requeridos para a ativação da resistência ou pode formar ácido jasmônico, um mensageiro secundário, a partir da atividade da enzima lipídio hidropoxidase presente na membrana plasmática.

Os tricomas podem também proteger as plantas contra o estresse hídrico (GATES, 1980; SCHUEPP, 1993) e o superaquecimento, diminuindo a incidência solar através do sombreamento (EHLERINGER, 1976) e aumentando a camada de ar estagnada na superfície foliar, que reduz a quantidade de água perdida por evapotranspiração (GATES, 1980; SCHUEPP, 1993). Assim, os tricomas podem representar uma adaptação morfológica que favorece a manutenção da assimilação de CO_2 , pois promovem a redução da temperatura foliar em períodos de elevada temperatura ambiental e baixa disponibilidade de água (EHLERINGER; MOONEY 1978).

Segundo Bosabalidis e Kofidis (2002) plantas submetidas à restrição hídrica podem adquirir mecanismos morfológicos e fisiológicos, por meio de mutações, que possibilitem sua sobrevivência, como alta densidade de tricomas. Essa adaptação pode afetar indiretamente a infecção de patógenos em plantas. O cultivar de feijoeiro Iapar-81 apresenta resistência a *Glomerella cingulata* f. sp. *phaseoli*, cuja resistência está correlacionada com a densidade de

tricomas, interferindo na fase de pré-penetração, embora ocorrendo a germinação dos esporos a penetração é dificultada (JERBA et al., 2005).

Levando em conta as adaptações morfo/fisiológicas e bioquímicas das plantas em resposta ao déficit de água, pode-se dizer que há diferença no comportamento de aplicações quanto à penetração de fungicidas, bem como, seus efeitos na patogenicidade de fungos em plantas submetidas a estas condições.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Foram conduzidos dois experimentos, sendo um em casa de vegetação e outro realizado à campo, ambos no município de Itaara – RS.

3.1 Experimento em casa de vegetação

3.1.1 Local, condições do ambiente, implantação e manejo da cultura

O experimento foi conduzido em casa de vegetação durante o ano agrícola 2012/13 na estação experimental do Instituto Phytus, em Itaara – RS, latitude 29°35'08,5''S, longitude 53°48'28,8''O e altitude de 447 m.

As condições climáticas na casa de vegetação foram parcialmente controladas sendo a temperatura regulada através de exaustores e a umidade relativa do ar mantida por um sistema de nebulização computadorizado. A temperatura do ar durante a condução do experimento variou de 16 a 29°C e a umidade relativa do ar variou entre 65 e 90%.

Para a semeadura foi utilizada a cultivar A 6411 RG tratadas com Fipronil (250 g.L⁻¹) + Piraclostrobina (25,0 g.L⁻¹) + Tiofanato-metílico (225,0 g.L⁻¹), na dose de 200 ml p.c.100 kg⁻¹ de sementes. Além disso, imediatamente antes da disposição das sementes no vaso com substrato, estas foram inoculadas com estirpes de *Bradyrhizobium japonicum* (150 mL.50 kg⁻¹ de semente). As sementes foram semeadas em vasos com volume de 5L, contendo um substrato peneirado e homogeneizado a base de solo + areia, na proporção 2:1. De acordo com sua análise química, pH (H₂O) = 4,3, saturação por bases (V) = 24,1%, saturação por alumínio = 34,8, Índice SMP = 5,0, capacidade de troca catiônica (CTC) pH7, capacidade de troca catiônica efetiva, K, Ca, Mg, Al, H + AI = 18,0; 6,6, 1,432, 2,1, 0,8, 2,3, 13,7cmol_c dm⁻³, respectivamente, Cu, Zn, B, K, S, P-Mehlich = 1,4, 1,3, 0,1, 560, 18,0, 76,0 mg dm⁻³, respectivamente, matéria orgânica = 2,7%, o substrato teve seu pH corrigido por meio de uma calagem e foi adubado seguindo as recomendações básicas para a cultura da soja de acordo com o manual proposto pela Comissão de química e fertilidade do solo – RS/SC (2004). As propriedades físicas do substrato são: Areia = 60,8%, Silte = 20,3% e Argila =

18,9, tipo de solo no zoneamento agrícola – MAPA = Tipo 2, Classe Textural SBCS = Franco Arenoso, conforme análises realizadas no Laboratório de Análises de Solos no Departamento de Solos, da UFSM.

Foram semeadas cinco sementes por vaso e após a emergência foram mantidas uma planta de soja por vaso, para aplicação dos tratamentos. Após a emergência, as plantas foram mantidas em casa de vegetação, livre de infecção dos fungos *P. pachyrhizi* e *C. kikuchii* até o momento da aplicação dos tratamentos, sendo posteriormente mantidas em casa de vegetação na presença do patógeno.

3.1.2 Tratamentos e delineamento experimental

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado, com quatro repetições, em arranjo fatorial (2x6x5), cujos fatores foram compostos por dois regimes hídricos, sendo um regime com déficit hídrico na capacidade de campo do solo de 50-60% e sem déficit hídrico na capacidade de campo de 90-100%; cinco horários de aplicação (04:00, 09:00, 14:00, 18:00 e 23:00 horas) além de um testemunha sem aplicação de fungicida e ainda, como ultimo fator, quatro intervalos de tempo entre a aplicação de fungicidas e a simulação de chuva (0, 30, 60 e 120 minutos), mais uma testemunha sem chuva. O fungicida utilizado foi a mistura dos ingredientes ativos Trifloxistrobina + Protioconazol (70,0 + 60,0 g i.a.ha⁻¹) com adição de Aureo® na dose de 0,375 L.p.c.ha⁻¹. As doses dos produtos foram definidas conforme recomendações do fabricante. As unidades experimentais foram vasos de 5 L.

3.1.2.1 Regime hídrico

Para a determinação dos regimes hídricos, o substrato preparado foi levado para a estufa a 50°C com circulação de ar por um mês para a obtenção do substrato seco. Uma amostra desse substrato foi encaminhado para o Laboratório de Física dos Solos da UFSM para a realização da capacidade de retenção de água do solo.

A preparação do substrato pode ser visualizada na figura 1. Realizaram-se pesagens dos vasos com um saco plástico dentro, até a obtenção da média de peso do vaso de 5 L + saco plástico (0,185kg). A partir desse valor adicionou 5 kg de solo seco em cada vaso, totalizando 5,185 kg de vaso + sacola plástica + solo seco. No final, colocou-se um tubo PVC de diâmetro 20 mm com um peso de 0,030 kg no meio dos vasos, aos quais foram irrigados manualmente com um becker de plástico a cada dois dias.

Nos tubos PVC encontravam-se orifícios para distribuir a água uniformemente em profundidade no vaso. Para o cálculo final somaram-se o peso do vaso + saco plástico (0,185 kg), o solo seco (5 kg) mais o tubo de PVC (0,030), totalizando 5,215 kg. Através do valor de retenção de água no solo calculado pelo laboratório, verificou-se que a cada 0,1 kg de solo seco poderia reter 9,5 ml de água. A partir desse valor, calcularam-se os diferentes regimes hídricos para um solo seco de 5 kg. Para manter as plantas no regime hídrico de 90-100% de capacidade de campo, caracterizado sem déficit hídrico o valor de água variou de 427,5 à 475 ml de água em 5 kg de solo seco. Para o regime hídrico de 50-60% da capacidade de campo, caracterizado como déficit hídrico o valor de água variou de 237,5 à 285 ml de água em 5 kg de solo seco.

A condição das plantas nos diferentes regimes hídrico podem ser visualizadas na figura 2. As plantas nos vasos sem déficit hídrico apresentaram em todo o ciclo da cultura o peso entre 5642,5 à 5690 kg e as plantas nos vasos com déficit hídrico em um período do ciclo da cultura apresentaram o peso entre 5452,5 à 5500 kg, adicionados o peso da planta em cada regime hídrico. Em ambos os regimes hídricos eram adicionados além dos valores de água o peso da planta existente no vaso (Figura 3). Para isso, a cada 10 dias, foi obtido o peso médio de uma planta, que consistiu da utilização de plantas de 15 vasos extras de cada regime hídrico. O peso, assim obtido, era considerado no cálculo do volume da água de irrigação.

Com a diferença entre peso úmido do vaso e o peso de 5,215 kg correspondente ao peso do vaso + saco plástico (0,185 kg), o solo seco (5 kg) mais o tubo de PVC (0,030), obtinha-se a quantidade de água necessária para manter o solo na capacidade de campo desejada. Os vasos foram pesados, a cada dois dias, para a determinação da quantidade de água a se acrescentar para manter o solo contido nos vasos na capacidade de campo desejada.

Um dia antes da semeadura a umidade do solo foi elevada ao nível da capacidade de campo de 100%. Fez-se a semeadura de cinco sementes por vaso no dia 10 de janeiro de 2013 e após a emergência foram mantidas uma planta de soja por vaso. As plantas foram mantidas até 18 de fevereiro na capacidade de campo de 90-100%. A partir desta data, as plantas sem déficit hídrico mantiveram-se sob a capacidade de campo de 90-100% e as plantas com déficit

hídrico começaram a se desenvolver na capacidade de campo de 50-60%. As plantas permaneceram nestes diferentes regimes hídricos por um período de 32 dias até a aplicação dos tratamentos. Decorridos sete dias da aplicação dos tratamentos nos diferentes regimes hídricos, as plantas de soja permaneceram sem deficiência hídrica até o final do ciclo, ou seja, na capacidade de campo de 90-100%.



Figura 1 – Preparação do substrato (1A), substrato em estufa para secagem (1B), pesagem do vaso + saco plástico (0,185 kg) (1C), pesagem do vaso + saco plástico + 5 kg de solo seco (5,185 kg) (1D), pesagem do tubo PVC (0,030 kg) (1E), pesagem total do vaso + saco plástico + solo seco + tubo de PVC (5,215 kg). Itaara – RS, 2013.



Figura 2 – Regimes hídricos: C/D – com déficit hídrico (capacidade de campo de 50-60%), S/D – sem déficit hídrico (capacidade de campo de 90-100%). Itaara – RS, 2013.



Figura 3 – Pesagem da planta à ser considerada no cálculo do volume da água de irrigação. Itaara – RS, 2013.

3.1.2.2 Horário de aplicação

A aplicação foi realizada no dia 22 de março de 2013 às 14:00, 18:00 e 23:00 horas e no dia 23 de março às 04:00 e 09:00 horas, para os diferentes tratamentos. Os vasos com as plantas foram retirados da casa de vegetação para as aplicações dos fungicidas. As condições meteorológicas no momento das aplicações podem ser observadas na tabela 1.

As aplicações de fungicidas nos diferentes horários foram realizadas quando as plantas encontravam-se no estágio R4 (FEHR; CAVINES, 1977), em caráter preventivo, utilizando-se pulverizador costal dotado de quatro pontas de pulverização, pressurizado com CO₂ e calibrado para uma vazão de 150L ha⁻¹. Foi utilizado o espectro de gota classificada como fina para a aplicação dos tratamentos.

Tabela 1 – Horário, data, estágio de desenvolvimento da cultura, temperatura, umidade relativa do ar (URA) e velocidade do vento (Vel. Vento) no momento das aplicações na cultura da soja. Itaara – RS, 2013.

PRIMEIRA APLICAÇÃO					
Horário de aplicação	Data	Estádio de Desenvolvimento	Temperatura (°C)	URA (%)	Vel. Vento (km h ⁻¹)
14:00	22/03/2013	R4**	26,5	42,4	1,8
18:00	22/03/2013	R4	25,0	60,3	1,3
23:00	22/03/2011	R4	19,8	76,1	1,2
04:00	23/03/2011	R4	16,8	86,2	0,7
09:00	23/03/2011	R4	24,5	66,4	1,0
Test.*	-	-	-	-	-

*Test.: Testemunha para horário de aplicação (sem fungicida). **R4: Escala de desenvolvimento da cultura da soja proposta por Fehr e Caviness (1977).

3.1.2.3 Simulação de chuva

Foi simulada chuva nos intervalos de 0', 30' 60', 120' minutos após a aplicação dos tratamentos fungicidas, além de uma testemunha sem simulação de chuva. Para a simulação de chuva foi utilizado um simulador desenvolvido por Debortoli (2008) que trabalha com intensidade de 255 mm h⁻¹, durante quatro minutos (Figura 4). Este equipamento é extremamente adequado para reproduzir as características de uma chuva natural em uma precipitação simulada.

A metodologia de simulação de chuva após as aplicações fungicidas foram utilizadas por Debortoli (2008) e Lenz (2010) para quantificar a velocidade de penetração do fungicida no interior da folha. Os autores relatam que o depósito do fungicida não penetrado nos folíolos das plantas de soja será removido pela chuva.

O simulador proporciona uma área de aplicação de aproximadamente 3 m² quadrados. Com o objetivo de manter a uniformidade da simulação da chuva foi utilizada a área útil de 1 m² de molhamento. Os vasos foram mantidos fora da casa de vegetação até a aplicação de todos os horários e simulações de chuva. Logo após a última simulação de chuva no último horário de aplicação considerado, os vasos foram conduzidos para a casa de vegetação, onde foram mantidos até o final do experimento.



Figura 4 – Simulador de chuva desenvolvido por Debortoli (2008), para aplicação dos tratamentos em casa de vegetação. Itaara – RS, 2013.

3.1.2.4 Inoculação de *Phakopsora pachyrhizi* e *Cercospora kikuchii*

Na casa de vegetação as plantas de soja foram inoculadas com uredósporos de *Phakopsora pachyrhizi* e conídios de *Cercospora kikuchii* 12 horas após a última aplicação dos tratamentos fungicida, de acordo com a metodologia proposta por Ugalde (2005).

Esta metodologia consiste na deposição dos esporos em folíolos de soja. Os esporos utilizados na inoculação tanto de *P. pachyrhizi* como de *C. kikuchii* foram obtidos a partir da coleta manual de folhas de soja no campo infectadas com os patógenos. As folhas foram colocadas em sacos plásticos, onde posteriormente misturadas com água foram agitadas com o espalhante adesivo (Tween 80 - 100 ppm).

A inoculação de *P. pachyrhizi* e *C. kikuchii* foi efetuada em período noturno e a deposição dos esporos sobre as folhas de soja foi realizada com pistola de micropintura

pressurizada a ar comprimido, sendo que a pulverização foi efetuada em ambas as faces da folha até completo molhamento. O inóculo foi constituído por uma solução contendo água, espalhante adesivo (Tween 80 - 100 ppm) e esporos de *C. kikuchii* e *P. pachyrhizi*. A concentração de esporos de *P. pachyrhizi* foi de 2×10^5 esporos ml^{-1} , obtida através de contagem em hemacitômetro com auxílio de microscópio óptico dotado de aumento de 100 vezes.

Decorridas 10 horas da inoculação artificial, ao amanhecer, foram iniciadas as nebulizações, programadas através de um controlador eletrônico para execução de turno de nebulização de 1 min/hora, mantendo-se assim condições favoráveis ao desenvolvimento do fungo.

3.1.3 Parâmetros avaliados

3.1.3.1 Número de dias para a visualização da primeira pústula de *Phakopsora pachyrhizi*

Decorridos dois dias da inoculação dos folíolos das plantas de soja, foram realizadas avaliações diárias, com auxílio de lupa de 20X, para visualização do aparecimento da primeira pústula esporulada de *P. pachyrhizi*. Nas avaliações foram considerados o primeiro e o segundo trifólios de cada planta de cima para baixo.

3.1.3.2 Severidade de *Phakopsora pachyrhizi* e *Cercospora kikuchii*

A severidade de *P. pachyrhizi* e *C. kikuchii* foi avaliada aos 30 dias após a aplicação dos tratamentos fungicidas (30DAA). Para a determinação da severidade foram atribuídas notas visuais do percentual de área foliar com sintomas da doença em relação a área sadia da folha.

3.1.3.3 Incidência de *Cercospora kikuchii* em grãos de soja

A incidência de *C. kikuchii* em grãos de soja foram determinados ao final do ciclo das plantas (Figura 5). Os dados foram obtidos a partir da colheita, debulha manual das vagens e posterior contagem dos grãos com sintomas da doença em cada planta de soja. No final foi realizado o cálculo para determinar os valores de incidência.



Figura 5 – Sintomas de *Cercospora kikuchii* em grãos nos legumes (1A), incidência da doença em grãos (1B). Itaara – RS, 2013.

3.1.3.4 Teor relativo de clorofila (TRC)

O teor relativo de clorofila (TRC) foi determinado no primeiro e no segundo trifólio de cada planta de cima para baixo aos 10 e 30 DAA. Para isso efetuaram-se leituras não destrutivas com clorofilômetro portátil SPAD-502[®] (Minolta Camera Co. Ltda.). O medidor SPAD-502[®] quantifica a intensidade do verde das folhas, fornecendo um índice que apresenta alta correlação com o teor de clorofila. Em cada planta efetuou-se a medição do TRC no limbo das folhas dos dois trifólios. O TRC de cada planta foi obtido pela média dos dois trifólios.

3.1.3.5 Densidade de estômatos e tricomas

Os tricomas e estômatos podem ser visualizados na figura 6. Para as suas determinações na superfície abaxial da folha, foi usada a técnica de impressão epidérmica em lâmina de vidro com cola de secagem instantânea sendo os resultados expressos como o número por unidade de área foliar (RADOGLU; JARVIS, 1990). A impressão consiste em retirar a epiderme abaxial de folhas selecionadas aleatoriamente de cada regime hídrico imposto as plantas. A epiderme foi retirada de folhas mais jovens completamente expandidas.

O número de estômatos para cada impressão foram contados sob um sistema de fotomicroscópio com um acessório de computador (Modelo, Leica, Wetzlar, Alemanha).

Retirou-se cinco folhas da mesma idade foliar de ambos os regimes hídricos, nas quais foram realizadas quatro leituras de densidade estomática e tricomas em cada folha. Foram utilizadas folhas de plantas de vasos extras do experimento.

Na leitura da densidade de tricomas, utilizou-se uma área 4 mm^2 , utilizando a lente objetiva de 4x de ampliação. Para realizar a leitura da densidade estomática, utilizou-se uma área de 1 mm^2 , utilizando a lente objetiva de 20x de ampliação.

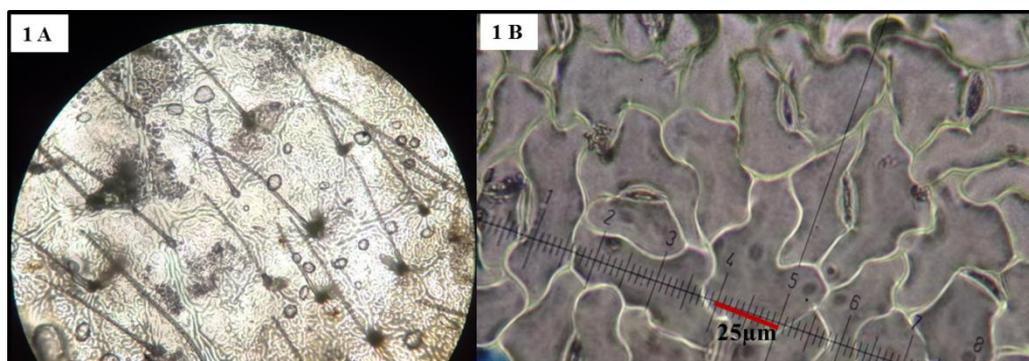


Figura 6 – Visualização dos tricomas (1A) e estômatos (1B) em um sistema de fotomicroscópio com um acessório de computador (Modelo, Leica, Wetzlar, Alemanha). Itaara – RS, 2013.

3.1.3.6 Concentração de peróxido de hidrogênio e peroxidação lipídica

Folhas de plantas submetidas aos diferentes regimes hídrico foram destacadas um dia antes das aplicações dos tratamentos fungicidas para mensurar os níveis de peroxidação lipídica e peróxido de hidrogênio.

A peroxidação lipídica dos tecidos vegetais foi mensurada em substâncias reativas ao ácido tio- barbitúrico (TBARS), utilizando-se o método descrito por El-Moshaty et al. (1993). Uma amostra foi misturada em solução 1/2 de ácido tiobarbitúrico (5%) e 1/2 de ácido tricloroacético (20%). A mistura foi aquecida em banho Maria a 95° C durante 40 min e a reação foi parada pela colocação abrupta em um banho de gelo. A mistura foi centrifugada a 10.000 g durante 10 min, e a absorbância do sobrenadante foi lida nos comprimentos de 532nm e 600nm.

O conteúdo de peróxido de hidrogênio em homogeneizado foi determinado de acordo com o método descrito por Loreto e Velikova (2001).

3.1.3.7 Produtividade da soja e massa de grão

A produtividade das plantas de soja (g planta^{-1}), e a massa de grão (g grão^{-1}) foram determinados ao final do ciclo das plantas. Os dados foram obtidos a partir da colheita e posterior debulha manual das vagens de cada planta de soja. No final foi realizada a pesagem total de grãos por planta e a massa de grão por grão, sendo ajustados para umidade de 13%.

Para a obtenção dos dados da massa de grão por grão, utilizou-se os valores do peso total de grãos por planta já ajustados e posterior divididos pelo número total de grãos por planta.

3.1.4 Análise estatística

Os dados obtidos para cada variável, foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e a interação entre os fatores bem como suas médias, foram comparadas através do teste de Tukey a 1% de probabilidade de erro, com a utilização do pacote estatístico Assistat® versão 7.5 beta (SILVA; AZEVEDO, 2002).

As variáveis consideradas foram correlacionadas através da construção de uma matriz de correlação simples utilizando-se a aplicação do teste *t* aos níveis de 1% de significância através do pacote estatístico Assistat® versão 7.5 beta (SILVA; AZEVEDO, 2002).

3.2 Experimento à campo

3.2.1 Local, condições do ambiente, implantação e manejo da cultura

O experimento foi conduzido durante a safra agrícola 2012/13 na estação experimental do Instituto Phytus, em Itaara – RS, latitude 29°35'10,2" S, longitude 53°48'36,6" O e altitude de 451 m. A semeadura foi realizada no dia 03 de janeiro de 2013 em sistema de semeadura direta em sucessão à cultura do trigo.

No momento da semeadura utilizou-se o cultivar Fundacep 64 RR. Como fertilizante de base utilizou-se 300 kg.ha⁻¹ da fórmula 04-24-18 (NPK). A densidade de semeadura utilizada foi de 16 sementes m⁻¹ linear, e um espaçamento de 0,5 m entrelinhas, resultando em uma população média de 280.000 plantas ha⁻¹. Antes da semeadura as sementes foram tratadas com Fipronil (250 g L⁻¹) + Piraclostrobina (25,0 g L⁻¹) + Tiofanato-metílico (225,0 g L⁻¹), na dose de 200 ml p.c.100 kg⁻¹ de sementes. Além disso, imediatamente antes da disposição das sementes na semeadora, estas foram inoculadas com estirpes de *Bradyrhizobium japonicum* (150 mL.50 kg⁻¹ de semente).

O controle de plantas daninhas e pragas foi realizado de forma uniforme em toda a área do experimento. Antes da semeadura foi realizado um manejo sequencial de plantas daninhas, iniciando com a primeira aplicação da mistura em tanque de pulverização de herbicida glifosato (1080 g.i.a ha⁻¹) mais Assist® (0,5 L ha⁻¹), logo após 15 dias, realizou-se a segunda aplicação com gramocil (400 g.i.a ha⁻¹ de paraquat + 200 g.i.a ha⁻¹ de diuron). Após 20 dias da emergência das plântulas de soja, novamente efetuou-se o controle de plantas daninhas com o herbicida glifosato (1080 g.i.a ha⁻¹). Aos 35 dias após a emergência (35 DAE) foi realizada aplicação do inseticida alfacipermetrina + teflubenzuron (7,5 + 7,5 g.i.a ha⁻¹), aos 55 DAE foi realizada aplicação de flubendiamida (33,6 g.i.a ha⁻¹) e aos 80 DAE foi realizada aplicação com o inseticida tiametoxam + lambda-cialotrina (28,2 + 21,2 g.i.a ha⁻¹).

O acompanhamento do crescimento e desenvolvimento da cultura da soja foi realizado com base na escala fenológica de desenvolvimento proposta por Fehr e Caviness (1977). Os dados médios de precipitação e de temperatura semanais foram coletados na área experimental e estão apresentados na figura 7.

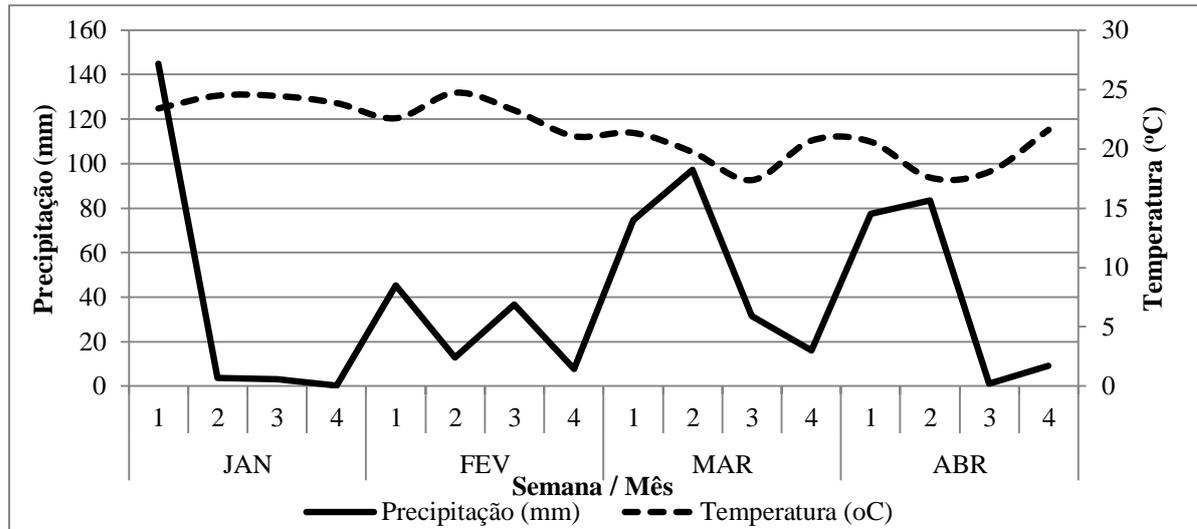


Figura 7 – Precipitação e temperatura média semanal incidentes na área experimental na safra agrícola 2012/13. Dados oriundos de estação meteorologia automática localizada na área experimental. Itaara – RS, 2013.

3.2.2 Tratamentos e delineamento experimental

O experimento constituiu-se de dois fatores (6x5), sendo o primeiro fator cinco horários de aplicação (04:00, 09:00, 14:00, 18:00 e 23:00 horas) além de uma testemunha sem aplicação de fungicida e o segundo fator, quatro intervalos de tempo entre a aplicação de fungicidas e a simulação de chuva (2, 30, 60 e 120 minutos), mais uma testemunha sem chuva.

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso com parcelas subdivididas. O primeiro fator (horário de aplicação) foi disposto em faixas sobre as parcelas principais e o segundo fator foi casualizado dentro das subparcelas. Foram utilizadas quatro repetições.

As unidades experimentais apresentavam 3 m de largura (6 linhas de soja) e 5 m de comprimento, totalizando 15 m² de área. Nas avaliações foram desconsideradas as duas linhas de soja externas e 0,5 m de cada extremidade, perfazendo uma área útil de 8m².

3.2.2.1 Horário de aplicação

As aplicações foram realizadas com pulverizador costal pressurizado a CO₂ comprimido, munido de barra de aplicação com quatro pontas de pulverização. Nas aplicações dos tratamentos foi utilizado o fungicida com a mistura dos ingredientes ativos Trifloxistrobina + Protioconazol (70,0 + 60,0 g i.a.ha⁻¹) com adição de Aureo na dose de 0,375 L.p.c ha⁻¹. As doses dos produtos foram definidas conforme recomendações do fabricante. Foram realizadas três aplicações, sendo a primeira no florescimento pleno, a segunda 21 dias após e a terceira 21 dias após a segunda aplicação. Somente na primeira aplicação foi realizada conforme os tratamentos do experimento com posterior simulação de chuva. Na segunda e terceira foram realizadas aplicações padrão em área total no experimento, mesmo nas testemunhas que não foram tratadas na primeira aplicação. Na segunda e terceira aplicação não houveram simulações de chuva após as aplicações de fungicida. O horário e as condições meteorológicas no momento das aplicações estão descritas na tabela 2.

Na ocasião da aplicação, o dia estava com poucas nuvens e com presença de orvalho nas folhagens no período das 2:00 até às 7:00 horas da manhã.

Tabela 2 – Horário, data, estágio de desenvolvimento da cultura, temperatura, umidade relativa do ar (URA) e velocidade do vento (Vel. Vento) no momento das aplicações na cultura da soja. Itaara – RS, 2013.

PRIMEIRA APLICAÇÃO					
Horário de aplicação	Data	Estádio de desenvolvimento	Temperatura (°C)	URA (%)	Vel. Vento (km h⁻¹)
18:00	06/03/2013	R2**	25,2	55,6	2,5
23:00	06/03/2013	R2	19,4	76,2	2,3
04:00***	07/03/2013	R2	16,9	88,2	2,7
09:00	07/03/2013	R2	20,9	81,5	2,9
14:00	07/03/2013	R2	34,1	39,1	3,1
Test.*	-	R2	-	-	-

*Test.: Testemunha para horário de aplicação (sem fungicida). **R2: Escala de desenvolvimento da cultura da soja proposta por Fehr e Caviness (1977).***Presença abundante de orvalho em folhas de soja durante esse horário de aplicação.

3.2.2.2 Simulação de chuva

Após a primeira aplicação dos tratamentos fungicidas, conforme programado para cada horário de aplicação, foi simulada chuva à campo 2', 30' 60', 120' minutos após a aplicação, além de uma testemunha sem simulação de chuva. Para a simulação de chuva foi utilizado um simulador desenvolvido para o experimento. O simulador trabalha em uma intensidade de 51 mm h^{-1} , durante 20 minutos. Este equipamento foi adequado para reproduzir as características de uma chuva natural em uma precipitação simulada.

O equipamento constitui-se de uma estrutura de tubo PVC de 32 mm, suspensa em estacas de madeira, onde microaspersores separados por 1,50 m são acoplados no tubo PVC, que trabalham a uma altura de 1,60 m da superfície do solo (Figura 8).

A pressão do sistema é controlada manualmente através de um registro na saída da bomba de água, sendo mantida a mesma pressão para garantir a vazão de 51 mm h^{-1} , durante 20 minutos em todos os tratamentos. Uma vez regulada a abertura do registro, a pressão era definida, determinando as características de largura efetiva para o aspersor nas parcelas, tamanho, velocidade de gotas, vazão, intensidade da precipitação e, conseqüentemente, a energia cinética da chuva.

O simulador proporciona uma área de aplicação com largura de 2,5 m e comprimento de 15 m, proporcionando a simulação de chuva nas quatro repetições do tratamento, no mesmo intervalo de tempo. O simulador de chuva foi disposto no meio das parcelas para manter a uniformidade da simulação da chuva em todos os tratamentos.



Figura 8 – Simulador de chuva desenvolvido para o experimento para aplicação dos tratamentos à campo (1A, 1B, 1C), detalhe do microaspersor (1D). Itaara – RS, 2013.

3.2.3 Parâmetros avaliados

3.2.3.1 Severidade de *Phakopsora pachyrhizi* e Área Abaixo da Curva de Progresso da Doença (AACPD)

A ocorrência de *Phakopsora pachyrhizi* se deu de forma natural em toda a área do experimento e uniformemente distribuída em todos os tratamentos.

A severidade da ferrugem asiática da soja foi avaliada aos 7, 14 e 21 dias após a primeira aplicação (DAA1) dos tratamentos fungicidas. Para isso foram atribuídas notas visuais do percentual de área foliar com sintomas da doença em relação a área sadia da folha.

O estabelecimento da doença ocorreu primeiramente na metade inferior das plantas de soja, onde as condições epidemiológicas aliadas a dificuldade de controle, fazem com que a quantidade de doença seja maior. Como consequência da evolução da infecção, a metade

superior é atacada posteriormente, podendo resultar em uma leitura de severidade distorcida quando realizada na parcela, prejudicando o efeito do tratamento.

Desta forma, uma melhor descrição dos valores foi obtida com a divisão do perfil da planta de soja em duas metades (metade superior e inferior) no momento da leitura de severidade. Esta avaliação é bastante eficiente e precisa, onde já foi utilizada na tese de doutorado de Madalosso (2007). As notas individuais atribuídas a cada metade foram corrigidas matematicamente, conferindo-lhes diferentes pesos, gerando uma nota final de acordo com a seguinte equação:

$$\text{Severidade} = (\text{severidade inferior} \times 0,35) + (\text{severidade superior} \times 0,65)$$

A partir dos valores de severidade foi calculada a área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD). O método da AACPD permite uma avaliação mais estável, sendo menos afetado pelo tempo de análise e flutuações ambientais. A AACPD pode ser usada como descritor de uma epidemia, quando o objetivo é resumir uma curva de progresso de doença em dados que possam ser analisados e comparados (CAMPBELL; MADDEN, 1990). A AACPD foi calculada a partir da seguinte equação:

$$\text{AACPD} = \sum_{i=1}^n [(Y_{i+1} + Y_i) \times 0,5] \times (T_{i+1} - T_i)$$

em que:

Y_i : severidade da doença na época de avaliação i ($i = 1, \dots, n$)

Y_{i+1} : severidade da doença na época de avaliação $i + 1$

T_i : época da avaliação i , que geralmente se considera o número de dias após a emergência das plantas

T_{i+1} : época da avaliação $i + 1$

3.2.3.2 Teor relativo de clorofila (TRC)

O teor relativo de clorofila (TRC) foi determinado nos terços inferior, médio e superior do dossel das plantas aos 10 e 20 dias após a primeira aplicação (DAA1). Para isso efetuaram-se leituras não destrutivas com clorofilômetro portátil SPAD-502[®] (Minolta Camera Co. Ltda.). O medidor SPAD-502[®] quantifica a intensidade do verde das folhas, fornecendo um índice que apresenta alta correlação com o teor de clorofila. Na área útil das parcelas efetuou-se a medição do TRC no limbo de 20 folhas escolhidas aleatoriamente em cada terço do dossel. O TRC de cada terço em cada unidade experimental foi obtido pela média das leituras nas 20 folhas.

3.2.3.3 Produtividade por hectare e massa de 100 grãos

A avaliação de produtividade foi realizada quando as plantas de soja atingiram a maturação de colheita. Para isso, todas as plantas da área útil de cada unidade experimental foram cortadas e trilhadas em trilhadora estacionária. O volume de grãos obtido foi pesado e sua umidade foi determinada para cálculo da produtividade final. Além disso, foi avaliada a massa de 100 grãos, obtida pela média de três mensurações, de subamostras retiradas dos grãos colhidos de cada unidade experimental. A produtividade e a massa de mil grãos foram ajustadas para umidade de 13%.

3.2.4 Análise estatística

Os dados obtidos para cada variável, foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e a interação entre os fatores bem como suas médias, foram comparadas através do teste de Tukey a 1% de probabilidade de erro, com a utilização do pacote estatístico Assistat[®] versão 7.5 beta (SILVA; AZEVEDO, 2002).

Além disso, as variáveis consideradas foram correlacionadas através da construção de uma matriz de correlação simples utilizando-se a aplicação do teste *t* aos níveis de 1% de significância através do pacote estatístico Assistat[®] versão 7.5 beta (SILVA; AZEVEDO, 2002).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Experimento em casa de vegetação

4.1.1 Parâmetros relacionados à doença

4.1.1.1 Número de dias para o aparecimento da primeira pústula e severidade de *Phakopsora pachyrhizi*

A análise de variância dos dados revelou interação tripla entre os fatores considerados para o número de dias para o aparecimento da primeira pústula e severidade de *Phakopsora pachyrhizi* ao nível de 1% de significância (Apêndice A, quadro 1 e 4).

Nas tabelas 3 e 4 são apresentados os dados do número de dias para o aparecimento da primeira pústula e a severidade de *P. pachyrhizi*. Foram analisados primeiramente, a interação ao nível de 1% de significância entre horários de aplicação e intervalos de simulação de chuva após a aplicação para cada regime hídrico imposto às plantas (Apêndice A, quadro 2, 3, 5 e 6) e, posteriormente, o efeito das variáveis na interação de regimes hídricos em cada combinação de horário de aplicação e simulação de chuva.

O número de dias para o aparecimento da primeira pústula, demonstra indiretamente a velocidade de penetração do fungicida nas aplicações em diferentes condições meteorológicas, provenientes dos diferentes horários de aplicação, exercendo influencia na interação fungicida/planta em aplicações de parte aérea.

Na simulação de chuva a zero minuto após a aplicação nos tratamentos fungicidas, independentemente do regime hídrico e do horário de aplicação, o fungicida é rapidamente penetrado pelos trifólios de soja. O atraso do aparecimento da primeira pústula de *Phakopsora pachyrhizi* nos folíolos em relação a testemunha permitem essa inferência. No entanto, uma exceção é encontrada no horário das 04:00 horas no regime com déficit hídrico, pois o aparecimento da primeira pústula se mostrou igual a testemunha sem aplicação. Os dados

sugerem que as condições meteorológicas durante a aplicação exercem maiores efeitos em plantas sob deficiência hídrica.

Esta situação também é visualizada na simulação de chuva aos 30 minutos após a aplicação nas plantas sob eficiência hídrica, mostrando que na aplicação realizada às 04:00 horas, o aparecimento da primeira pústula é mais precoce quando comparados aos demais horários de aplicação.

Em aplicações realizadas sob a incidência da luz solar, ou seja, nos horários das 09:00, 14:00 e 18:00 horas e pela simulação de chuva, nota-se que o aparecimento da primeira pústula ocorreu posteriormente aos tratamentos sob aplicação no escuro, nos horários das 04:00 e 23:00 horas. Subentende-se que pela simulação de chuva, a penetração do fungicida em trifólios sob luz solar é mais rápida nos primeiros intervalos de tempo do que trifólios sob o escuro. A luz é conhecida por estimular a abertura estomática e vários processos fisiológicos da planta, tais como a fotossíntese ou fluxo do xilema, que pode aumentar a taxa de absorção foliar (CURRIER; DYBING, 1959; JYUNG; WITTEWER, 1964). As células-guarda podem responder diretamente aos estímulos ambientais, como a luz azul (OUTLAW, 2003), facilitando assim o envolvimento dos estômatos no processo de penetração foliar.

A dinâmica de penetração de fungicidas em folhas de plantas também está condicionada às oscilações ocorrentes ao longo do dia devido as perdas de água pela planta por transpiração. De toda a água absorvida pelo sistema radicular apenas uma pequena fração fica retida na planta. A maior parte é evaporada pela parte aérea para o ar circundante. Segundo Kramer (1995) e Salisbury et al. (1992), a radiação solar é um dos mais importantes fatores ambientais que influenciam na transformação da água do estado líquido em vapor. A esta perda de água pelas plantas, na forma de vapor, dá-se o nome de transpiração. Com a transpiração a quantidade de água nos espaços intercelulares vai reduzindo, estabelecendo uma menor concentração de água no interior da folha em relação à gotícula de fungicida pulverizada na superfície foliar. Através dessa diferença de concentração, aumenta a difusão da gotícula pulverizada para o interior da folha em condições de luz solar, resultando em menores valores de severidade da doença (Tabela 4).

Durante o dia, gradualmente o balanço hídrico vai ficando, quase sempre, negativo, devido a transpiração, reduzindo a água no interior da planta, favorecendo a difusão do fungicida para o interior da folha. Durante a noite, se houver água no solo, o balanço hídrico é restaurado para valores próximos de zero, completando os espaços de água evaporada durante o dia no interior da folha, reduzindo a difusão do fungicida. Com isso, e através dos dados do

experimento sugere-se que a penetração do fungicida em trifólios sob luz solar é mais rápida que no escuro.

No fator sem simulação de chuva, em ambos os regimes hídricos, pode-se observar ótimo desempenho das aplicações realizadas em plantas no período noturno. Este fato deve-se ao residual de controle da doença. A aplicação noturna, segundo Antuniassi (2005), apresenta vantagens no que se refere às condições climáticas (umidade, temperatura e vento mais adequadas à aplicação de gotas mais finas), proporcionando maior tempo de vida da gota na superfície foliar. No entanto, essa opção deve considerar a possível existência de limitações técnicas relativas aos próprios defensivos, no que se refere às questões de eficiência e velocidade de penetração nas situações de ausência de luz ou baixas temperaturas.

Nas aplicações realizadas durante o dia a umidade relativa do ar encontrava-se mais baixa do que as aplicações realizadas durante a noite. A umidade relativa do ar também interfere na dinâmica de penetração de moléculas sobre o tecido foliar. Van Goor (1973) demonstrou que um aumento da penetração Ca^{2+} através da membrana cuticular do fruto de maçã esta correlacionada com a diminuição na umidade do ar durante o período inicial de tempo. Este fenômeno é explicado por um aumento da concentração de gotículas de Ca^{2+} como resultado da sua secagem, o que conseqüentemente aumenta o gradiente de concentração para a difusão. Apesar da dinâmica de penetração ser maior em períodos iniciais com baixa umidade relativa do ar, a taxa final de penetração será menor devido à baixa higroscopicidade do sal por causa da rápida cristalização. Este fato pode ser visualizado pela simulação de chuva no horário das 14:00 horas (menor umidade relativa do ar), no qual apresentaram maior penetração do que nos horários das 04:00 e 23:00 horas com maior umidade relativa do ar. Porém quando verifica-se no fator sem simulação de chuva na aplicação realizada às 14:00 horas, a taxa de penetração final foi menor do que as aplicações noturnas, devido ao aparecimento da primeira pústula ser visualizado antes do que os demais horários de aplicação.

A rápida penetração do fungicida nos trifólios em aplicações realizadas durante o dia em comparação com as aplicações realizadas no escuro devem-se também as temperaturas durante as aplicações. As aplicações realizadas às 09:00, 14:00 e 18:00 horas apresentaram temperatura na ordem de 24,5°, 26,5°, 25,0° sendo superiores aquelas realizadas às 23:00 e 04:00 horas. Currier e Dybing (1959) mencionaram os efeitos benéficos da temperatura moderadamente quente para estimular a penetração foliar através do aumento da taxa de processos fisiológicos, tais como a fotossíntese e translocação dentro da planta. Gruda (2005)

mostra ser importante a temperatura pois afeta as reações químicas e propriedades físicas das células, de órgãos e de todo nível da planta.

Os efeitos da temperatura são geralmente expressados como a energia de ativação de difusão. As energias de ativação de difusão são interpretadas como a energia necessária para produzir volumes livres num polímero suficientemente grande para acomodar a molécula por difusão (BAUR et al., 1997). Conseqüentemente, a energia de ativação aumenta com um aumento do tamanho da molécula e um aumento na temperatura aumenta as taxas de penetração.

No entanto, Currier e Dybing (1959) relatam que altas temperaturas em combinação com baixa umidade relativa do ar, como observado durante a temporada de verão nas áreas mais áridas e semi-áridas do mundo é susceptível de limitar a taxa de penetração, devido à pulverização de secagem rápida da solução e o menor nível de hidratação da cutícula. A essa limitação de penetração em folhas de soja foi visualizada na aplicação realizada às 14:00 horas com temperatura de 26,5° e umidade relativa de 42%, sem posterior simulação de chuva quando comparados aos demais horários. Esta afirmação baseia-se na visualização mais rápida da primeira pústula no horário das 14:00 horas, quando comparados aos diferentes horários no fator sem simulação de chuva. Este fato justifica-se pela evaporação das gotículas do fungicida posterior a aplicação realizada às 14:00, sem que haja uma maior penetração do produto pelos trifólios.

No fator sem simulação de chuva para o horário das 14:00 horas nota-se redução de residual de controle da doença na ordem de 3,25 e 1,25 dias para o regime com déficit hídrico e 3 e 2 dias para o regime sem déficit hídrico em comparação aos horários das 09:00 e 18:00 horas respectivamente.

O menor residual de controle na aplicação realizada às 14:00 horas em comparação com às 09:00 e 18:00 horas devem-se a redução de penetração das gotas na folha pela alta temperatura e baixa umidade relativa do ar. Em trabalho realizado por Schönherr (2000) verificou que um aumento na umidade relativa do ar de 50% para 90% duplicou as constantes de velocidade de penetração de CaCl_2 . No estudo de Schönherr (2002), a taxa de penetração de IPA-glifosato aumentou por um fator de 7 quando a umidade foi aumentada de 70% para 100%. Foi sugerido por Schönherr em 2001 que a elevada umidade melhora a capacidade de transporte da via de penetração de solutos hidrofílicos por um aumento do tamanho ou número de poros polares.

De acordo com o experimento, independentemente do regime hídrico, a aplicação realizada às 09:00 horas da manhã foi a que resultou em maior atraso no surgimento das

pústulas de *Phakopsora pachyrhizi*. Quando verificado pelas simulações de chuva nota-se também maior taxa de penetração do fungicida em trifólios pela aplicação realizada às 09:00 horas, pelo atraso do aparecimento da primeira pústula em comparação aos demais horários considerados. O resultado sugere que as plantas tratadas neste horário de aplicação estão fisiologicamente mais ativas ou mesmo, mais aptas para receber as pulverizações e associadas às condições de clima mais amenas durante a aplicação resultou em atraso da visualização da primeira pústula.

Segundo Zabkiewicz (2002), os fatores ambientais, como chuva (causando lavagem), temperatura e vento (secagem rápida das gotas de pulverização), da umidade relativa (a taxa de secagem de gotículas) e o comportamento fisiológico do sistema planta contribuem para a quantidade e a taxa de penetração de pesticidas.

Em trabalho realizado por Bonini (2003) com horários de aplicações em Santa Maria-RS, o autor constatou que as aplicações de fungicidas realizadas pela manhã são mais eficientes do que aquelas realizadas à tarde (18:00 horas), sendo ambas superiores às aquelas realizadas nos horários mais quentes do dia, demonstrando assim a importância de considerar-se os horários de aplicações.

Tanto em plantas sob déficit hídrico como em plantas sem déficit hídrico, mesmo a simulação de chuva aos 120 minutos após a aplicação nos diferentes horários fungicidas apresentou influência sobre a retenção de produto na folha. Hunsche (2006) observou grandes perdas do ingrediente ativo mancozeb devido à ocorrência da chuva 2 horas após a aplicação do fungicida em mudas de maçã. Debortoli (2008) em estudo com o objetivo de avaliar o efeito da chuva sobre o residual de Azoxistrobina + Ciproconazol em sete cultivares de soja observou que simulação de chuva 240 minutos após a aplicação influenciou a taxa de penetração do fungicida.

Verificam-se nos resultados da tabela 3 e 4, pelas diferenças das letras gregas, uma redução significativa na severidade de *Phakopsora pachyrhizi* e um retardamento do aparecimento da primeira pústula em plantas sob déficit hídrico, quando comparado as plantas sem déficit hídrico. O surgimento da primeira pústula, na média das testemunhas das plantas sob déficit hídrico é 1,55 dias posterior que a médias das testemunhas das plantas sem deficiência hídrica. O atraso do aparecimento da primeira pústula e os menores valores de severidade em plantas sob déficit hídrico foram verificados tanto quando comparadas as testemunhas sem aplicações nos diferentes regimes hídricos quanto comparados os regime hídrico em cada combinação de horário de aplicação e intervalos de simulação de chuva. O

resultado sugere que o atraso no aparecimento da primeira pústula no tratamento testemunha em plantas sob déficit hídrico deve-se a resposta das plantas contra a desidratação.

Uma resposta do desenvolvimento ao déficit de água em algumas plantas é a produção de uma cutícula espessa que diminui a transpiração, bem como a penetração de patógenos (TAIZ; ZEIGER, 2013). Segundo Paiva e Oliveira (2006) várias estratégias são desenvolvidas pelas plantas em déficit hídrico para reduzir a perda de água e otimizar o uso da pequena quantidade que ainda possa ser encontrada no solo. Uma das estratégias utilizadas pelas plantas é o fechamento antecipado dos estômatos para reduzir a transpiração, produção de uma cutícula espessa que também reduz a perda de água pela epiderme (transpiração cuticular) e em folhas adaptadas têm as paredes da epiderme mais fortemente cutinizadas e com maiores camadas de ceras. A estas mudanças ocasionadas na planta dificultaram as estratégias do fungo para infecção. Lopez-Santillan et al. (2001), mostram que altas concentrações de ceras aumentam a resistência das plantas ao déficit hídrico, por causa da redução na temperatura foliar e também da redução da perda d'água das folhas. Além disso, as ceras também protegem os vegetais contra a radiação direta, aclimatam as plantas em situações de resfriamento, são uma barreira protetora que dificulta a ação de microrganismos patogênicos e de insetos herbívoros.

Pascholati e Leite (1995) em estudo concluíram que frutos de maçã com cutícula mais espessa apresentam maior resistência a *Venturia inaequalis*. Reina-Pinto e Yephremov (2009) relatam que mutantes de plantas de tomate com a cutícula mais densa e espessa tornaram-se resistentes a *Botritis cinerea*.

O atraso no aparecimento da primeira pústula de *P. pachyrhizi* e o menor valor de severidade de *P. pachyrhizi* no tratamento testemunha em plantas sob déficit hídrico deve-se também a produção de espécies reativas de oxigênio pelas plantas devido às condições de falta de água no solo. A limitação de água causa perda de turgor nas células-guarda, o fechamento dos estômatos e, por sua vez, diminui o dióxido de carbono disponível limitando a fotossíntese; isto aumenta o estresse oxidativo e pode induzir o acúmulo de compostos fenólicos (CLOSE; MCARTUR, 2002). Segundo Doke et al. (1996), as espécies reativas de oxigênio podem atuar diretamente sobre o patógeno, inibindo seu desenvolvimento. Sutherland (1991), Allan e Fluhr (1997) relatam o efeito tóxico direto de H₂O₂ ao patógeno, agindo como um agente antifúngico e antibacteriano.

A associação do desenvolvimento de mecanismos de defesa contra a desidratação e da aplicação fungicida em plantas sob déficit hídrico estabeleceram na média do experimento 5,54 dias em atraso no aparecimento da primeira pústula e 5,3% de redução na severidade de

P. pachyrhizi, em relação a média dos tratamentos em plantas sem déficit hídrico (Tabela 3 e 4). Os dados sugerem que a concentração de ativo fungicida dentro da célula é maior em plantas sob déficit hídrico devido a redução do potencial hídrico das folhas e da turgescência. A maior quantidade de ativo fungicida em células e a menor degradação do fungicida dentro de plantas em déficit hídrico, reduzem os valores de severidade e atrasam o aparecimento da primeira pústula, afetando a patogenicidade do fungo.

A menor degradação do fungicida em plantas sob déficit hídrico é devido a menor atividade fisiológica, pela queda na condutância estomática devido ao fechamento dos estômatos para prevenir a perda de água (STUHFAUTH et al., 1990; OHASHI et al., 2006; LEI et al., 2006). Na condição de estresse, a planta reduz a demanda por ATP como consequência da redução do crescimento e fotossíntese (FLEXAS; MEDRANO, 2002) e com isso reduz a degradação do fungicida em plantas nessa condição.

Tabela 3 – Número de dias para o aparecimento da primeira pústula de *Phakopsora pachyrhizi* na interação entre regimes hídrico, horários de aplicação e intervalos de simulação de chuva após a aplicação. Itaara – RS, 2013.

Regime hídrico	Hor. Aplic.	Intervalos de simulação de Chuva										Médias
		0'		30'		60'		120'		Sem chuva**		
Com déficit híd.***	04:00	9,00	dEα****	11,50	dDα	19,50	cCα	23,50	dBα	29,63	dAα	19,12
	09:00	11,50	abEα	16,00	aDα	26,50	aCα	31,00	aBα	33,25	aAα	
	14:00	11,00	bEα	15,00	bDα	24,50	bCα	28,50	cBα	30,00	dAα	
	18:00	11,63	aEα	15,00	bDα	24,38	bCα	29,25	bBα	31,25	bAα	
	23:00	10,00	cEα	14,00	cDα	19,88	cCα	24,00	dBα	30,63	cAα	
	Test*	8,50	dAα	8,63	eAα	8,75	dAα	8,63	eAα	8,75	eAα	
Sem déficit hídrico	04:00	9,00	aEα	10,63	cDβ	13,00	cCβ	18,00	bBβ	20,00	cAβ	13,58
	09:00	9,38	aEβ	13,63	aDβ	14,75	aCβ	20,25	aBβ	22,00	aAβ	
	14:00	9,38	aEβ	12,63	bDβ	13,88	bCβ	17,00	cBβ	19,00	dAβ	
	18:00	9,50	aEβ	12,63	bDβ	14,25	abβ	20,00	aBβ	21,00	bAβ	
	23:00	9,00	aEβ	10,88	cDβ	13,00	cCβ	18,00	bBβ	21,00	bAβ	
	Test	7,13	bAβ	7,25	dAβ	7,13	dAβ	7,00	dAβ	7,00	eAβ	

*Test.: Testemunha para horário de aplicação (sem fungicida); 04:00, 09:00, 14:00, 18:00, 23:00: horários de aplicação. **Sem chuva: Testemunha para chuva simulada; 0', 30', 60', 120': tempos em minutos, decorridos entre a aplicação dos tratamentos e a simulação de chuva. ***Com déficit híd.: Regime hídrico na capacidade de campo de 50-60%; Sem déficit hídrico: Regime hídrico na capacidade de campo de 90-100%. **** Letras minúsculas na coluna (comparação de horários de aplicação em cada combinação de regime hídrico e intervalos de simulação de chuva); letras maiúsculas na linha (comparação de intervalos de simulação de chuva em cada combinação de regime hídrico e horário de aplicação); letras gregas na coluna (comparação de regime hídrico em cada combinação de horário de aplicação e intervalos de simulação de chuva); médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas nas colunas, maiúsculas nas linhas e gregas nas colunas não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 1% de probabilidade.

Tabela 4 – Severidade de *Phakopsora pachyrhizi* na interação entre regimes hídrico, horários de aplicação e intervalos de simulação de chuva após a aplicação aos 30 DAA. Itaara – RS, 2013.

Regime hídrico	Hor. Aplic.	Intervalos de simulação de chuva										Médias
		0'		30'		60'		120'		Sem chuva**		
Com déficit híd.***	4:00	20,8	bAβ****	13,5	bBβ	3,8	bCβ	1,5	bDβ	1,2	bDβ	9,8
	9:00	13,5	dAβ	5,5	eBβ	1,8	cCβ	1,0	bCDβ	0,1	bDβ	
	14:00	16,5	cAβ	7,3	dBβ	3,6	bCβ	2,1	bDβ	1,0	bEβ	
	18:00	14,3	dAβ	6,8	dBβ	3,1	bCβ	1,2	bDβ	0,7	bDβ	
	23:00	21,3	bAβ	11,5	cBβ	3,0	bCβ	1,5	bDβ	1,0	bDβ	
	Test*	27,3	aAβ	26,8	aAβ	27,8	aAβ	27,0	aAβ	27,3	aAβ	
Sem déficit hídrico	4:00	25,5	bAα	16,5	bBα	9,5	bCα	7,4	bDα	4,3	bEα	15,1
	9:00	22,5	deAα	12,5	dBα	5,5	dCα	3,5	dDα	1,9	cEα	
	14:00	21,3	eAα	14,5	cBα	7,3	cCα	6,3	bcCα	4,8	bDα	
	18:00	23,0	cdAα	14,5	cBα	7,3	cCα	5,3	cDα	3,4	bcEα	
	23:00	24,5	bcAα	15,5	bcBα	8,3	bcCα	6,3	bcDα	3,4	bcEα	
	Test	36,3	aAα	36,0	aAα	36,3	aAα	35,5	aAα	36,0	aAα	

*Test.: Testemunha para horário de aplicação (sem fungicida); 04:00, 09:00, 14:00, 18:00, 23:00: horários de aplicação. **Sem chuva: Testemunha para chuva simulada; 0', 30', 60', 120': tempos em minutos, decorridos entre a aplicação dos tratamentos e a simulação de chuva. ***Com déficit híd.: Regime hídrico na capacidade de campo de 50-60%; Sem déficit hídrico: Regime hídrico na capacidade de campo de 90-100%. **** Letras minúsculas na coluna (comparação de horários de aplicação em cada combinação de regime hídrico e intervalos de simulação de chuva); letras maiúsculas na linha (comparação de intervalos de simulação de chuva em cada combinação de regime hídrico e horário de aplicação); letras gregas na coluna (comparação de regime hídrico em cada combinação de horário de aplicação e intervalos de simulação de chuva); médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas nas colunas, maiúsculas nas linhas e gregas nas colunas não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 1% de probabilidade.

4.1.1.2 Severidade em folhas, incidência em grãos de *Cercospora kikuchii* em soja

A análise de variância dos dados revelou interação tripla entre os fatores considerados para a severidade de *Cercospora kikuchii* (Apêndice A, quadro 7).

Na tabela 5 são apresentados os dados de severidade de *Cercospora kikuchii*. Primeiramente foi analisada a interação significativa em relação à horários de aplicação e intervalos de chuva após a aplicação para cada regime hídrico imposto às plantas (Apêndice A, quadro 8 e 9) e, posteriormente, o efeito das variáveis na interação de regimes hídricos em cada combinação de horário de aplicação e simulação de chuva.

Verifica-se pelas letras gregas uma redução significativa na severidade *C. kikuchii* em plantas sob déficit hídrico, quando comparado as plantas sem déficit hídrico. Este resultado é verificado tanto quando comparadas as testemunhas sem aplicações nos diferentes regimes hídricos quando comparados os regimes hídricos em cada combinação de horário de aplicação e intervalos de simulação de chuva.

A severidade de *C. kikuchii* na média das testemunhas sob plantas em déficit hídrico é 9,2% menor do que em plantas sem restrição hídrica. Várias estratégias como espessamento de cutícula, maiores camadas de ceras, produção de tricomas são desenvolvidas pelas plantas em déficit hídrico para reduzir a perda de água e aproveitarem mais eficientemente a pequena quantidade de água que ainda possa ser encontrado no solo (GATES, 1980; SCHUEPP, 1993, TAIZ; ZEIGER, 2013). Através da produção dessas defesas contra a desidratação a planta também dificulta a patogenicidade do patógeno.

Neste experimento foi verificado maior densidade de tricomas (pêlos) em folhas das plantas sob déficit hídrico que podem estar relacionados com os valores mais baixos de severidade nessas plantas (Figura 9). Jerba et al. (2005) relatam que o cultivar de feijoeiro Iapar-81 apresenta resistência a *Glomerella cingulata* f. sp. *phaseoli*, cuja resistência está correlacionada com a densidade de tricomas, interferindo na fase de pré-penetração, que mesmo ocorrendo a germinação dos esporos a penetração é dificultada. Quando consideramos que alguns patógenos fúngicos precisam reconhecer seu hospedeiro para germinar, a falta de contato com a cutícula impede sua germinação.

A cutícula também é alterada em plantas sob déficit hídrico. Stangarlin et al. (2011) relatam que a cutícula é uma barreira eficiente contra a entrada da maioria dos patógenos que colonizam a superfície. Dependendo da espessura ou da densidade dessa camada cuticular, as plantas são mais ou menos resistentes a entrada de patógenos. Compostos presentes na cutícula também são responsáveis pela sinalização ativando outros mecanismos como as proteínas-RP (REINA-PINTO & YEPHREMOV, 2009).

A associação do desenvolvimento de mecanismos de defesa contra a desidratação e da aplicação fungicida em plantas sob déficit hídrico estabeleceram na média deste experimento 4,8 % de redução na severidade de *C. kikuchii*, em relação a média dos tratamentos em plantas sem déficit hídrico. Os dados sugerem que a concentração de ativo fungicida dentro da célula é maior em plantas sob déficit hídrico devido a redução do potencial hídrico das folhas e da turgescência. Uma vez o ativo mais concentrado no interior da folha favorecerá a proteção da mesma.

A maior concentração de ativo fungicida, aliado a menor degradação do fungicida em plantas sob déficit hídrico, afetam a patogenicidade de *C. kikuchii* pela redução dos valores de severidade. Cabe ressaltar novamente que a menor degradação do fungicida em plantas sob déficit hídrico é devido a menor atividade fisiológica, pela queda na condutância estomática devido ao fechamento dos estômatos para prevenir a perda de água (STUHFAUTH et al., 1990; OHASHI et al., 2006; LEI et al., 2006). A planta em déficit hídrico reduz a demanda por ATP como consequência da redução do crescimento e fotossíntese (FLEXAS; MEDRANO, 2002), resultando em menor degradação do fungicida em plantas nessa condição.

A dinâmica de penetração de fungicidas em trifólios nos diferentes horários do dia também influenciou na severidade de *C. kikuchii*. Essa diferença na penetração do fungicida pode ser visualizada significativamente pela menor severidade de *C. kikuchii* nas aplicações realizadas sob luz solar, nas simulação de chuva aos 0, 30 e 60 minutos após a aplicação dos tratamentos fungicidas em plantas sob déficit hídrico e pela simulação de chuva aos 60 e 120 minutos após a aplicação dos tratamentos fungicidas em plantas sem déficit hídrico. Subentende-se que pela simulação de chuva, o produto fungicida não penetrado pelas folhas era removido pela chuva. Debortoli (2008) e Lenz (2010) em seus estudos utilizaram a simulação de chuva para remover o fungicida e com isso determinaram indiretamente pela inoculação do patógeno, o quando de produto era penetrado pelos folíolos de soja.

Tabela 5 – Severidade de *Cercospora kikuchii* na interação entre regimes hídrico, horários de aplicação e intervalos de simulação de chuva após a aplicação aos 30 DAE. Itara – RS, 2013.

Regime hídrico	Hor. Aplic.	Intervalos de simulação de chuva										Médias
		0'		30'		60'		120'		Sem chuva**		
Com déficit híd.***	4:00	15,8	bA α ****	12,5	bB β	8,4	bC β	4,3	bD β	1,6	bcE β	8,8
	9:00	7,8	cA β	4,8	dB β	3,3	dB β	1,2	cC β	0,5	cC β	
	14:00	8,6	cA β	6,3	dB β	5,3	cBC β	3,8	bCD β	3,1	bD β	
	18:00	8,5	cA β	5,5	dB β	4,3	cdB β	2,1	cC β	1,1	cC β	
	23:00	15,8	bA δ	10,5	cB β	7,5	bC β	4,2	bD β	1,3	cE β	
	Test.*	22,5	aB β	23,8	aAB β	24,3	aA β	23,0	aAB β	23,8	aAB β	
Sem déficit hídrico	4:00	16,5	bA α	13,6	bB α	11,6	bC α	10,3	bC α	5,3	cD α	13,6
	9:00	13,4	dA α	10,4	cB α	5,6	dC α	4,8	dC α	2,8	dD α	
	14:00	14,5	cdA α	13,3	bA α	9,4	cB α	7,8	cBC α	7,2	bC α	
	18:00	13,3	dA α	12,3	bA α	7,8	cB α	6,8	cBC α	5,5	bcC α	
	23:00	15,6	bcA α	13,5	bB α	11,6	bC α	9,8	bD α	3,0	dE α	
	Test.	32,5	aA α	32,8	aA α	32,0	aA α	33,3	aA α	32,8	aA α	

*Test.: Testemunha para horário de aplicação (sem fungicida); 04:00, 09:00, 14:00, 18:00, 23:00: horários de aplicação. **Sem chuva: Testemunha para chuva simulada; 0', 30', 60', 120': tempos em minutos, decorridos entre a aplicação dos tratamentos e a simulação de chuva. ***Com déficit híd.: Regime hídrico na capacidade de campo de 50-60%; Sem déficit hídrico: Regime hídrico na capacidade de campo de 90-100%. **** Letras minúsculas na coluna (comparação de horários de aplicação em cada combinação de regime hídrico e intervalos de simulação de chuva); letras maiúsculas na linha (comparação de intervalos de simulação de chuva em cada combinação de regime hídrico e horário de aplicação); letras gregas na coluna (comparação de regime hídrico em cada combinação de horário de aplicação e intervalos de simulação de chuva); médias seguidas pela mesma letra minúscula nas colunas, maiúscula nas linhas e grega nas colunas não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 1% de probabilidade.

A análise de variância dos dados revelou interação dupla entre os fatores considerados para a incidência de *Cercospora kikuchii* em grãos de soja ao nível de 1% de significância (Apêndice A, quadro 10).

Na tabela 6 são apresentados os dados de incidência de *C. kikuchii* em grãos de soja. Foi analisada a interação em relação aos horários de aplicação e intervalos de simulação de chuva após a aplicação.

Em aplicações realizadas durante o dia, ou seja, nos horários das 09:00, 14:00 e 18:00 horas e pela simulação de chuva aos 0 e 30 minutos após a aplicação dos tratamentos fungicidas, notam-se menores valores de incidência de *C. kikuchii* em grãos de soja do que nos tratamentos fungicidas sem luz solar, nos horários das 04:00 e 23:00 horas. Subentende-se que pela simulação de chuva, a interação de fungicida/planta em aplicações efetuadas sob luz

solar é maior nos primeiros intervalos de tempo, resultando em menor incidência *C. kikuchii* em grãos.

A menor incidência de *C. kikuchii* em grãos deve-se as menores severidades da doença na folha. Oliveira et al. (2000) relataram que os níveis de infecção de *C. kikuchii* em folhas poderão servir como fonte de inóculo para o ciclo secundário ou para ciclo primário, pela transmissão através das sementes, para novos cultivos em áreas isentas dessas doenças.

Tabela 6 – Incidência de *Cercospora kikuchii* em grãos de soja na interação entre horário de aplicação e intervalos de simulação de chuva. Itaara – RS, 2013.

Horário aplicação	Intervalos de simulação de chuva									
	0'		30'		60'		120'		Sem chuva*	
4:00	31,04	aA***	27,01	bA	18,37	bcB	12,08	bcC	6,28	bcD
9:00	22,91	bA	15,21	cB	10,85	dBC	6,78	cCD	3,84	cD
14:00	22,46	bA	18,62	cA	12,60	cdB	8,24	bcB	9,89	bB
18:00	23,20	bA	18,09	cAB	13,61	bcdBC	9,07	bcCD	5,37	bcD
23:00	30,68	aA	25,66	bA	18,72	bB	13,43	bB	5,83	bcC
Test.**	35,85	aA	36,12	aA	35,37	aA	35,93	aA	34,82	aA

*Sem chuva: Testemunha para chuva simulada; 0', 30', 60', 120': tempos em minutos, decorridos entre a aplicação dos tratamentos e a simulação de chuva. **Test.: Testemunha para horário de aplicação (sem fungicida); 04:00, 09:00, 14:00, 18:00, 23:00: horários de aplicação. ***Letras minúsculas na coluna (comparação de horário de aplicação em cada combinação de intervalos de simulação de chuva); letras maiúsculas na linha (comparação de intervalos de simulação de chuva em cada combinação de horário de aplicação); médias seguidas pela mesma letra minúscula nas colunas, maiúscula nas linhas não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 1% de probabilidade.

4.1.2 Parâmetros relacionados à fisiologia e morfologia da cultura

4.1.2.1 Teor relativo de clorofila (TRC)

A análise de variância dos dados revelou interação dupla entre os fatores considerados para o teor relativo de clorofila (TRC) em folhas de soja ao nível de 1% de significância (Apêndice A, quadro 11).

Na tabela 7 são apresentados os dados de TRC. Foi analisada a interação em relação à horários de aplicação e intervalos de simulação de chuva após a aplicação.

Observando-se os dados nas simulações de chuva aos 0, 30 e 60 minutos após a aplicação dos tratamentos fungicidas, percebe-se maiores valores significativos de TRC em folhas de soja pelas aplicações efetuadas durante o dia. Com isso, pode-se dizer que o maior TRC deve-se a maior penetração do fungicida em períodos iniciais de tempo em trifólios que receberam aplicação durante o dia. Como consequência, estabeleceram melhor controle da doença, prolongando o tecido verde da folha.

Além do atraso da senescência em folhas pelo controle do patógeno, o grupo das estrobilurinas, provou inibir a biossíntese de etileno em tecido de trigo (GROSSMANN; RETZLAFF, 1997). Esta foi relacionada com o atraso na senescência de folhas, prolongada atividade fotossintética de tecido verde e uma melhor gestão do estresse (KÖEHLE ET AL., 1997a; GROSSMANN; RETZLAFF, 1997; GROSSMAN et al., 1999). Estudos mostram que a aplicação de piraclostrobina aumenta a concentração de níveis endógenos de ácido abscísico (ABA). O ABA inibe o crescimento e a abertura estomática, especialmente quando a planta se encontra sob estresse ambiental, melhorando assim, a utilização da água sob condições de estresse hídrico (TAIZ; ZEIGER, 1998; GROSSMAN et al., 1999).

Tabela 7 – Teor relativo de clorofila (TRC) de folhas de soja na interação entre horário de aplicação e intervalos de simulação de chuva aos 30 DAA. Itaara – RS, 2013.

Horário de aplicação	Intervalos de simulação de chuva									
	0'		30'		60'		120'		Sem chuva*	
4:00	21,57	bE***	24,14	bD	27,50	bC	31,73	cB	34,68	abA
9:00	25,04	aD	29,61	aC	32,81	aB	35,86	aA	36,53	aA
14:00	24,40	aD	27,94	aC	31,84	aB	34,51	abA	33,53	bAB
18:00	25,73	aD	28,61	aC	32,73	aB	35,11	aA	35,93	aA
23:00	21,45	bE	23,50	bD	28,42	bC	32,95	bcB	35,20	abA
Test.**	19,83	bA	19,66	cA	19,65	cA	19,58	dA	19,43	cA

*Sem chuva: Testemunha para chuva simulada; 0', 30', 60', 120': tempos em minutos, decorridos entre a aplicação dos tratamentos e a simulação de chuva. **Test.: Testemunha para horário de aplicação (sem fungicida); 04:00, 09:00, 14:00, 18:00, 23:00: horários de aplicação. ***Letras minúsculas na coluna (comparação de horário de aplicação em cada combinação de intervalos de simulação de chuva); letras maiúsculas na linha (comparação de intervalos de simulação de chuva em cada combinação de horário de aplicação); médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas nas colunas, maiúsculas nas linhas não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 1% de probabilidade.

4.1.2.2 Densidade de estômatos e tricomas em folhas

O estômato consiste de um par de células-guarda, o poro estomático e células subsidiárias, que circundam as células-guarda auxiliando no controle dos poros estomáticos. A célula-guarda difere-se morfológicamente entre as espécies de plantas (TAIZ; ZEIGER, 2004). A quantidade, distribuição, tamanho, forma e mobilidade dos estômatos são características específicas de cada espécie e podem ser alteradas em função das adaptações às condições ambientais (LARCHER, 2000).

A quantidade de estômatos de uma folha, ainda pode ser definida no decorrer do processo de crescimento, e os fatores que afetam esta quantidade são as diferenças na intensidade luminosa e a disponibilidade hídrica (KOUWENBERG et al., 2004).

A densidade estomática de folhas em plantas submetidas ao déficit hídrico foi na média menor do que às sem restrição hídrica (Figura 9). As folhas de plantas com estresse apresentaram na média 280 estômatos por mm^2 em comparação com 375 estômatos por mm^2 de folhas em plantas sem deficiência hídrica. Foi observado um aumento na densidade estomática em seca moderada, mas uma diminuição ocorreu com uma maior severidade de seca, o que é consistente com um estudo de folhas de arroz (MENG et al., 1999).

A densidade estomática de folhas de diversas variedades de *Jujuba* também têm padrões semelhantes sob um gradiente de severidade de seca, inicialmente aumentando e após em declínio (LIU et al., 2006). O resultado do experimento não foi de acordo com os achados por Willmer e Fricker (1996), que sugeriram que as plantas expostas a condições de solo seco e baixa umidade tem mais estômatos que plantas cultivadas em condições opostas, embora estudos mais específicos sugiram que as plantas podem responder de uma variedade de formas (NAUTIYAL et al., 1994; PSARAS et al., 1985).

Nas folhas de plantas com déficit hídrico foi verificado maior densidade de tricomas e aumento do tamanho dos mesmos em comparação às plantas sem deficiência hídrica (Figura 10). Os valores são observados na figura 9, que mostra na média das folhas de plantas com déficit hídrico 38 tricomas em 4 mm^2 e em folhas de plantas sem déficit hídrico apresentaram 11 tricomas em 4 mm^2 . Os dados não foram corroborados com os apresentados por Yadav et al. (2014), onde mostram que o estresse hídrico induz uma diminuição na densidade de tricomas glandular e também do tamanho.

O aumento na densidade de tricomas em folhas de plantas sob estresse hídrico estão de acordo com os resultados encontrados por Quarrie e Jones (1977), em plantas de trigo estressadas. Alguns autores têm sugerido que os tricomas em folhas de espécies do mediterrâneo podem melhorar o estado da água na folha por aprisionamento e retenção da água na superfície, assim, auxiliando na sua absorção final no mesófilo

(GRAMMATIKOPOULOS; MANETAS, 1994; MORALES et al., 2000), ou reduzindo a perda de água através do aumento da resistência.

Os tricomas podem proteger as plantas contra o estresse hídrico (GATES, 1980; SCHUEPP, 1993) e o superaquecimento, diminuindo a incidência solar através do sombreamento (EHLERINGER, 1976) e aumentando a camada de ar estagnada na superfície foliar, que reduz a quantidade de água perdida por evapotranspiração (GATES, 1980; SCHUEPP, 1993).

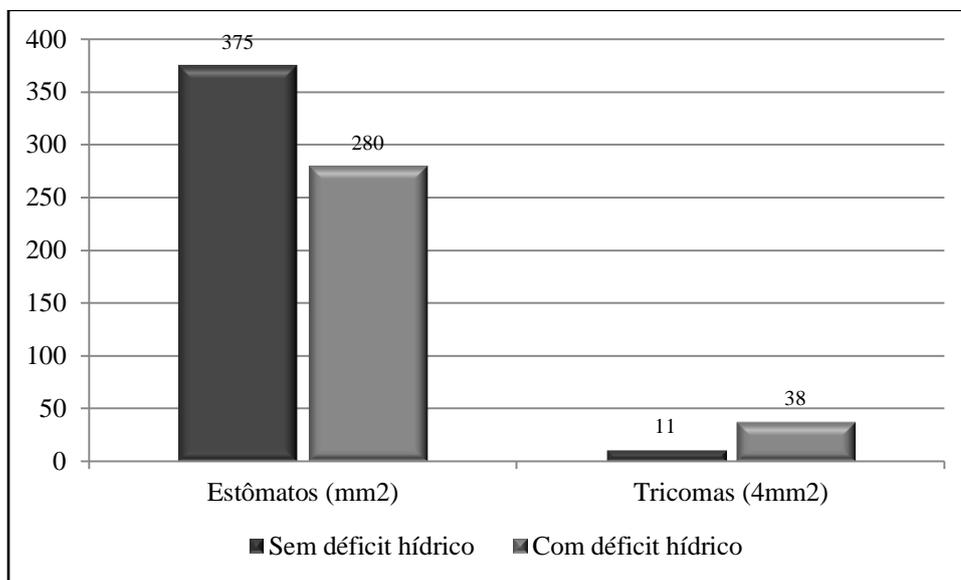


Figura 9 – Densidade de estômatos e tricomas em folhas de plantas sem déficit hídrico e com déficit hídrico. Itaara – RS, 2013.

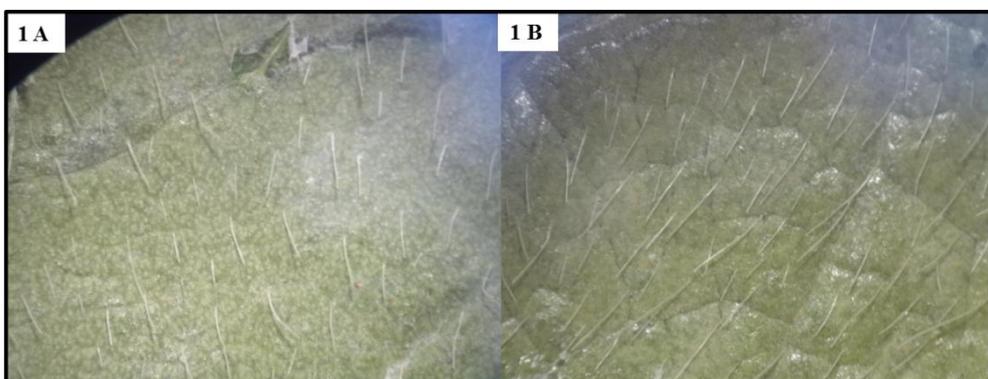


Figura 10 – Tricomas de folhas em plantas sem déficit hídrico (1A), tricomas de folhas em plantas sob déficit hídrico (1B). Itaara – RS, 2013.

4.1.2.3 Concentração de peróxido de hidrogênio e peroxidação lipídica

Sob situações ditas ideais, o organismo vegetal deve possuir a produção de radicais livres e as defesas antioxidantes em um estado de equilíbrio. Ocorrendo um incremento na produção de radicais livres, o metabolismo vegetal entra em desequilíbrio, resultando em estresse oxidativo, podendo ocasionar danos celulares (MARSCHNER, 1995).

As plantas são constantemente expostas a situações de estresse e através da modulação entre a percepção/sinalização de agentes estressores e respostas de defesa o metabolismo é mantido em condições produtivas. A falta de água no solo e, conseqüentemente na planta, induz uma série de alterações fisiológicas, bioquímicas e moleculares que podem culminar na ocorrência de estresse oxidativo mediado pelo incremento na produção de espécies ativas de oxigênio (Mittler, 2002).

Pode se observar nas figuras 11 e 12 aumento significativo dos níveis de peróxido de hidrogênio e peroxidação lipídica em folhas de plantas submetidas ao déficit hídrico. Taiz e Zaeger (2013) demonstram que plantas submetidas ao déficit hídrico tendem a fechar seus estômatos para limitar a perda de água por transpiração. Mittler (2002) mostra que com a redução estomática pode limitar o influxo de CO₂ para as folhas e disparar a fotorrespiração, a qual induz maior produção de peróxido de hidrogênio (H₂O₂) nos peroxissomos.

Ainda neste sentido, muito embora espécies reativas como o H₂O₂ atuem também como sinalizadores no organismo vegetal, fica claro que para o presente estudo o nível de peróxido ultrapassou a capacidade metabólica do sistema antioxidante. Isto resultou em dano as estruturas celulares evidenciado na forma de peroxidação de lipídeos.

Segundo Doke et al. (1996), as espécies reativas de oxigênio podem atuar diretamente sobre o patógeno, inibindo seu desenvolvimento, através do fortalecimento da parede celular via ligações cruzadas com proteínas estruturais, bem como pela redução da fluidez de membrana resultante da peroxidação de lipídeos. O aumento dos níveis de H₂O₂ e peroxidação lipídica podem estar relacionados com o atraso no aparecimento da primeira pústula de *P. pachyrhizi* e aos menores valores de severidade de *P. pachyrhizi* e *C. kikuchii* em plantas sob déficit hídrico em relação às plantas sem déficit hídrico, encontrados nas tabelas 3, 4 e 5 respectivamente. Adicionalmente, Sutherland (1991), Allan e Fluhr (1997) relatam o efeito tóxico direto de H₂O₂ ao patógeno, agindo como um agente antifúngico e antibacteriano.

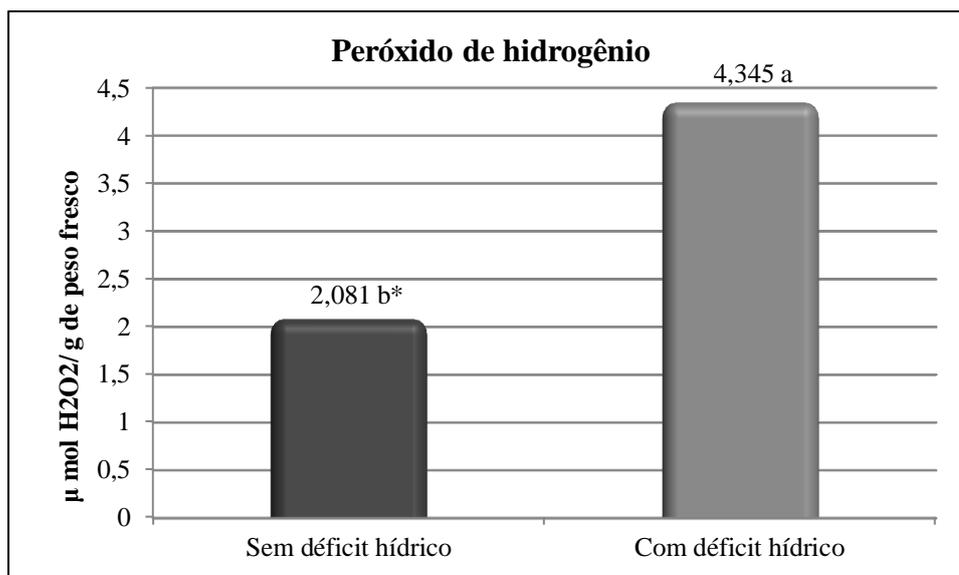


Figura 11 – Peróxido de hidrogênio em folhas de plantas submetidas a diferentes regimes hídricos. *Médias seguidas pela mesma letra minúscula não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 1% de probabilidade. Itaara – RS, 2013.

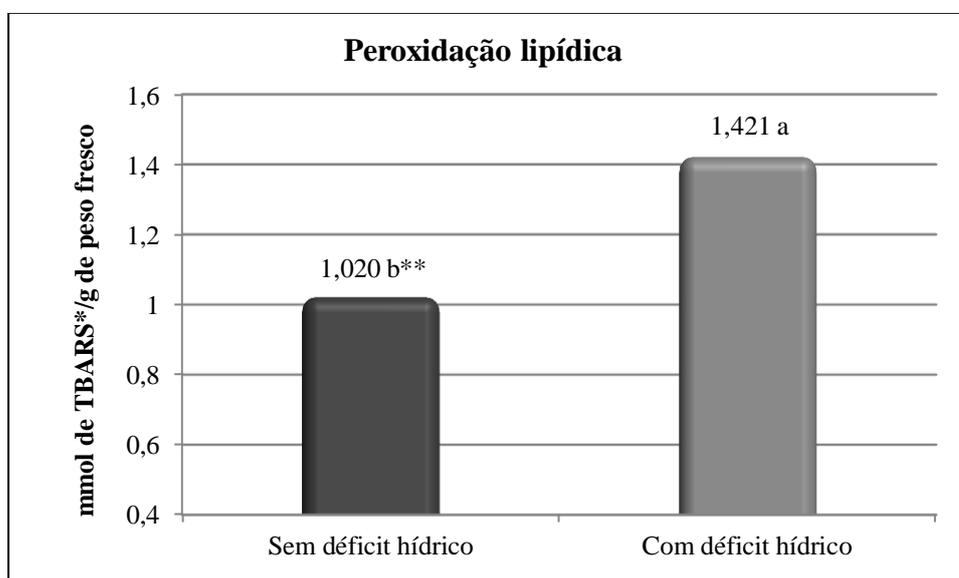


Figura 12 – Peroxidação lipídica em folhas de plantas submetidas a diferentes regimes hídricos. *TBARS: substâncias reativas ao ácido tio- barbitúrico; **Médias seguidas pela mesma letra minúscula não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 1% de probabilidade. Itaara – RS, 2013.

4.1.3 Parâmetros relacionados à produtividade da soja

4.1.3.1 Produtividade da soja e massa de grão

A análise de variância dos dados revelou interação tripla entre os fatores considerados para a produtividade da soja (Apêndice A, quadro 12).

Na tabela 8 são apresentados os dados de produtividade. Primeiramente foi analisada a interação significativa ao nível de 1% em relação à horários de aplicação e intervalos de chuva após a aplicação para cada regime hídrico imposto às plantas (Apêndice A, quadro 13 e 14) e, posteriormente, o efeito das variáveis na interação de regimes hídricos em cada combinação de horário de aplicação e simulação de chuva.

Verifica-se na tabela 8, uma redução significativa na produtividade em plantas sob déficit hídrico, quando comparado às plantas sem déficit hídrico. A falta de água no solo é extremamente prejudicial para a planta, em que pode limitar o potencial produtivo em diversas espécies (SANTOS; CARLESSO, 1998), bem como provocar menor crescimento durante o período vegetativo (LOBATO et al., 2008a) e promover o aborto de flores durante o período reprodutivo (PIMENTEL, 2004).

A soja é considerada uma espécie sensível aos vários estresses abióticos (VAN HEERDEN; KRÜGER, 2000). A sensibilidade dessa cultura sob déficit hídrico pode ser enfatizada, principalmente durante o período de crescimento e de desenvolvimento, e como resultado, verifica-se uma forte redução da área foliar, menor assimilação de nutrientes e menor número de vagens e conseqüentemente, a diminuição de rendimento (VAN HEERDEN; KRÜGER, 2002).

Observando a tabela 8, no regime com déficit hídrico, na simulação de chuva aos zero minutos após as aplicações, somente os tratamentos fungicidas realizados sob a luz solar apresentaram incremento significativo na produtividade em relação a testemunha sem aplicação de fungicida. Na simulação de chuva aos 30 minutos após a aplicação, observa-se incremento de produtividade pela aplicação dos tratamentos fungicidas sob luz solar em relação aos tratamentos fungicidas realizados no escuro. O fato mostra novamente a maior taxa de penetração do fungicida pela aplicação sob luz solar, reduzindo os valores de severidade de *P. pachyrhizi* e *C. kikuchii*, resultando em incrementos significativos de produtividade. Autores revelam que não é somente o controle da doença que impacta em

incremento de produtividade, mas também a maior taxa de retenção do fungicida em plantas sob luz solar mantem um equilíbrio entre a formação e desintoxicação de espécies de oxigênio ativado, levando à melhora parcial da sua resposta ao estresse oxidativo induzido pela seca em aplicações com fungicidas triazóis (RABERT et al., 2013).

No regime sem déficit hídrico, também verificou redução de produtividade pela aplicação nos horários das 04:00 e 23:00 horas através da simulação de chuva aos 30 e 60 minutos após a aplicação em relação aos horários das 09:00, 14:00, 23:00 horas. Não foi observado incremento significativo na produtividade pela aplicação realizada às 04:00 e 23:00 horas em relação a testemunha sem aplicação, pela simulação de chuva aos zero minuto após a aplicação. No entanto, quando compara-se o valor da testemunha sem aplicação com os valores das aplicações realizadas sob luz solar, na mesma simulação, observa-se incrementos significativos pelas aplicações realizadas durante o dia. Fica evidenciado com clareza a baixa penetração do fungicida em períodos iniciais após a aplicação em plantas sob o escuro, resultando em redução na produção de grãos.

A análise de variância dos dados de massa de grão por grão de soja, revelou interação dupla entre os fatores considerados (Apêndice A, quadro 15).

Na tabela 9 e 10 são apresentados os dados de massa de grão. Primeiramente foi analisada a interação em relação à regime hídrico e horário de aplicação (Tabela 9) e, posteriormente, o efeito da variável na interação de horário de aplicação em cada combinação de simulação de chuva (Tabela 10).

Na avaliação das testemunhas sem aplicação de fungicida para os diferentes regimes hídricos não se observou diferença significativa para a massa de grão. Porém quando efetuadas as aplicações fungicidas, observa-se reposta positiva sobre a massa de grãos, independente do regime hídrico (Tabela 9).

Analisando os horário de aplicação nos diferentes regimes hídricos, percebe-se valores superiores significativos na massa de grão nos tratamentos sob plantas em déficit hídrico (Tabela 9). De acordo com o experimento, as plantas sob déficit hídrico foram conduzidas por um período total de 39 dias sob a capacidade de campo de 50-60%. Após esse período, as plantas foram mantidas sem restrição hídrica, com capacidade de campo de 90-100% até o fim do experimento. O retorno às condições favoráveis de água no solo, das plantas estarem na fase de enchimento de grão, e devido as aplicações fungicida, que possibilitaram menores valores de severidade da doença, resultaram em maior massa de grãos em plantas que passaram um período de tempo sob restrição hídrica. Bergmann et al. (1999) afirmam que, além da proteção contra fungos fitopatogênicos, o grupo das estrobilurinas contribuem para as

reações de resistência em plantas sob estresse, podendo aumentar não só a produtividade, mas também a qualidade dos produtos.

Uma resposta positiva na massa de grãos em plantas sob estresse também pode ser devido ao aumento no teor de umidade e no teor de açúcar solúvel em folhas de soja pelas aplicações de triazóis. O resultado pode ser atribuído à capacidade de triazóis em fechar parcialmente os estômatos, aumentando o conteúdo de ABA e, conseqüentemente, a redução da transpiração e a perda de água a partir de folhas de plantas (SREETHAR, 1991). Zhang et al. (2007) descobriram que a aplicação de uniconazole em condições de déficit hídrico, aumentou o teor de açúcar solúvel em folhas de soja. O acúmulo de carboidratos solúveis aumentam a resistência ao estresse hídrico em plantas (KEYVAN, 2010). A literatura mostra a importância dos açúcares em proteger as células durante a seca pelo seguinte mecanismo: os grupos hidroxila dos açúcares pode ser substituído por água para manter interações hidrofílicas em membranas e proteínas durante a desidratação. Assim, os açúcares interagem com as proteínas e membranas impedindo assim a desnaturação da proteína (AL – RUMAIH; AL - RUMAIH, 2007) .

As aplicações em plantas realizadas às 09:00, 14:00 e 18:00 horas e após simulação de chuva aos zero, 30 e 60 minutos, apresentaram incremento significativo na massa de grão quando comparada as aplicações realizadas às 04:00 e 23:00 horas nas mesmas simulações de chuva (Tabela 10). O resultado observado, novamente reflete ao fato de que a simulação de chuva, principalmente após as aplicações realizadas nos períodos noturnos, exerce maior influencia negativa na retenção de produtos na folha. Pela simulação de chuva, pode-se dizer que a taxa de penetração do fungicida é menor em plantas sob o escuro, aumentando significativamente os valores de severidade de *P. pachyrhizi* e *C. kikuchii* que conseqüentemente convertem-se em menor área fotossinteticamente ativa da folha refletindo em redução na massa de grão.

De acordo com Silva e Schipanski (2007), os danos observados pelas doenças foliares são decorrentes das lesões e necrose do tecido vegetal que limita a interceptação da radiação solar e translocação de fotossintatos. Assim, as doenças foliares apresentam correlação negativa significativa com a massa de grãos, ou seja, com o aumento da severidade reduzem a massa de grãos, fato este constatado por Cunha et al. (2010) em trabalho desenvolvido em Indianópolis (MG) com a cultura do milho.

Tabela 8 – Produtividade de soja (g planta⁻¹) na interação entre regimes hídrico, horários de aplicação e intervalos de simulação de chuva após a aplicação. Itaara – RS, 2013.

Regime hídrico	Hor. aplic.	Intervalos de simulação de chuva										Médias
		0'		30'		60'		120'		Sem chuva**		
Com déficit híd.***	4:00	1,42	bcDβ****	1,63	bCβ	2,01	aBβ	2,20	aABβ	2,22	aAβ	1,85
	9:00	1,69	aBβ	1,86	aBβ	2,17	aAβ	2,28	aAβ	2,33	aAβ	
	14:00	1,59	abCβ	1,89	aBβ	2,06	aABβ	2,19	aAβ	2,18	aAβ	
	18:00	1,66	aCβ	1,92	aBβ	2,06	aABβ	2,21	aAβ	2,23	aAβ	
	23:00	1,41	bcCβ	1,59	bCβ	2,03	aBβ	2,19	aABβ	2,22	aAβ	
	Test.*	1,28	cAβ	1,29	cAβ	1,27	bAβ	1,28	bAβ	1,27	bAβ	
Sem déficit hídrico	4:00	7,79	bCα	8,31	bCα	9,24	bBα	10,16	aAα	10,20	aAα	9,13
	9:00	8,46	aCα	9,29	aBα	9,95	aAα	10,32	aAα	10,36	aAα	
	14:00	8,42	aCα	9,27	aBα	9,87	aAα	10,19	aAα	10,18	aAα	
	18:00	8,41	aCα	9,26	aBα	9,84	aAα	10,21	aAα	10,26	aAα	
	23:00	7,99	abCα	8,46	bCα	9,24	bBα	10,16	aAα	10,31	aAα	
	Test.	7,60	bAα	7,58	cAα	7,52	cAα	7,51	bAα	7,62	bAα	

*Test.: Testemunha para horário de aplicação (sem fungicida); 04:00, 09:00, 14:00, 18:00, 23:00: horários de aplicação. **Sem chuva: Testemunha para chuva simulada; 0', 30', 60', 120': tempos em minutos, decorridos entre a aplicação dos tratamentos e a simulação de chuva. ***Com déficit híd.: Regime hídrico na capacidade de campo de 50-60%; Sem déficit hídrico: Regime hídrico na capacidade de campo de 90-100%. **** Letras minúsculas na coluna (comparação de horários de aplicação em cada combinação de regime hídrico e intervalos de simulação de chuva); letras maiúsculas na linha (comparação de intervalos de simulação de chuva em cada combinação de regime hídrico e horário de aplicação); letras gregas na coluna (comparação de regime hídrico em cada combinação de horário de aplicação e intervalos de simulação de chuva); médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas nas colunas, maiúsculas nas linhas e gregas nas colunas não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 1% de probabilidade.

Tabela 9 – Massa de grão de soja (g grão⁻¹) na interação entre regime hídrico e horário de aplicação. Itaara – RS, 2013.

Regime hídrico	Horário de aplicação						Test.*
	04:00	09:00	14:00	18:00	23:00		
Com déficit hídrico**	0,223 aC***	0,245 aA	0,235 aB	0,239 aAB	0,223 aC	0,174 aD	
Sem déficit hídrico	0,205 bB	0,227 bA	0,224 bA	0,221 bA	0,211 bB	0,178 aC	

*Test.: Testemunha para horário de aplicação (sem fungicida); 04:00, 09:00, 14:00, 18:00, 23:00: horários de aplicação. **Com déficit hídrico: Regime hídrico na capacidade de campo de 50-60%; Sem déficit hídrico: Regime hídrico na capacidade de campo de 90-100%. ***Letras minúsculas na coluna (comparação de regime hídrico em cada combinação de horário de aplicação); letras maiúsculas na linha (comparação de horário de aplicação em cada combinação de regime hídrico); médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas nas colunas, maiúsculas nas linhas não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 1% de probabilidade.

Tabela 10 – Massa de grão de soja (g grão⁻¹) na interação entre horário de aplicação e intervalos de simulação de chuva. Itaara – RS, 2013.

Horário de aplicação	Intervalos de simulação de chuva					Sem chuva*
	0'	30'	60'	120'		
4:00	0,182 bD***	0,198 bC	0,219 bB	0,232 aAB	0,238 aA	
9:00	0,214 aC	0,232 aB	0,238 aAB	0,246 aA	0,250 aA	
14:00	0,209 aB	0,227 aA	0,232 abA	0,240 aA	0,239 aA	
18:00	0,205 aC	0,226 aB	0,235 aAB	0,241 aA	0,242 aA	
23:00	0,186 bC	0,199 bC	0,219 bB	0,237 aA	0,243 aA	
Test.**	0,178 bA	0,179 cA	0,173 cA	0,178 bA	0,174 bA	

*Sem chuva: Testemunha para chuva simulada; 0', 30', 60', 120': tempos em minutos, decorridos entre a aplicação dos tratamentos e a simulação de chuva. **Test.: Testemunha para horário de aplicação (sem fungicida); 04:00, 09:00, 14:00, 18:00, 23:00: horários de aplicação. ***Letras minúsculas na coluna (comparação de horário de aplicação em cada combinação de intervalos de simulação de chuva); letras maiúsculas na linha (comparação de intervalos de simulação de chuva em cada combinação de horário de aplicação); médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas nas colunas, maiúsculas nas linhas não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 1% de probabilidade.

4.1.4 Correlações entre as variáveis

Os coeficientes de correlação linear estão expressos nas tabelas 11 e 12. Primeiramente foram analisados o coeficiente de correlação linear de Pearson para o regime

com déficit hídrico (Tabela 11) e posterior foram analisados o coeficiente de correlação linear de Pearson para o regime sem déficit hídrico entre as variáveis consideradas (tabela 12). Este tipo de análise dá uma ideia da correlação entre uma série de variáveis e é um sinal importante da relação de linearidade seguida pelos resultados dos tratamentos.

A variável número de dias para o aparecimento da primeira pústula apresentou correlação negativa significativa com a variável severidade de *Phakopsora pachyrhizi*. Isto pode ser explicado pelo fato de quanto mais dias para visualizar a primeira pústula, menor será o inóculo inicial, proporcionando menor taxa de progresso da doença e com isso estabelecendo menor severidade de ferrugem asiática da soja.

Mesmo comportamento foi observado na correlação entre a severidade de *P. pachyrhizi* e *Cercospora kikuchii* com a variável teor relativo de clorofila. Sendo que quanto maiores os valores de severidade das doenças em folhas, menor foram os valores do teor relativo de clorofila. Com a maior taxa de penetração do fungicida, a severidade foi menor, que por sua vez ocasionou um atraso na senescência de folhas, prolongando o tecido verde. Roese e Lima Filho (2010) avaliando o efeito de fungicidas no controle da ferrugem da soja, na produtividade e nos teores nutricionais em folhas e grãos, observaram que o maior teor de clorofila estava relacionado com o menor número de lesões provocadas pelo patógeno.

A variável severidade de *C. kikuchii* apresentou correlação positiva significativa com a variável incidência do fungo em grãos nos diferentes regimes hídricos, ou seja, pelos maiores valores de severidade em folha, maior foi a incidência em grãos. Isto pode ser explicado pelo fato da folha servir como fonte de inóculo do patógeno estando próxima ao legume, que por sua vez colonizará o grão. Oliveira et al. (2000) relatam que os níveis de infecção em folhas de *C. kikuchii* poderão ser muito influentes como fonte de inóculo para o ciclo secundário ou para ciclo primário, pela transmissão através das sementes, para novos cultivos em áreas isentas dessas doenças.

Nas tabelas 11 e 12, percebe-se que quanto maiores os valores do teor relativo de clorofila em folhas, maiores são os valores de produtividade. Os autores Lima et al. (2001) e Silveira et al. (2003) relatam que o conteúdo de clorofila correlaciona-se com a concentração de N na planta e, também, com a produtividade das culturas.

Em ambos os regimes hídricos, tanto para a severidade de ferrugem asiática quanto para o crestamento foliar por *Cercospora* as relações foram significativamente negativas com a produtividade. Vários estudos foram conduzidos com patógenos para explicar o efeitos de diferentes tratamentos fungicida no controle da doença, sendo correlacionados com a

produtividade. Ramos (2011), encontrou relação negativa tanto de ferrugem como de helmintosporiose com o rendimento da cultura do milho.

A massa de grão é um componente que contribui diretamente no rendimento final. Pode-se observar que esta variável é importante a ser analisada quando se busca ajustar programas de controle de doenças em soja, apresentando uma correlação negativa superior a 85% para as doenças relacionadas no experimento e uma correlação positiva superior a 96% com o rendimento, para ambos os regimes hídricos. Tais resultados entram em acordo com os observados por Ottaviano e Camussi (1981), os quais obtiveram um coeficiente de correlação de 80% entre o peso do grão e o rendimento de milho.

Tabela 11 – Coeficiente de correlação linear de Pearson para o regime com déficit hídrico entre as variáveis número de dias para o aparecimento da primeira pústula (NDAPP), severidade de *Phakopsora pachyrhizi* (SEVP), severidade de *Cercospora kikuchii* (SEVC), incidência em grãos de *C. kikuchii* (INCGRÃOS), teor relativo de clorofila aos 30 dias após a aplicação de fungicida (CLOR 30), produtividade de soja (PROD) e massa de grão (MASSA GRÃO). Itaara – RS, 2013.

	NDAPP	SEVP	SEVC	INCGRÃOS	CLOR 30	PROD	MASSA GRÃO
NDAPP	1	-0,8881*	-0,8431*	-0,9544*	0,9522*	0,9448*	0,8668*
SEVP		1	0,9644*	0,9414*	-0,9521*	-0,9807*	-0,9735*
SEVC			1	0,9352*	-0,9361*	-0,9437*	-0,9827*
INCGRÃOS				1	-0,9783*	-0,9728*	-0,9429*
CLOR 30					1	0,9824*	0,9577*
PROD						1	0,9661*
MASSA GRÃO							1

* Significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$).

Tabela 12 – Coeficiente de correlação linear de Pearson para o regime sem déficit hídrico entre as variáveis número de dias para o aparecimento da primeira pústula (NDAPP), severidade de *Phakopsora pachyrhizi* (SEVP), severidade de *Cercospora kikuchii* (SEVC), incidência em grãos de *C. kikuchii* (INCGRÃOS), teor relativo de clorofila aos 30 dias após a aplicação de fungicida (CLOR 30), produtividade de soja (PROD) e massa de grão (MASSA GRÃO). Itaara – RS, 2013.

	NDAPP	SEVP	SEVC	INCGRÃOS	CLOR 30	PROD	MASSA GRÃO
NDAPP	1	-0,9095*	-0,8334*	-0,9205*	0,9621*	0,9533*	0,9246*
SEVP		1	0,9526*	0,9598*	-0,9468*	-0,9618*	-0,9255*
SEVC			1	0,9306*	-0,8908*	-0,8830*	-0,8572*
INCGRÃOS				1	-0,9810*	-0,9752*	-0,9737*
CLOR 30					1	0,9830*	0,9731*
PROD						1	0,9834*
MASSA GRÃO							1

* Significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$).

4.2 Experimento à campo

4.2.1 Parâmetros relacionados à doença

4.2.1.1 Severidade de *Phakopsora pachyrhizi* aos 21 dias após a primeira aplicação (21DAA1) e Área Abaixo da Curva de Progresso da Doença (AACPD)

Com base nas análises das variâncias, foi possível observar o efeito da interação horário de aplicação e intervalos de simulação de chuva sobre o comportamento de *Phakopsora pachyrhizi* na cultura da soja e na Área Abaixo da Curva de Progresso da Doença (AACPD) (Apêndice B, quadro 16 e 17). Estas por sua vez podem ser comprovadas pela área foliar atacada pelo patógeno no tratamento testemunha sem aplicação de fungicida, fato que indicou a distribuição homogênea do patógeno no trabalho, dando a liberdade de discriminação nos demais tratamentos quanto ao seu controle.

O fator horário de aplicação correspondeu as parcelas principais e as simulações de chuva foram alocadas nas subparcelas do experimento. Para tanto, foi alocada uma testemunha sem fungicida para cada simulação de chuva, de forma a servir como padrão de

referência sobre o estabelecimento, infecção, colonização e reprodução do patógeno para cada simulação de chuva. Neste contexto, metodologias de leitura e análise da doença como severidade (%) e Área Abaixo da Curva de Progresso da Doença (AACPD), serviram como parâmetros avaliativos para mensurar indiretamente o efeito do horário de aplicação sobre a penetração do fungicida através da simulação de chuva.

Na figura 13 estão os dados de severidade de *P. pachyrhizi* aos 21 dias após a primeira aplicação (21 DAA1). Como esperado, a simples simulação de chuva nas testemunhas de cada nível dos fatores não apresentou influência no desenvolvimento da doença.

Considerando o fungicida aplicado, os dados demonstram que o efeito negativo da chuva está diretamente ligado ao intervalo entre a aplicação e a ocorrência da mesma. Este efeito foi ainda mais pronunciado em aplicações realizadas à noite, principalmente no horário das 04:00 horas na presença de orvalho.

A chuva e orvalho são fatores climáticos que também requerem atenção no momento das aplicações. Antuniassi (2005), recomenda bastante cuidado na observação do intervalo mínimo de tempo entre a aplicação e a ocorrência da chuva, visando permitir o tempo mínimo para a penetração dos ingredientes ativos. No caso do orvalho, o autor relata que a presença de água nas folhas pode causar interferência na técnica de aplicação. Entretanto, existem situações, dependendo da técnica empregada e do tipo de defensivo utilizado, em que a ação do orvalho pode ser benéfica, onde muitos fungicidas se posicionam nesta situação (ANTUNIASSI, 2005).

De acordo com o experimento, os dados revelam que o intervalo de tempo entre a aplicação e a simulação de chuva deve ser maior, ou nem existir em aplicações realizadas a noite. Através da simulação de chuva após a aplicação efetuadas às 04:00 horas, na presença do orvalho, ocorreu uma maior remoção do produto, sem que o fungicida penetrasse em grandes quantidades para interior da folha. Esse fato também explicado na simulação de chuva dois minutos após a aplicação no horário das 04:00 horas que mostram valores de severidade e AACPD semelhantes significativamente da testemunha (Figura 13 e Tabela 13). Isto indica que através da simulação de chuva após o tratamento ocorreu pouca penetração do fungicida pela folha nos primeiros intervalos de tempo nesse horário de aplicação. Esta afirmação refere-se ao aumento significativo da severidade de *P. pachyrhizi* pela intervenção da simulação de chuva após aplicação do fungicida realizada às 04:00 horas.

A duração do período de molhamento e a quantidade de orvalho sobre as folhas afetam também a aplicação e a eficácia dos tratamentos fitossanitários; pode inibir o congelamento em plantas devido à liberação de calor latente de evaporação, na condensação; reduz ou inibe

a evapotranspiração aumentando o potencial hídrico dos vegetais (AMADOR, 1987). Através do aumento do potencial hídrico das células, a concentração de água nos espaços intercelulares é maior, ficando mais lenta as taxas de penetração do fungicida para o interior da planta.

No fator sem simulação de chuva, na aplicação efetuada às 04:00 horas também apresentou valor significativo maior de severidade de *P. pachyrhizi* em comparação aos horários das 09:00, 18:00 e 23:00 horas. Dependendo da quantidade de orvalho na superfície foliar, pode-se dizer que diminui a atividade do fungicida pela diluição que ocorre antes da penetração, ou que provavelmente ocorreu um escoamento da calda fungicida pulverizada, resultando em maior severidade da doença e AACPD. Resultados semelhantes foram encontrados por Caus e Boller (2008) e Boller et al. (2010) que indicam que a presença de orvalho abundante, causa escoamento da calda fungicida pulverizada e conseqüentemente resulta em perda de eficiência do controle de doenças em soja.

Em aplicação realizada às 23:00 horas (sem presença de orvalho) e após simulação de chuva, também mostraram valores significativamente maiores de severidade da doença e AACPD em relação aos horários das 09:00, 14:00 e 18:00 horas. Porém quando comparados os valores das aplicações realizadas às 23:00 horas com a aplicação efetuada às 04:00 horas observam-se menores valores significativos de severidade e AACPD. Os dados sugerem que à noite a penetração do fungicida é mais lenta do que aplicações realizada durante o dia e que em condição de orvalho a penetração do fungicida nos primeiros momentos após a aplicação é ainda mais demorada.

Os dados de severidade aos 21 DAA1 e AACPD, por intervenção da simulação de chuva aos 2', 30', 60', 120' minutos após a aplicação, mostram rápida penetração do fungicida e seu benefício em reduzir a severidade de ferrugem e o acúmulo da doença com aplicação realizada sob luz solar, durante o dia, nos horários das 09:00, 14:00 e 18:00 horas em relação as aplicações efetuadas no escuro (Figura 13 e Tabela 13). Esse fato pode ser explicado pela transpiração em plantas durante o dia ser maior devido principalmente a presença de luz, fazendo com que ocorra a perda de água na forma de vapor, diminuindo a quantidade de água nos espaços intercelulares. Pela perda de água durante o dia, se estabelece no interior da folha uma menor concentração de água, causando uma maior diferença em relação a gotícula de fungicida pulverizada na superfície foliar. Devido a essa diferença de concentração de água no interior da folha e da gotícula pulverizada na superfície foliar, a difusão da gotícula para o interior da folha em condições de luz solar é maior.

Como evidenciado na explicação dos resultados em casa de vegetação, a temperatura durante o dia é mais elevada do que a noite, influenciando também na penetração do fungicida. Currier e Dybing (1959) mencionaram os efeitos benéficos da temperatura moderadamente quente para estimular a penetração foliar através do aumento da taxa de processos fisiológicos, tais como a fotossíntese e translocação dentro da planta. Gruda (2005) mostra que a temperatura afeta as reações químicas e propriedades físicas das células das plantas, de órgãos e de todo nível da planta.

Os efeitos da temperatura são geralmente expressados como a energia de ativação de difusão. As energias de ativação de difusão são interpretadas como a energia necessária para produzir volumes livres num polímero suficientemente grande para acomodar a molécula por difusão (BAUR et al., 1997). Consequentemente, a energia de ativação aumenta com um aumento do tamanho da molécula e um aumento na temperatura aumenta as taxas de penetração.

A aplicação dos fungicidas nos diferentes horários do dia sem a simulação de chuva apresentaram diferenças significativas entre si no controle da doença (Figura 13) e AACPD (Tabela 13). O melhor desempenho do fungicida, através dos menores valores significativos de severidade e AACPD ocorreu no horário das 09:00 horas da manhã diferenciando significativamente dos demais horários, seguidas das aplicações às 18:00 e 23:00 horas, nas quais não mostram níveis significativos entre si, apresentando diferença somente quando comparados aos horários das 04:00 e 14:00 horas.

A literatura relata que plantas encontradas no horário de aplicação das 09:00 horas estão fisiologicamente mais ativas e associadas as condições de clima mais amenas durante a aplicação resulta em atraso no desenvolvimento da doença. O resultado encontrado não corrobora com os dados apresentados por Caus e Boller (2008) em trabalho com soja, realizado na safra 2007/2008 com aplicações do fungicida (azoxistrobina + ciproconazol) acrescido do óleo mineral Nimbus® desde o amanhecer (06:00 h da manhã, com presença de orvalho abundante, causando escorrimento) até as 21:00 horas da noite (orvalho em formação). Os mesmos autores evidenciaram que o orvalho abundante presente somente no primeiro horário do dia interferiu negativamente na eficiência do fungicida em controlar a ferrugem da soja, enquanto que as variações das demais condições ambientais não interferiram no controle da doença.

Na comparação dos horários de aplicação no fator sem simulação de chuva observou maiores valores de severidade de *Phakopsora pachyrhizi* na aplicação realizada às 14:00 horas (temperatura mais alta, 36,1°C e umidade relativa do ar mais baixa, 37,1%), em relação

às aplicações realizadas nos horários 04:00, 09:00, 18:00 e 23:00 horas com umidade relativa do ar mais elevada e temperaturas mais amenas. Os dados sugerem que a temperatura mais alta, associada com a menor umidade relativa do ar encontrada no horário das 14:00 horas fazem com que as gotículas do fungicida evaporem sem que o fungicida penetre totalmente na superfície foliar.

Em experimento realizado por Boller et al. (2003) conduzido na Universidade de Passo Fundo demonstrou que a pulverização do fungicida difenoconazol realizada às 14:00 horas (temperatura do ar de 28°C e umidade relativa do ar de 49%) apresenta menor eficiência de controle de oídio da soja, enquanto que as aplicações realizadas nos horários das 8:00 e das 18:00 horas apresentaram melhor controle da doença.

Na aplicação realizada às 14:00 horas mostra que a umidade relativa do ar foi a menor dentre os horários de aplicação (37,1%). A umidade relativa do ar, tem grande influência na eficiência de outros produtos fitossanitários e nutrientes aplicados na folha. Em trabalho realizado com herbicida, Muzik (1976) relata que quanto maior a umidade relativa, menor é a quantidade de cera sobre a superfície foliar e menor será a resistência à penetração do produto químico, e mais rápido também será o transporte dos herbicidas. McWhorter e Azlin (1978), verificaram que o glifosato ofereceu melhor controle para o *Sorghum halepense* com umidade relativa em 100% do que em 40%. Jordan (1977) constatou cinco vezes mais ^{14}C de glifosato translocado a 100% de umidade relativa do que a 40%.

De acordo com Tukey e Marczynski (1984), existe uma positiva influência da umidade do ar na absorção de nutrientes pelas folhas e está relacionada com a redução na secagem de gotículas, favorecendo a planta por mais tempo em absorver as gotículas na superfície da folha. Além disso, a elevada umidade do ar faz com que o inchaço da membrana cuticular perca os seus componentes. Através desta mudança na estrutura da cutícula aumenta a penetração de compostos hidrofílicos e como observado no experimento em casa de vegetação, resulta em menores valores de severidade de *Phakopsora pachyrhizi* sob aplicações efetuadas com maior umidade reativa do ar.

Como alternativa para evitar a alta temperatura e a baixa umidade relativa do ar registrada durante parte do dia, pode ser a pulverização noturna, no entanto neste período deve considerar a possível existência de limitações técnicas relativas aos próprios defensivos, no que se refere às questões de eficiência e velocidade de penetração nas situações de ausência de luz como já discutidas no trabalho ou baixas temperaturas (ANTUNIASSI, 2005).

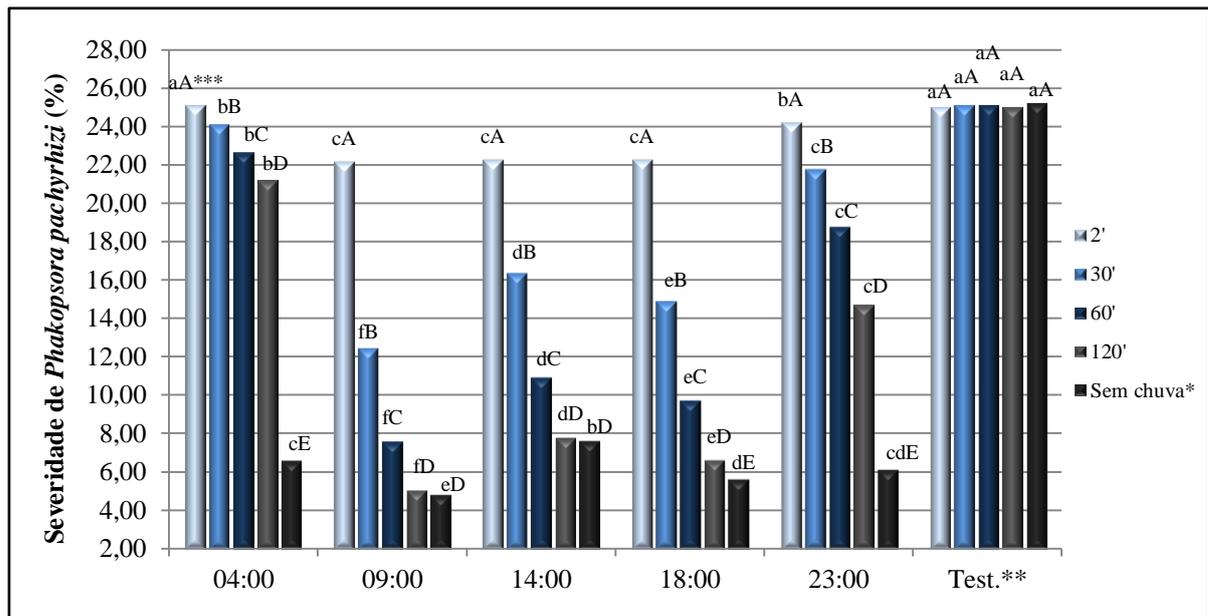


Figura 13 – Severidade de *Phakopsora pachyrhizi* na interação entre horário de aplicação e intervalos de simulação de chuva aos 21 DAA1. Itaara – RS, 2013. *Sem chuva: Testemunha para chuva simulada; 2', 30', 60', 120': tempos em minutos, decorridos entre a aplicação dos tratamentos e a simulação de chuva. **Test.: Testemunha para horário de aplicação (sem fungicida); 04:00, 09:00, 14:00, 18:00, 23:00: horários de aplicação. ***Letras minúsculas, comparação de horário de aplicação em cada combinação de intervalos de simulação de chuva; letras maiúsculas, comparação de intervalos de simulação de chuva em cada combinação de horário de aplicação; médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas e maiúsculas não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 1% de probabilidade.

Tabela 13 – Área abaixo da curva de progresso de *Phakopsora pachyrhizi* (AACPP) na interação entre horário de aplicação e intervalos de simulação de chuva. Itaara – RS, 2013.

Horário de aplicação	Intervalos de simulação de chuva				
	2'	30'	60'	120'	Sem chuva*
4:00	190,64	175,27	163,21	149,40	47,64
9:00	164,94	107,05	70,32	37,84	34,32
14:00	164,13	127,59	93,32	60,46	52,41
18:00	165,94	121,68	84,73	50,94	44,29
23:00	183,57	161,28	135,80	103,54	44,68
Test.**	194,88	195,73	198,40	195,09	197,19

*Sem chuva: Testemunha para chuva simulada; 2', 30', 60', 120': tempos em minutos, decorridos entre a aplicação dos tratamentos e a simulação de chuva. **Test.: Testemunha para horário de aplicação (sem fungicida); 04:00, 09:00, 14:00, 18:00, 23:00: horários de aplicação. ***Letras minúsculas na coluna (comparação de horário de aplicação em cada combinação de intervalos de simulação de chuva); letras maiúsculas na linha (comparação de intervalos de simulação de chuva em cada combinação de horário de aplicação); médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas nas colunas, maiúsculas nas linhas não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 1% de probabilidade.

4.2.2 Parâmetros relacionados à fisiologia da cultura

4.2.2.1 Teor relativo de clorofila (TRC)

A análise de variância demonstrou a existência de interação dupla entre horário de aplicação e intervalos de simulação de chuva para a variável teor relativo de clorofila (TRC), somente no terço inferior do dossel, aos 10 DAA1 (Apêndice B, Quadro 18).

A simples simulação de chuva nas testemunhas sem aplicação fungicida não mostrou diferença nos valores do TRC, como já esperado no experimento.

Observando-se os dados da figura 14, pela simulação de chuva aos zero e 30 minutos após as aplicações percebe-se maiores valores significativos de TRC em aplicações efetuadas durante o dia em comparação as realizadas no período noturno. A simulação de chuva logo após as aplicações (0 e 30 minutos) realizadas no escuro mostram ter grande impacto na remoção do fungicida pelos menores valores de TRC, que não apresentaram diferença quando comparado com a testemunha sem aplicação.

Na aplicação realizada as 04:00 horas, na presença do orvalho, mesmo a simulação de chuva após 60 minutos não foram visualizadas diferenças significativas nos valores de TRC em comparação a testemunha. Os dados mostram a lenta penetração do fungicida pelos menores valores de TRC nos períodos iniciais após a aplicação no horários das 04:00 horas.

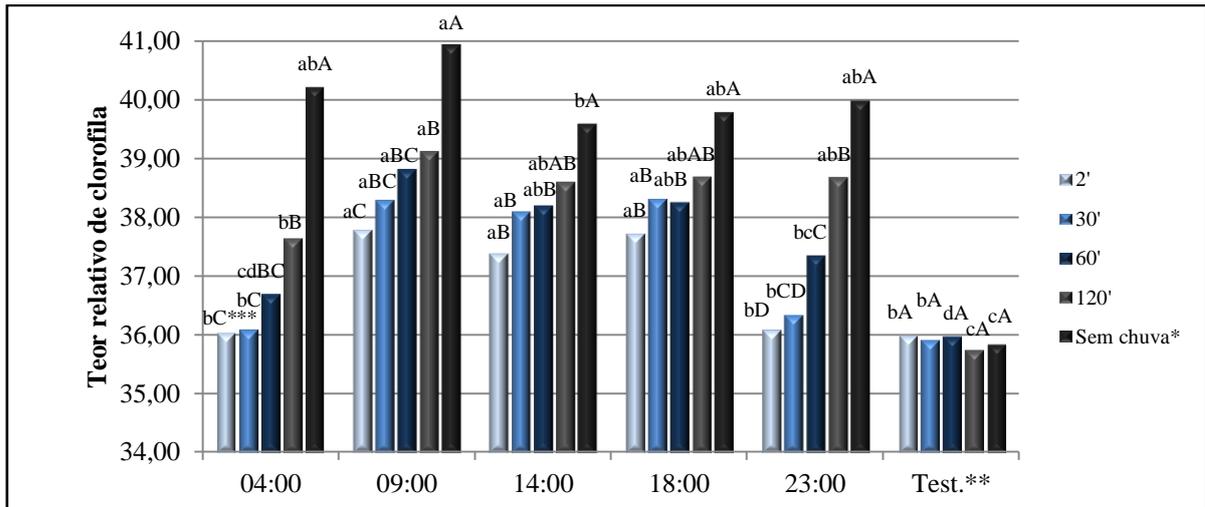


Figura 14 – Teor relativo de clorofila (TRC) de folhas do terço inferior do dossel da cultura aos 10 DAA1 na interação entre horário de aplicação e intervalos de simulação de chuva. Itaara – RS, 2013. *Sem chuva: Testemunha para chuva simulada; 2', 30', 60', 120': tempos em minutos, decorridos entre a aplicação dos tratamentos e a simulação de chuva. **Test.: Testemunha para horário de aplicação (sem fungicida); 04:00, 09:00, 14:00, 18:00, 23:00: horários de aplicação. ***Letras minúsculas, comparação de horário de aplicação em cada combinação de intervalos de simulação de chuva; letras maiúsculas, comparação de intervalos de simulação de chuva em cada combinação de horário de aplicação; médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas e maiúsculas não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 1% de probabilidade.

A análise de variância demonstrou a existência de interação dupla entre horário de aplicação e intervalos de simulação de chuva para a variável teor relativo de clorofila (TRC), no terço inferior e médio do dossel, aos 20 DAA1 (Apêndice B, Quadros 19 e 20).

Analisando os dados de TRC no terço inferior do dossel da cultura aos 20 DAA1, novamente percebe-se pelas simulações de chuva aos 2, 30, 60 e 120 minutos após as aplicações menores valores significativos de TRC pela aplicação nos horários sem luz solar (23:00 e 04:00 horas) (Figura 15).

Na análise dos dados em relação às aplicações efetuadas no período noturno e pelas simulações de chuva aos 30, 60, 120 minutos após a aplicação observam-se maiores valores de TRC para o horário de aplicação das 23:00 horas. Os dados sugerem que a simulação de chuva após as aplicações realizadas às 04:00 horas, proporcionam maior impacto na remoção de produtos não penetrados pela folha. Essa explicação é devido a existência de orvalho na superfície foliar no horário das 04:00 horas. Por esta ocasião e pela sugestão dos dados levam a afirmar que a aplicação realizada às 04:00 horas na presença do orvalho a penetração do fungicidas pelos folíolos é mais lenta.

No horário das 04:00 horas, somente após 60 minutos da aplicação observa-se maior valor significativo de TRC quando comparado com a testemunha sem aplicação. Novamente os dados mostram a baixa penetração do fungicida nos primeiros intervalos de tempo após a aplicação efetuada às 04:00 horas pelos menores valores de TRC.

Os diferentes horários de aplicação sem posterior simulação de chuva diferiram entre si no TRC do terço inferior e médio do dossel aos 20 DAA1 (Figura 15 e 16). Os maiores valores de TRC foram verificados na aplicação realizada às 09:00 horas da manhã. Em contraste ao observado no terço inferior aos 20 DAA1, a aplicação efetuada às 14:00 horas apresentou menor valor de TRC que os demais horários.

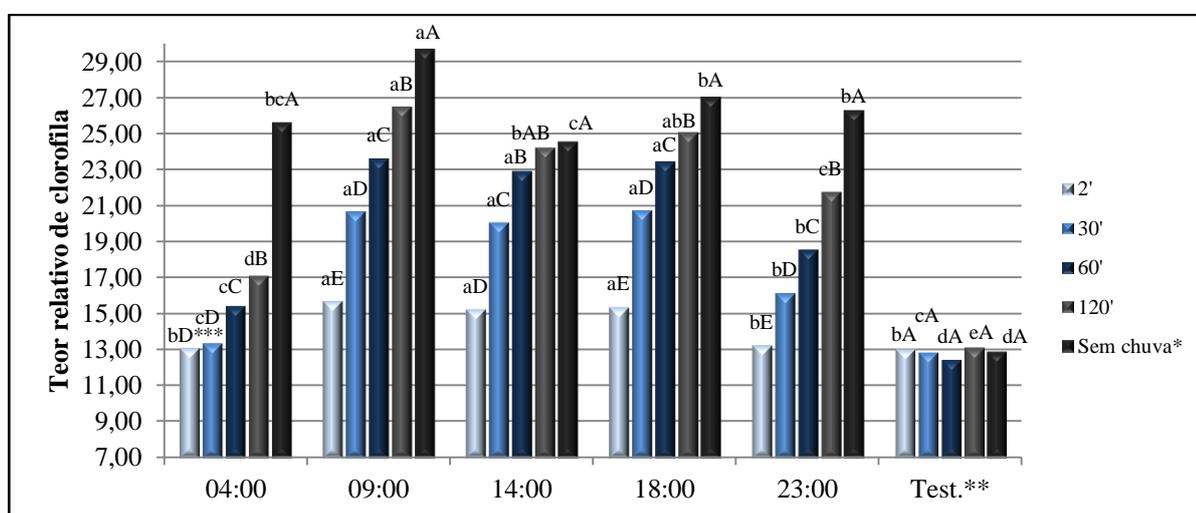


Figura 15 – Teor relativo de clorofila (TRC) de folhas do terço inferior do dossel da cultura aos 20 DAA1 na interação entre horário de aplicação e intervalos de simulação de chuva. Itaara – RS, 2013. *Sem chuva: Testemunha para chuva simulada; 2', 30', 60', 120': tempos em minutos, decorridos entre a aplicação dos tratamentos e a simulação de chuva. **Test.: Testemunha para horário de aplicação (sem fungicida); 04:00, 09:00, 14:00, 18:00, 23:00: horários de aplicação. ***Letras minúsculas, comparação de horário de aplicação em cada combinação de intervalos de simulação de chuva; letras maiúsculas, comparação de intervalos de simulação de chuva em cada combinação de horário de aplicação; médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas e maiúsculas não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 1% de probabilidade.

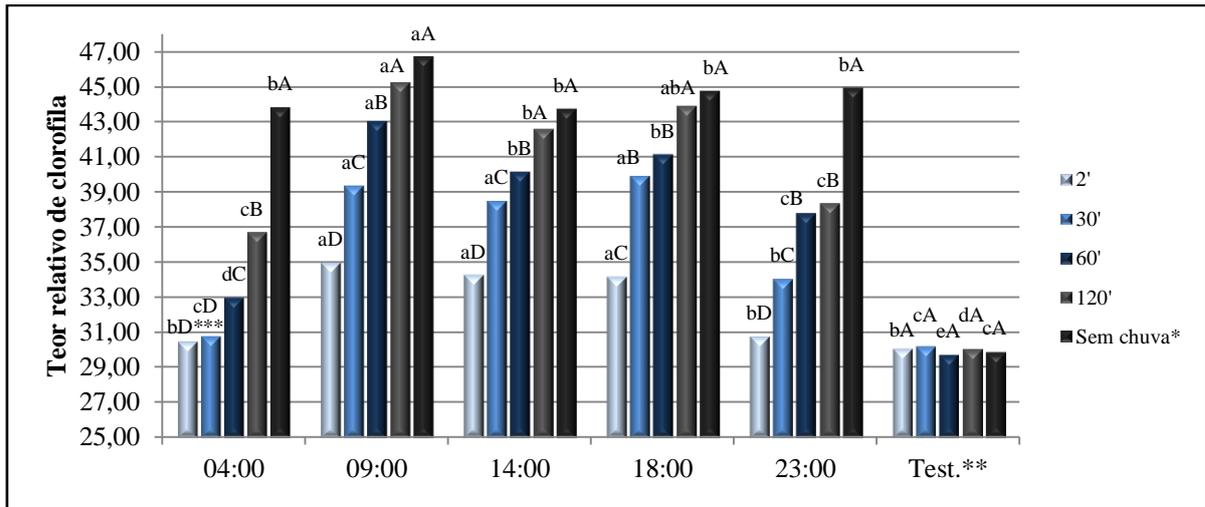


Figura 16 – Teor relativo de clorofila (TRC) de folhas do terço médio do dossel da cultura aos 20 DAA1 na interação entre horário de aplicação e intervalos de simulação de chuva. Itaara – RS, 2013. *Sem chuva: Testemunha para chuva simulada; 2', 30', 60', 120': tempos em minutos, decorridos entre a aplicação dos tratamentos e a simulação de chuva. **Test.: Testemunha para horário de aplicação (sem fungicida); 04:00, 09:00, 14:00, 18:00, 23:00: horários de aplicação. ***Letras minúsculas, comparação de horário de aplicação em cada combinação de intervalos de simulação de chuva; letras maiúsculas, comparação de intervalos de simulação de chuva em cada combinação de horário de aplicação; médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas e maiúsculas não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 1% de probabilidade.

4.2.3 Parâmetros relacionados à produtividade da soja

4.2.3.1 Produtividade da soja e massa de 100 grãos

A análise de variância dos dados da variável produtividade revelaram a existência de interação significativa entre os fatores horário de aplicação e intervalos de simulação de chuva (Apêndice B, Quadro 21).

A simulação de chuva aos 2, 30, 60 e 120 minutos após a aplicação de fungicida causou maior efeito depreciador do produto em folhas de soja, pelos menores valores de produtividade nos horários de aplicação das 04:00 e 23:00 horas (Tabela 14).

Quando comparam-se somente os horários noturnos, foram verificadas diferenças significativas na produtividade. Os dados revelam que as simulações de chuva após a aplicação do horário das 04:00 horas (com presença de orvalho) removeu ainda mais o produto fungicida, pelos menores valores de produtividade que a aplicação realizada às 23:00 horas (sem presença do orvalho).

A difusão do fungicida para o interior da folha ou a penetração do mesmo pelos folíolos de soja na aplicação realizada às 04:00 horas é mais lenta, devido a presença do orvalho. Zabkiewicz (2002) mostra que quando um grande volume de pulverização é aplicado em folhas molhadas pela chuva ou orvalho, há um maior potencial para a reflexão e a retenção diminui.

A simulação de chuva é responsável pela remoção do produto fungicida não penetrado pelos folíolos. Sem a proteção química, a entrada de patógenos em folhas é facilitada, como visualizado nos dados de severidade que por sua vez afetam a área fotossintética e produtividade da cultura da soja.

Analisando os dados nos horários de aplicação com luz solar, sem a simulação de chuva, foram verificados menores valores de produtividade na aplicação efetuadas às 14:00 horas. Em experimento realizado por Boller et al. (2003) conduzido na Universidade de Passo Fundo demonstraram que a pulverização do fungicida difenoconazol realizada às 14:00 horas (temperatura do ar de 28°C e umidade relativa do ar de 49%) apresenta menor rendimento em grãos, devido ao menor controle de oídio que as aplicações realizadas nos horários das 08:00 e das 18:00 horas (temperatura do ar de 20,2°C e de 19,5°C, respectivamente e umidade relativa do ar de 69% e 77%).

Na simulação de chuva aos 2 minutos após a aplicação dos tratamentos percebe-se a importância da primeira aplicação fungicida e seu impacto na produtividade em plantas de soja. Os dados revelam valores significativamente inferiores de produtividade no tratamento testemunha e nos tratamentos fungicida pela aplicação realizada às 23:00 e 04:00 horas. Este fato deve-se a não realização da primeira aplicação no tratamento testemunha e da grande remoção do fungicida em trifólios pela simulação aos 2 minutos após as aplicações das 23:00 e 04:00 horas. Diversos autores mostram a importância da primeira aplicação do fungicida para a proteção de planta contra patógenos. Navarini et al. (2007) avaliaram a consistência de programas de controle químico aplicados de forma curativa e preventiva em várias cultivares de soja e diferentes estádios fenológicos da cultura. Nos resultados obtidos concluiu-se que a variação do rendimento de grãos foi influenciada pelo momento e pelo número de aplicações dos fungicidas. O maior período de proteção à planta, obtido com duas aplicações de fungicida, refletiu na menor severidade da doença, resultando nos maiores incrementos de rendimento.

Tabela 14 – Produtividade da soja (kg ha⁻¹) na interação entre horário de aplicação e intervalos de simulação de chuva. Itaara – RS, 2013.

Horário de aplicação	Intervalos de simulação de chuva									
	2'		30'		60'		120'		Sem chuva*	
4:00	1806,96	bC***	1821,50	bcC	1869,50	dC	1993,35	dB	2407,76	abA
9:00	2020,16	aD	2135,94	aC	2311,56	aB	2471,59	aA	2506,42	aA
14:00	2025,65	aC	2087,63	aC	2186,12	bB	2333,70	bA	2345,55	bA
18:00	2021,36	aC	2128,56	aB	2222,49	abB	2393,28	abA	2464,13	aA
23:00	1834,91	bC	1907,57	bC	2076,84	cB	2155,47	cB	2441,33	abA
Test.**	1783,82	bA	1804,06	cA	1806,42	dA	1799,03	eA	1804,06	cA

*Sem chuva: Testemunha para chuva simulada; 2', 30', 60', 120': tempos em minutos, decorridos entre a aplicação dos tratamentos e a simulação de chuva. **Test.: Testemunha para horário de aplicação (sem fungicida); 04:00, 09:00, 14:00, 18:00, 23:00: horários de aplicação. ***Letras minúsculas na coluna (comparação de horário de aplicação em cada combinação de intervalos de simulação de chuva); letras maiúsculas na linha (comparação de intervalos de simulação de chuva em cada combinação de horário de aplicação); médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas nas colunas, maiúsculas nas linhas não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 1% de probabilidade.

Não foi observada interação dos fatores considerados no experimento para a variável massa de 100 grãos (Apêndice B, Quadro 22). Este fato deve-se a realização da segunda e terceira aplicação padrão de fungicida em todos os tratamentos. Isto mostra que nenhum tratamento ficou sem proteção química no decorrer do experimento. As diferenças observadas foram devido à primeira aplicação que afetou a patogenicidade do fungo que consequentemente causou efeito na variável analisada.

Considerando as médias dos horários de aplicação pode-se observar efeito significativo na massa de 100 grãos (Figura 17). Em aplicações realizadas sob luz solar, nos horários das 09:00, 14:00 e 18:00 pode-se observar na média maior massa de 100 grãos que aplicações efetuadas no escuro. Cabe ressaltar a maior remoção do fungicida nos primeiros intervalos de tempo nas aplicações realizadas no escuro, proporcionando na média dos horários noturno de aplicação menor massa de grãos. Pode-se dizer da mesma forma que ocorreu menor difusão do fungicida para o interior da folha nos primeiros intervalos de tempo nos horários noturnos, que por sua vez pode ser atribuída a maior severidade de *P. pachyrhizi* em folíolos, resultando na antecipação da senescência de folhas e assim menor massa de 100 grãos.

Na média das simulações de chuva também observa-se efeito significativo na massa de 100 grãos em soja (Figura 18). As simulações de chuvas somente foram realizadas após a primeira aplicação de fungicida e mesmo assim afetaram significativamente a massa de 100

grãos em soja. Valores semelhantes são observados na massa de grãos quando foi simulada chuva aos dois, 30 e 60 minutos após as aplicações. Os dados sugerem que a intervenção de uma chuva deve ser no mínimo de 120 minutos após a aplicação realizadas sob a luz solar. E ainda, não deve-se ter interferência da chuva em aplicações realizadas nos horários das 23:00 e 04:00 horas, devido a lenta difusão do fungicida para o interior da folha.

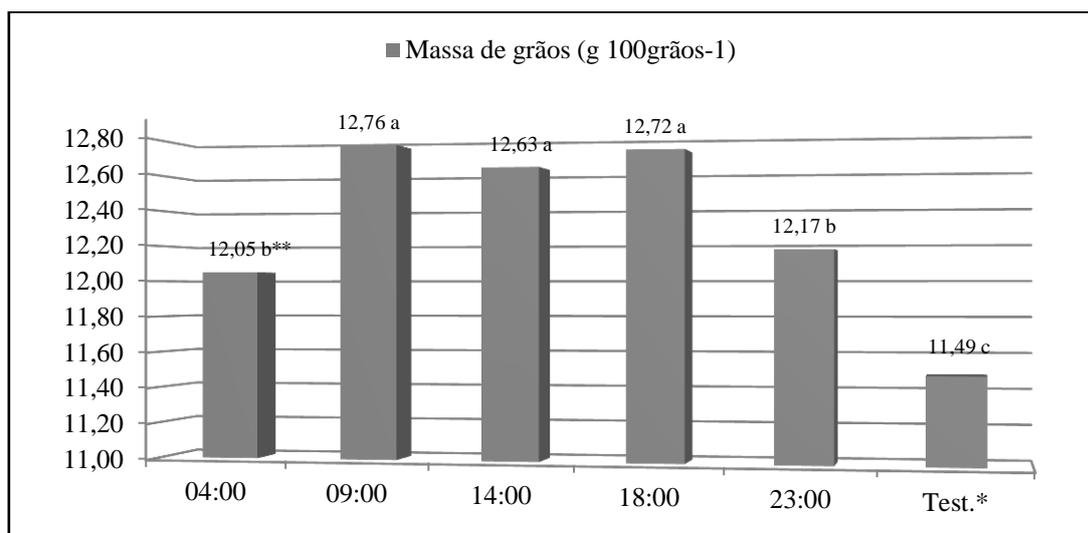


Figura 17 – Massa de grãos da soja (g 100grãos⁻¹) na média dos horários de aplicação. Itaara – RS, 2013. *Test.: Testemunha para horário de aplicação (sem fungicida); 04:00, 09:00, 14:00, 18:00, 23:00: horários de aplicação. **Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 1% de probabilidade.

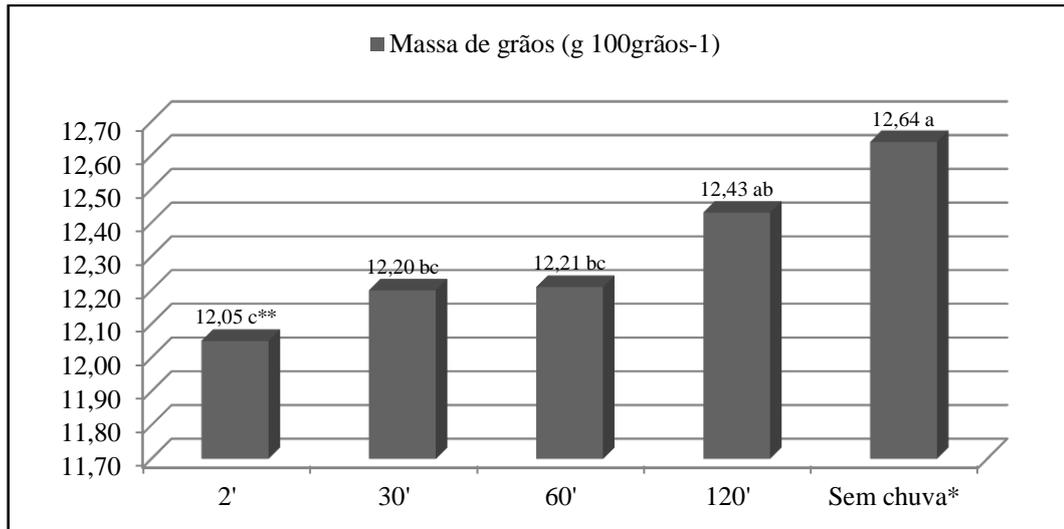


Figura 18 – Massa de grãos da soja (g 100grãos⁻¹) na média dos intervalos de simulação de chuva. Itaara – RS, 2013. *Sem chuva: Testemunha para chuva simulada; 2', 30', 60', 120': tempos em minutos, decorridos entre a aplicação dos tratamentos e a simulação de chuva. **Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 1% de probabilidade.

4.2.4 Correlações entre as variáveis

O coeficiente de correlação linear está expresso na tabela 15. Este tipo de análise novamente representa uma ideia da correlação entre uma série de variáveis e é um sinal importante da relação de linearidade seguida pelos resultados dos tratamentos.

A variável severidade de *Phakopsora pachyrhizi* e a área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD), apresentaram correlação significativamente negativa com as variáveis peso de 100 grãos e produtividade. As doenças fúngicas são muito danosas as culturas, que chegam acarretar perdas de até 80% na produtividade de grãos (BARROS, 1985; HETZLER, et al., 1991; MEHTA, 1993).

A severidade de *P. pachyrhizi* também correlacionou-se negativamente, com correlação superior a 92% com a variável teor relativo de clorofila na folha. As doenças comprometem a manutenção da área foliar verde durante o enchimento de grãos, que é fundamental para garantir a produtividade e consequentemente a qualidade de grãos (REYNOLDS et al., 2000; RICHARDS, 2000).

A variável teor relativo de clorofila apresentou correlação positiva significativa com a variável peso de 100 grãos e produtividade da cultura da soja. Isto pode ser explicado por

Fader e Koller (1983), onde citam que o crescimento de grãos é dependente da exportação de fotoassimilados das folhas, e afirmam haver relação direta entre a taxa de assimilação de carbono e a taxa de exportação de sacarose para os grãos. Sendo assim, ao aumentar a taxa fotossintética pela aplicação de estrobilurinas, promove-se incremento em peso e volume de grãos.

O grupo químico das estrobilurinas também atua como inibidores da síntese de etileno, podendo aliviar a indução de respostas em reação às condições desfavoráveis e assim ter influência positiva no aumento de produtividade, maior índice de colheita e peso de grãos, devido ao melhor particionamento de fotoassimilados (GROSSMANN; RETZLAFF, 1997).

Tabela 15 – Coeficiente de correlação linear de Pearson entre as variáveis severidade de *Phakopsora pachyrhizi* (SEV), área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD), teor relativo de clorofila (CLOR) aos 10 e 20 dias após a primeira aplicação de fungicida, nos terços inferior (I) e médio (M), produtividade da soja (PROD) e massa de 100 grãos (100 GRÃOS). Itaara – RS, 2013.

	SEV	AACPD	CLORI 10	CLORI 20	CLORM 20	PROD	100 GRÃOS
SEV	1	0,9937*	-0,9246*	-0,9873*	-0,9805*	-0,9775*	-0,9026*
AACPD		1	-0,9404*	-0,9903*	-0,9862*	-0,9854*	-0,9063*
CLORI 10			1	0,9515*	0,9570*	0,9627*	0,9386*
CLORI 20				1	0,9884*	0,9817*	0,9127*
CLORM 20					1	0,9874*	0,9296*
PROD						1	0,9292*
100 GRÃOS							1

* Significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$).

5 CONCLUSÕES

De acordo com os resultados obtidos, nas condições em que o experimento foi realizado, pode-se concluir que:

A penetração de fungicida é mais rápida em trifólios sob luz solar.

A aplicação de fungicida em plantas sob déficit hídrico proporciona o maior número de dias para o aparecimento da primeira pústula.

A simulação de chuva tem maior efeito na remoção de fungicidas em aplicações realizadas à noite.

A aplicação de fungicida em trifólios realizada às 09:00 horas proporciona o maior número de dias para o aparecimento da primeira pústula.

As plantas de soja em déficit hídrico desenvolvem estratégias para reduzir a perda de água, o que afeta a patogenicidade de *Phakopsora pachyrhizi* e *Cercospora kikuchii*.

REFERÊNCIAS

ALLAN, A. C.; FLUHR, R. Two distinct sources of elicited reactive oxygen species in tobacco epidermal cells. **The Plant Cell**, v. 9, p. 1559-1572, 1997.

ALMEIDA, A. M. R.; FERREIRA, L. P.; HENNING, A. A.; VELOSO, J. F. S.; YORINORI, J. T. Doenças da Soja. In: KIMATI, H.; AMORIM, L.; BERGAMIN FILHO, A.; CAMARGO, L. E. A.; REZENDE, J. A. M. (Ed.). **Manual de Fitopatologia**. 3.Ed. São Paulo: Agronomica Ceres, 1997. v. 2, p. 642-664.

AL- RUMAIH, M. M.; AL- RUMAIH, M. M. Physiological response of two species of datura to uniconazole and salt stress. **Journal of Food, Agriculture & Environment**, v. 5, p. 450-453, 2007.

AMADOR, P. A. **Duração do período de molhamento por orvalho: estimativa baseada em parâmetros meteorológicos e comparação do desempenho de instrumentos de medição**. 1987. 69 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1987.

ANDEF – Associação Nacional de Defesa Vegetal. **Manual de tecnologias de aplicação de produtos fitossanitários**. São Paulo: Linea Creativa, 2004.

ANTUNIASSI, U. R. Qualidade em tecnologia de aplicação de defensivos. In: V CONGRESSO BRASILEIRO DE ALGODÃO, 2005, Salvador. **Anais**. Campina Grande: EMBRAPA-CNPA, 2005. (CD- Room).

BALARDIN, R. S. Doenças de final de ciclo e ferrugem. In: REIS, E. M. **Doenças na Cultura de Soja**. Passo Fundo: Aldeia Norte Editora, 2004, p.97-108.

BALARDIN, R. S. et al. O Custo das Doenças e as Vantagens de seu Controle. In: SILLON, M.; MUÑOZ, R. (Org.). **Las enfermedades del cultivo de soja y su importancia en los países del Mercosur**. 2010.

BARCELLOS, A. A. **Infiltração de água em um latossolo sob chuva de alta intensidade em diferentes sistemas de manejo**. 1996. 111f. Dissertação (Mestrado em Ciências do Solo) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1996.

BARKER, D. J.; SULLIVAN, C. Y.; MOSER, L. E. Water deficit effects on osmotic potential, cell wall elasticity, and proline in five forage grasses. **Crop Science**, v.85, n. 2, p.

270-275, 1993.

BARROS, B. C. Trigo/Brasil: O papel das doenças na baixa produtividade. **Correio Agrícola**, São Paulo, v. 2, p. 703-710, 1985.

BAUR, P.; BUCHHOLZ, A.; SCHÖNHERR, J. Diffusion in plant cuticles as affected by temperature and size of organic solutes: similarity and diversity among species. **Plant, Cell and Environment**, v. 20, p. 982-994, 1997.

BERGMANN, H.; LIPPMANN, B.; LEINHOS, V.; TIROKE, S.; MACHELETT, B. Activation of stress resistance in plants and consequences for product quality. **Journal Applied Botany**, v. 73, p. 153-161, 1999.

BOLLER, W.; FORCELINI, C. A.; PANISSON, R. Aplicação de fungicidas para o controle de oídio em soja em diferentes horários do dia. In: REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO SUL, 31., Porto Alegre/RS, 2003. **Atas e Resumos . . .** Porto Alegre/RS. UFRGS, 2003. p. 143.

BOLLER, W.; CECCON, R.; MALDANER, H.; ARTUZI C. M. Aplicações de fungicidas para controle da ferrugem asiática da soja em seis horários ao longo de um dia. In: REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO SUL, 38, Cruz Alta/RS, 2010. **Atas e Resumos . . .** Cruz Alta/RS. Fundacep/Fecotrigo, 2010. p.192.

BONALDO, S. M.; PASCHOLATI, S. F.; ROMEIRO, R. S. Indução de resistência: noções básicas e perspectivas. In: CAVALCANTI, L. S.; DI PIERO, R. M.; CIA, P.; PASCHOLATI, S. F.; RESENDE, M. L. V.; ROMEIRO, R. S. **Indução de resistência em plantas a patógenos e insetos**, Piracicaba: FEALQ, 2005. p. 11-28.

BONINI, J. V. **Tecnologia de aplicação de fungicidas na cultura da soja**. 2003. 82 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2003.

BOSABALIDIS, A. M.; KOFIDIS, G. Comparative effects of drought stress on leaf anatomy of two olive cultivars. **Plant Science**, Amsterdam, v. 163, n. 2, p. 375-379, 2002.

BUKOVAC, M. J.; WITTEWER, S.H. Absorption and distribution of foliar applied mineral nutrients as determined with radioisotopes. In: **Third Colloquium on Plant Analysis and Fertilizer Problems** (ed) W Reuther (American Instt. Biol. Sci. Washington DC), 1961, p. 215-230.

BURROWS, G. E. Comparative anatomy of the photosynthetic organs of 39 xeromorphic species from subhumid New South Wales, Australia. **International Journal Plant Science**, v. 162, n. 2, p. 411-430, 2001.

BUTZEN, S. et al. Asian soybean rust: fungicides. **Crop Insights**, Johnston, EUA. v. 15, n. 2, 5 p., 2005a.

CABRAS, P. et al. The effect of simulated rain on folpet and mancozeb residues on grapes and wine leaves. **Journal of environmental Science and Health**, v.36, n. 5, p. 609-618, 2001.

CAMPBELL, C. L.; MADDEN, L. V. **Introduction to plant disease epidemiology**. New York NY. Wiley. 1990. 532 p.

CAUS, R.; BOLLER, W. **Horários de aplicação de fungicida, com e sem adição de fosfito de potássio, para o controle da ferrugem da soja**. 2008. 8f. Trabalho apresentado à disciplina de Experimentação Agrícola do Curso de Graduação em Agronomia da Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da Universidade de Passo Fundo. Passo Fundo, RS, 2008.

CAVALCANTI, L. S.; BRUNELLI, K. R.; STANGARLIN, J. R. Aspectos bioquímicos e moleculares da resistência induzida. In: CAVALCANTI, L. S.; DI PIERO, R. M.; CIA, P.; PASCHOLATI, S. F.; RESENDE, M. L. V.; ROMEIRO, R. S. **Indução de resistência em plantas a patógenos e insetos**, Piracicaba: FEALQ, 2005. p. 81-124.

CHAVES, M. M. Effects of water deficits on carbon assimilation. **Journal of Experimental Botany**, v. 42, n. 234, p. 1-16, 1991.

CLOSE, D. C.; MCARTHUR, C. Rethinking the role of many plants phenolics - protection of photodamage not herbivores?. **Oikos**, v. 99, n. 1, p. 166-172, 2002.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento de safra brasileira: grãos, décimo segundo levantamento, setembro/2013**. Brasília, 2013.

COSTA, R. C. L.; LOBATO, A. K. S.; OLIVEIRA NETO, C. F.; MAIA, P. S. P.; ALVES, G. A. R.; LAUGHINGHOUSE, H. D. Biochemical and physiological responses in two *Vigna unguiculata* (L.) Walp. cultivars under water stress. **Journal Agronomy**, v. 7, p. 98-101, 2008.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO – RS/SC. **Manual de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. 10. ed. Porto Alegre, 2004. 400p.

CUNHA, J. P. A. R. da.; SILVA, L. L. da; BOLLER, W.; RODRIGUES, J. F. Aplicação aérea e terrestre de fungicida para o controle de doenças do milho. **Revista Ciência Agrônômica**, v.41, n.3, p. 366-372, 2010.

CURRIER, H. B.; DYBING, C. D. Foliar penetration of herbicides: review and present status. **Weeds**, v. 7, p. 195-213, 1959.

DEBORTOLI, M. P. **Efeito do “rainfastness” e adjuvante na aplicação de fungicidas foliares em cultivares de soja**. 2008. 57f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2008.

DOKE, N.; MIURA, Y.; SANCHEZ, L. M.; PARK, H. J.; NORITAKE, T.; YOSHIOKA, H.; KWAKITA, K. The oxidative burst protects plants against pathogen attack: mechanism and role as an emergency signal for plant bio-defence – a review. **Gene**, v. 179, p. 45-51, 1996.

DOSS, B. D.; ASHLEY, D. A.; BENNETT, O. L. Effect of soil moisture regime on root distribution of warm season forage species. **Agronomy Journal**, v. 52, n. 10, p. 569-572, 1960.

EHLERINGER, J. Leaf pubescence: effects on absorptance and photosynthesis in a desert shrub. **Science**, v. 192, p. 376-377, 1976.

EHLERINGER, J. R.; MOONEY, H.A. Leaf hairs: effect on physiological activity and adaptative value to a desert shrub. **Oecologia**, v. 37, p. 183-200, 1978.

EICHERT T.; GOLDBACH H. E.; BURKHARDT, J. Evidence for the uptake of large anions through stomatal pores. **Botanica Acta**, v. 111, p. 461-466, 1998.

EL-MOSHATY, F.I.B.; PIKE, S.M.; NOVACKY, A.J.; SEHGAL, O.P. Lipid peroxidation and superoxide production in cowpea (*Vigna unguiculata*) leaves infected with tobacco ringspot virus or southern bean mosaic virus. **Physiological and Molecular Plant Pathology**, v. 43, p. 109-119, 1993.

EMBRAPA. **Recomendações técnicas para a cultura da soja no Paraná 1999/2000**. Londrina. Embrapa Soja. (Embrapa Soja. Documentos, 131). 1999.

EMBRAPA. **Tecnologia de produção de soja: Região Central do Brasil 2006**. Londrina: Embrapa Soja; Embrapa Cerrados; Embrapa Agropecuária Oeste, 2005. 220p.

EMBRAPA. **Tecnologias de produção de soja: Região Central do Brasil 2009/2010**. Londrina: Embrapa Soja, 2008. 262p. (Sistemas de Produção / Embrapa Soja, n.13).

EWERT, M. S.; OUTLAW J. W. H.; ZHANG, S.; AGHORAM, K.; RIDDLE, K. A. Accumulation of an apoplastic solute in the guard-cell wall is sufficient to exert a significant effect on transpiration in *Vicia faba* leaflets. **Plant Cell Environments**, v. 23, p. 195-203, 2000.

FADER, F. G.; KOLLER, H. R. Relationship between carbon assimilation, partitioning and export in leaves of two soybean cultivars. **Plant Physiology**, v.73, n. 2, p.297-303, 1983.

FAHMY, G. M. Leaf anatomy and its relation to the ecophysiology of some non-succulent desert plants from Egypt. **Journal of Arid Environments**, v. 36, n. 8, p. 499-525, 1997.

FAHN, A.; CUTLER, D. F. **Xerophytes**. Berlin: Gebüder Borntraeger, 1992.

FEHR, W. R.; CAVINESS, C. E. **Stages of soybean development**. Ames: Iowa State University of Science and Technology. 1977. 11 p.

FERNÁNDEZ, V. et al. Leaf structural changes associated with iron deficiency chlorosis in field-grown pear and peach: physiological implications. **Plant and Soil**, v. 311, p. 161-172, 2008a.

FLEXAS, J.; MEDRANO, H. Drought-inhibition of photosynthesis in C3 plants: stomatal e non stomatal limitations revisited. **Annals of Botany**, v. 89, p. 183-189, 2002.

GATES, D. M. **Biophysical ecology**. Springer, New York, 1980.

GILL, S. S.; TUTEJA, N. Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 48, p. 909-930, 2010.

GRAMMATIKOPOULOS, G.; MANETAS, Y. Direct absorption of water by hairy leaves of *Phlomis fruticosa* and its contribution to drought avoidance. **Canadian Journal of Botany**, v. 72, p. 1805-1811, 1994.

GRIGNON, N.; JEUSSET, J.; LEBEAU, E.; MORO, C.; GOJON, A.; FRAGU, P. SIMS localization of nitrogen in the leaf of soybean: basis of quantitative procedures by localized measurements of isotopic ratios. **Journal of Trace and Microprobe Techniques**, v. 17, p. 477-490, 1999.

GROSSMANN, K.; KWIATKOWSKI, J.; CASPAR, G. Regulation of phytohormone levels, leaf senescence and transpiration by the strobilurin kresoxim-methyl in wheat (*Triticum aestivum*). **Journal of Plant Physiology**, v. 154, p. 805-808, 1999.

GROSSMANN, K.; RETZLAFF, G. Bioregulatory effects of the fungicidal strobilurin kresoxim-methyl in wheat (*Triticum aestivum*). **Pesticide Science**, v. 50, p. 11-20, 1997.

GRUDA, N. Impact of environmental factors on product quality of greenhouse vegetables for fresh consumption. **Critical Reviews in Plant Sciences**, v. 24, p. 227-247, 2005.

HARTMAN, G. L. et al. **Compendium of soybean diseases**. Fourth Edition. American Phytopathological Society. 1999. 100p.

HETZLER, J. et al. Interaction between *Cochliobolus sativus* and wheat cultivars. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON WHEAT FOR NON-TRADITIONAL WARMER AREAS, 1991, México. **Proceedings...** Mexico: Cimmyt, 1991. p. 146-164.

HUSNCHE, M. **Rainfastness of selected agrochemicals as affected by leaf surface characteristics and environmental factors**. 2006. 97f. Tese – Universität Rheinischen Friedrich-Wilhelms, Göttingen, 2006.

JERBA, V. F.; RODELLA, R. A.; FURTADO, E. L. Relação entre a estrutura foliar de feijoeiro e a pré-infecção por *Glomerella cingulata* f.sp. *phaseoli*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 40, n. 3, p. 217-223, 2005.

JOHNSTONE, D. Spreading and retention of pesticide sprays. In: VAN VALKENBURG, W. (Ed.). **Pesticide Formulations**. New York: Marcel Dekker, 1973. p. 343-386.

JORDAN, T. N. Effects of temperature and relative humidity on the toxicity of glyphosate to bermudagrass (*Cynodon dactylon*). **Weed Science**, v. 25, p. 448-451, 1977.

JYUNG, W. H.; WITTEWER, S. H. Foliar absorption – an active process. **American Journal of Botany**, v. 51, p. 437-444, 1964.

KANO, T.; UOZUMI, S.; MACEDO, M. C. M.; SANTOS JUNIOR, J. D. G.; BERETTA, L. G.; CORREA, M. R. Avaliação de quatro espécies de *Brachiaria* submetidas ao estresse hídrico. In: Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia, 36., Porto Alegre, 1999. **Anais...** Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Zootecnia, p.79.

KEYVAN, S. The effects of drought stress on yield, relative water content, proline, soluble carbohydrates and chlorophyll of bread wheat cultivars. **Journal of Animal & Plant Science**, v. 8, p. 1051- 1060, 2010.

KIRKWOOD, R. C.; DALZIEL, J.; MATLIB, A.; SOMERVILLE, L. The role of translocation in selectivity of herbicides with reference to MCPA and MCPB. **Pesticide Science**, v. 3, p. 307-321, 1972.

KÖEHLE, H.; GROSSMANN, K.; RETZLAFF, G.; AKERS, A. Physiologische Einflüsse des neuen Getreidefungizides Jewel[®] auf die Ertragsbildung. **Gesunde Pflanzen**, v. 49, p. 267-271, 1997a.

KOUWENBERG, L. L. R.; KÜRSCHNER, W. M.; VISSCHER, H. Changes in stomatal frequency and size during elongation of *Tsuga heterophylla* Needles. **Annals of Botany**, v. 94, p. 561-569, 2004.

KRAMER, P. J.; BOYER, J. S. **Water relations of plants and soils**. New York. Ed. MacGraw-Hill, 1995. 482 p.

KUDSK, P.; MATHIASSEN, S. K.; KIRKNEI, E. Influence of formulations and adjuvants on the rainfastness of maneb and mancozeb on pea and potato. **Pesticide Science**, v. 33, n. 1, p. 57-71, 1991.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: RIMA, 2000. 531 p.

LEI, W.; TONG, Z.; SHENGYAN, D. Effect of drought and rewatering on photosynthetic physioecological characteristics of soybean. **Acta Ecologica Sinica**, v. 26, n. 7, p. 2073-2078, 2006.

LENZ, G. **Efeito do espectro de gota e idade de trifólios sobre a taxa de absorção de fungicidas em soja**. 2010. 73f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2010.

LIMA, E. do V.; ARAGÃO, C. A.; MORAIS, O. M.; TANAKA, R.; FILHO, H. G. Adubação NK no desenvolvimento e na concentração de macronutrientes no florescimento do feijoeiro. **Scientia Agricola**, v. 58, n. 1, p. 125-129, 2001.

LIU, S.; LIU, J.; CAO, J.; BAI, C.; SHI, R. Stomatal distribution and character analysis of leaf epidermis of jujube under drought stress. **Journal of Anhui Agricultural Science**, v. 34, p. 1315-1318, 2006.

LOBATO, A. K. S.; OLIVEIRA NETO, C. F.; COSTA, R. C. L.; SANTOS FILHO, B. G.; CRUZ, F. J. R.; LAUGHINGHOUSE, H. D. I. V. Biochemical and physiological behavior of *Vigna unguiculata* (L.) Walp. Under water stress during the vegetative phase. **Asian Journal of Plant Sciences**, v. 7, p. 44-49, 2008a.

LOBO JUNIOR, M. I. **Ferrugem. Combate com tecnologia de aplicação.** Disponível em www.pulverizador.com.br acesso em Dezembro de 2006.

LOPEZ-SANTILLAN, J. A.; HUERTA, A. J.; CASTRO-NAVA, S. Epicuticular leaf wax load on isogenic lines of sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) and its contribution to water stress resistance. **Plant and People**, p. 12-16, 2001.

LORETO, F., VELIKOVA, V. Isoprene produced by leaves protects the photosynthetic apparatus against ozone damage, quenches ozone products, and reduces lipid peroxidation of cellular membranes. **Plant Physiology**, v. 127, p. 1781-1787, 2001.

LURIE, S.; FALLIK, E.; KLEIN, J. D. The effect of heat treatment on apple epicuticular wax and calcium uptake. **Postharvest Biology and Technology**, v. 8, p. 271-277, 1996.

MADALOSSO, M. G. **Espaçamento entre linhas e pontas de pulverização no controle de *phakopsora pachyrhizi* sidow.** 2007. 89 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants.** 2.ed. London: Academic Press, 1995, 889p.

MCCREE, K.J.; FERNÁNDEZ, C. J. Simulation model for studying physiological water stress responses of whole plants. **Crop Science**, v. 29, p. 353-360, 1989.

MCDOWELL, L. L.; WILLIS, G. H.; SOUTHWICK, L. M.; SMITH, S. Fenvalerate wash-off from cotton plants by rainfall. **Pesticide Science**, v. 21, n. 2, p. 83-92, 1987.

MCWHORTER, C. G.; AZLIN, W. R. Effects of environment on the toxicity of glyphosate to Johnsongrass (*Sorghum halepense*) and soybean (*Glycine max*). **Weed Science**, v. 26, p. 603-608, 1978.

MEHTA, Y. R. **Manejo integrado de enfermedades del trigo**. Santa Cruz de la Sierra: Imprenta Landivar, 1993. 314 p.

MEIDNER, H.; SHERIFF, D. W. (Eds.) **Water and Plants**. New York: John Wiley & Sons, 1976.

MENEGHETTI, R. C. **Tecnologia de aplicação de fungicidas na cultura do trigo**. 2006. 56 f Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2006.

MENG, L.; LI, L.; CHEN, W.; XU, Z.; LIU, L. Effect of water stress on stomatal density, length, width and net photosynthetic rate in rice leaves. **Journal of Shenyang Agricultural University**, v. 30, p. 477-480, 1999.

MORALES, M. A.; ALARCÓN, J. J.; TORRECILLAS, A.; SÁNCHEZ-BLANCO, M. J. Growth and water relations of *Lotus creticus creticus* plants as affected by salinity. **Biologia Plantarum**, v. 43, p. 413-417, 2000.

MURO, J. Influencia del rocío y del volumen de caldo de aplicación en la eficacia de tres herbicidas de contacto. In: Actas de la Reunión de la Sociedad Española de Malerbología, 2., Córdoba, 1991. **Congreso...** Córdoba: Sociedad Española de Malerbología, p. 271–274.

MUZIK, T. J. Influence of environmental factors on toxicity to plants. In: AUDUS, L. J. **Herbicides: physiology, biochemistry and ecology**. 2.ed. London, Academic Press, 1976. p. 203-247.

NAUTIYAL, S.; BADOLA, H. K.; PAL, M.; NEGI, D. S. Plant responses to water stress changes in growth, dry matter production, stomatal frequency and leaf anatomy. **Biologia Plantarum**, v. 36, p. 91–97, 1994.

NAVARINI, L.; DALLAGNOL, L. J.; BALARDIN, R. S.; MOREIRA, M. T. MENEGHETTI, R. C.; MADALOSSO, M. G. Controle químico da ferrugem asiática (*Phakopsora pachyrhizi* Sidow) na cultura da soja. **Summa phytopathologica**, v. 33, n. 2, p. 182-186, 2007.

NEELY, D. Deposition and tenacity of foliage protectant fungicides. **Plant Disease Report**, v. 55, n. 10, p. 898–902, 1971.

NEUMANN, P. M. The role of wall adjustment in plant resistance to water deficits. **Crop Science**, v. 35, n. 5, p. 1258-1266, 1995.

NG, T. T.; WILSON, J. R.; LUDLOW, M. M. Influence of water stress on water relations and growth of a tropical (C4) grass, *Panicum maximum* var. *trichoglume*. **Australian Journal of Plant Physiology**, v. 2, n. 4, p. 581-595, 1975.

OHASHI, Y.; NAKAYAMA, H.; SANEOKA, H.; FUJITA, K. Effects of drought stress on photosynthetic gas exchange, chlorophyll fluorescence and stem diameter of soybean plants. **Biologia Plantarum**, v. 50, p. 138-141, 2006.

OOSTERHUIS, D. **Foliar fertilization: mechanisms and magnitude of nutrient uptake**. In: Paper for the Fluid Fertilizer Foundation meeting in Scottsdale, Arizona, 2009. 4 p.

OLIVEIRA, W. F. de; CAETANO, F. V.; DIAS, E. M.; BATISTA, R. G.; NONATO, A. R. Eficiência de produtos fitossanitários pulverizados na cultura da soja (*Glycine max* L.), no controle da mancha parda (*Septoria glycines*) e crestamento foliar-mancha púrpura dos grãos (*Cercospora kikuchii*). **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 30, p. 63-66, 2000.

OTTAVIANO, E.; CAMUSSI, A. Phenotypic and genetic relationship between yield components in maize. **Euphytica**, v. 30, p. 601-609, 1981.

OUTLAW JR, W. H. Integration of cellular and physiological functions of guard cells. **Critical Reviews in Plant Sciences**, v. 22, p. 503-529, 2003.

PAIVA, R.; OLIVEIRA, L. M. **Fisiologia e Produção Vegetal**. Lavras. Ed. UFLA, 2006. 104 p.

PASCHOLATI, S. F.; LEITE, B. Hospedeiro: mecanismos de resistência. In: BERGAMIN FILHO, A.; KIMATI, H.; AMORIM, L. (Ed.) **Manual de fitopatologia: princípios e conceitos**. São Paulo: Ed. Agronômica Ceres, v.1, p.193-217, 1995.

PIMENTEL, C. **A relação da planta com a água**. Seropédica: EDUR, 2004. 191 p.

PSARAS, G. K.; FASSEAS, C.; HATZOPOULOU-BELBA, C. C. Stomatal response to water stress in *Myrtus communis* L. **Journal of Plant Anatomy & Morphology**, v. 2, p. 33-38, 1985.

QUARRIE, S. A.; JONES, H. G. Effects of abscisic acid and water stress on development and morphology of wheat. **Journal of Experimental Botany**, v. 28, p. 192-203, 1977.

RABERT, G. A.; RAJASEKAR, M.; MANIVANNAN, P.; SOMASUNDARAM, R.; PANNEERSELVAM, R. Effect of triazole fungicide on biochemical and antioxidant enzymes activity in okra (*Abelmoschus esculentus* L.) plant under drought stress. **International Journal of Agricultural and Food Science**, v. 3, p. 100-107, 2013.

RADOGLU, K. M.; JARVIS, P. G. Effects of CO₂ enrichment on four poplar clones. II. Leaf surface properties. **Annals of Botany**, v. 65, p. 627-632, 1990.

RAMOS, J. P. de. **Frequência e época de aplicação de fungicidas e seus efeitos em híbridos de milho (*Zea mays* L.)**. 2011. 81f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2011.

RAMSEY, R. J. L.; STEPHENSON, G. R.; HALL, J. C. A review of the effects of humidity, humectants, and surfactant composition on the absorption and efficacy of highly water-soluble herbicides. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v. 82, p. 162-175, 2005.

REED, D.W.; TUKEY, H. B. Light intensity and temperature effects on epicuticular wax morphology and internal cuticle ultrastructure of carnation and brussels sprouts leaf cuticles. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v. 107, p. 417-420, 1982.

REINA-PINTO, J. J.; YEPHREMOV, A. Surface lipids and plant defenses. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 47, p. 540-549, 2009.

REIS, E. M.; FORCELINI, C. A.; REIS, A.C. **Manual de fungicidas**. Guia para o controle químico de doenças de plantas. Florianópolis: Insular, 2001. p. 42-51.

REYNOLDS, M. P.; DELGADO B, M. I.; GUTIÉRREZ-RODRÍGUEZ, M.; LARQUE-SAAVEDRA, A. Photosynthesis of wheat in a warm, irrigated environment I: genetic diversity and crop productivity. **Field Crops Research**, v. 66, n. 1, p. 37-50, 2000.

RICHARDS, R. A. Selectable traits to increase crop photosynthesis and yield of grain crops. **Journal of Experimental Botany**, v. 51, p. 447-458, 2000.

ROESE, A. D; LIMA FILHO, O. F. **Efeito de fungicidas no controle da ferrugem da soja, na produtividade e nos teores nutricionais em folhas e grãos**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2010.

ROSENTHAL, W. D.; ARKIN, G. F.; SHOUSE, P. J.; JORDAN, W. R. Water deficit effects on transpiration and leaf growth. **Agronomy Journal**, v. 79, n. 6, p. 1019-1026, 1987.

ROTONDI, A.; ROSSI, F.; ASUNIS, C.; CESARACCIO, C. Leaf xeromorphic adaptations of some plants of a coastal Mediterranean macchia ecosystem. **Journal Mediterranean Ecology**, v. 4, n. 3-4, p. 25-35, 2003.

SALISBURY, F. B.; ROSS, C. W. **Plant Physiology**. 4.ed. Belmont: Wadsworth publishing Company, 1992. 682 p.

SANTOS, R. F.; CARLESSO, R. Déficit hídrico e os processos morfológicos e fisiológicos das plantas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 2, n. 3, p. 287-294, 1998.

SCHEPERS, H. T. A. M. Effect of rain on efficacy of fungicide deposits on potato against *Phytophthora infestans*. **Potato Research**, v. 39, n. 4, p. 541–550, 1996.

SCHLICHTING, C. D. The evolution of phenotypic plasticity in plants. **Annual Review of Ecological and Systematics**, v. 17, p. 667-693, 1986.

SCHÖNHERR, J. A mechanistic analysis of penetration of glyphosate salts across astomatous cuticular membranes. **Pest Management Science**, v. 58, p. 343-351, 2002.

SCHÖNHERR, J. Calcium chloride penetrates plant cuticles via aqueous pores. **Planta**, v. 212, p. 112-118, 2000.

SCHÖNHERR, J. Cuticular penetration of calcium salts: effect of humidity, anions and adjuvants. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v. 164, p. 225-231, 2001.

SCHUEPP, P. H. Tansley review no. 59 leaf boundary layers. **New Phytologist**, v. 125, p. 477-507, 1993.

SEBANEK, J. **Plant Physiology**. Amsterdam. Ed. Elsevier Science & Technology, 1992. 454 p.

SEN, A. **Oxidative Stress Studies in Plant Tissue Culture**, Antioxidant Enzyme, Mohammed Amr El-Missiry (Ed.), ISBN: 978-953-51-0789-7, InTech, 2012. DOI: 10.5772/48292. Available from: <http://www.intechopen.com/books/antioxidant-enzyme/oxidative-stress-studies-in-plant-tissue-culture>.

SILVA, F. A. S.; AZEVEDO, C. A. V. Versão do programa computacional Assistat para o sistema operacional Windows. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 4, n. 1, p. 71-78, 2002.

SILVA, O. C.; SCHIPANSKI, C. A. Doenças do milho: o desafio da produtividade com qualidade. In: **Milho: fatores determinantes da produtividade**. FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D. (Eds.), Piracicaba: ESALQ/USP/LPV, 2007. p. 106-116.

SILVEIRA, P. M. da; BRAZ, A. J. B. P.; DIDONET, A. D. Uso do clorofilômetro como indicador da necessidade de adubação nitrogenada em cobertura no feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 38, n. 9, p. 1083- 1087, 2003.

SINCLAIR, J. B.; BACKMAN, P. A. (Eds) **Compendium of soybean diseases**. St. Paul. APS Press. 1989.

SLATYER, R. O.; MCLLOY, I. C. **Practical microclimatology**. Ed. Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization, Australia and UNESCO, 1961.

SMITH, C. N.; PAYNE JR, W. R.; MULKEY, L. A.; BENNER, J. E.; PARRISH, R. S.; SMITH, M. C. The persistence and disappearance by washoff and dryfall of methoxychlor from soybean foliage: a preliminary study. **Journal of Environmental Science Health**, v. 16, n. 6, p. 777-794, 1981.

SREETHAR, V. M. Proline accumulation and reduced transpiration in the leaves of triazole treated mulberry plant. **Indian Botanical Reporter**, v. 101, p. 1-5, 1991.

STANGARLIN, J. R.; KUHN, O. J.; TOLEDO, M. V.; PORTZ, R. L.; SCHWAN-ESTRADA, K. R. F.; PASCHOLATI, S. F. A defesa vegetal contra fitopatógenos. **Scientia Agraria Paranaensis**, v. 10, n. 1, p. 18-46, 2011.

STUHFAUTH, T.; SCHEUERMANN, R.; FOCK, H. P. Light energy dissipation under water stress conditions. **Plant Physiology**, v. 92, p. 1053-1061, 1990.

SUTHERLAND, M.W. The generation of oxygen radicals during host plant responses to infection. **Physiological and Molecular Plant Pathology**, v. 39, p. 79-93, 1991.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. 719 p.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 5.ed. Porto Alegre: Artmed, 2013. p.753-780.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Plant Physiology**. California: The Benjamin/ Cummings Publishing Company, Inc., Redwood City, 1991.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Plant Physiology**. Sinauer Associates, Sunderland, Massachusetts, 1998.

THACKER, J. R. M.; YOUNG, R. D. F. The effects of six adjuvants on the rainfastness of chlorpyrifos formulated as an emulsifiable concentrate. **Pesticide Science**, v. 55, n. 2, p. 198-200, 1999.

THOMAS, H. Effect of rate of dehydration on leaf water status and osmotic adjustment in *Dactylis glomerata* L., *Lolium perenne* L. e *Lolium multiflorum* Lam. **Annals of Botany**, v.57, n. 2, p. 225-235, 1986.

TSUMANUMA, G.M. **Controle de ferrugem asiática e desempenho de duas cultivares de soja submetidas a diferentes fungicidas e épocas de aplicações**. 2009. 166f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009.

TUKEÝ JR, H. B.; MARCZYNSKI, S. Foliar nutrition-old ideas rediscovered. **Acta Horticulturae**, v. 145, p. 205-212, 1984.

UGALDE, M. G. **Controle de ferrugem asiática (*Phakopsora pachyrhizi* Sidow) na cultura da soja**. 2005. 66f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2005.

VAN GOOR, B. J. Penetration of surface-applied ⁴⁵Ca into apple fruit. **Journal Horticultural Science**, v. 48, p. 261-270, 1973.

VAN HEERDEN, P. D. R.; KRÜGER, G. H. J. Photosynthetic limitation in soybean during cold stress. **South African Journal of Science**, v. 96, p. 201-206, 2000.

VAN HEERDEN, P. D. R.; KRÜGER, G. H. J. Separately and simultaneously induced dark chilling and drought stress effects on photosynthesis, proline accumulation and antioxidant metabolism in soybean. **Journal of Plant Physiology**, v. 159, p. 1077-1086, 2002.

WAUCHOPE, R. D.; JOHNSON, W. C.; SUMNER, H. R. Foliar and soil deposition of pesticide sprays in peanuts and their washoff and runoff under simulated worst-case rainfall conditions. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 52, n. 23, p. 7056-7063, 2004.

WILLMER, C.; FRICKER, M. Stomata. In: BLACK, M.; CHARLWOOD, B. (Eds.), **Topics in Plant Functional Biology**. II. Chapman and Hall, London, 1996. p. 95-125.

WRATHER, J. A. et al. Soybean disease loss estimates for the top 10 soybean producing countries in 1994. **Plant Disease**, v. 81, p. 107-110, 1997.

YADAV, R. K.; SANGWAN, R. S.; SABIR, F.; SRIVASTAVA, A. K.; SANGWAN, N. S. Effect of prolonged water stress on specialized secondary metabolites, peltate glandular trichomes, and pathway gene expression in *Artemisia annua* L. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 74, p. 70-83, 2014.

ZABKIEWICZ, J. A. Adjuvants and herbicidal efficacy - present status and future prospects. **Weed Research**, v. 40, p. 139-149, 2002.

ZHANG, M. et al. Uniconazole-induced tolerance of soybean to water deficit stress in relation to changes in photosynthesis, hormones and antioxidant system. **Journal of Plant Physiology**, v. 164, p. 709-717, 2007.

APÊNDICES

APÊNDICE A – Análise da variância das variáveis em casa de vegetação.

Quadro 1 – Análise de variância (ANOVA) da variável número de dias para o aparecimento da primeira pústula de *Phakopsora pachyrhizi* na interação entre regimes hídrico, horários de aplicação e intervalos de simulação de chuva após a aplicação.

F.V	G.L.	S.Q.	Q.M.	VALOR F	PR > F
R**	1	1845,37604	1845,37604	29041,98360	<0,01*
H	5	3753,29271	750,65854	11813,64260	<0,01
S	4	5773,55833	1443,38958	22715,63930	<0,01
R*H	5	267,04271	53,40854	840,52790	<0,01
R*S	4	599,35833	149,83958	2358,13110	<0,01
H*S	20	1247,87917	62,39396	981,93770	<0,01
R*H*S	20	153,75417	7,68771	120,98690	<0,01
Tratamentos	59	13640,26146	231,19087	3638,41370	<0,01
Resíduo	180	11,43750	0,06354		
Total	239	13651,69896			
C.V.			1,54		

* Significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$); ** R= Regimes hídricos; H= horários de aplicação; S= intervalos de simulação de chuva após a aplicação; F.V. = Fonte de variação; G.L. = Graus de liberdade; S.Q. = Soma de quadrado; Q.M. = Quadrado médio; F = Estatística do teste F; C.V. = Coeficiente de variação em %.

Quadro 2 – Análise de variância (ANOVA) da variável número de dias para o aparecimento da primeira pústula de *Phakopsora pachyrhizi* para o regime com déficit hídrico na interação entre horários de aplicação e intervalos de simulação de chuva após a aplicação.

F.V	G.L.	S.Q.	Q.M.	VALOR F	PR > F
H**	5	2960,36042	592,07208	8789,52370	<0,01*
S	4	4921,19583	1230,29896	18264,23200	<0,01
H*S	20	1063,37917	53,16896	789,31240	<0,01
Tratamentos	29	8944,93542	308,44605	4578,99290	<0,01
Resíduo	90	6,06250	0,06736		
Total	119	8950,99792			
C.V.			1,36		

*Significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$); **H= horários de aplicação; S= intervalos de simulação de chuva após a aplicação; F.V. = Fonte de variação; G.L. = Graus de liberdade; S.Q. = Soma de quadrado; Q.M. = Quadrado médio; F = Estatística do teste F; C.V. = Coeficiente de variação em %.

Quadro 3 – Análise de variância (ANOVA) da variável número de dias para o aparecimento da primeira pústula de *Phakopsora pachyrhizi* para o regime sem déficit hídrico na interação entre horários de aplicação e intervalos de simulação de chuva após a aplicação.

F.V	G.L.	S.Q.	Q.M.	VALOR F	PR > F
H**	5	1059,97500	211,99500	3549,68370	<0,01*
S	4	1451,72083	362,93021	6076,97090	<0,01
H*S	20	338,25417	16,91271	283,18950	<0,01
Tratamentos	29	2849,95000	98,27414	1645,52040	<0,01
Resíduo	90	5,37500	0,05972		
Total	119	2855,32500			
C.V.			1,80		

*Significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$); **H= horários de aplicação; S= intervalos de simulação de chuva após a aplicação; F.V. = Fonte de variação; G.L. = Graus de liberdade; S.Q. = Soma de quadrado; Q.M. = Quadrado médio; F = Estatística do teste F; C.V. = Coeficiente de variação em %.

Quadro 4 – Análise de variância (ANOVA) da variável severidade de *Phakopsora pachyrhizi* na interação entre regimes hídrico, horários de aplicação e intervalos de simulação de chuva após a aplicação aos 30 DAA.

F.V	G.L.	S.Q.	Q.M.	VALOR F	PR > F
R**	1	1731,28817	1731,28817	4220,08080	<0,01*
H	5	17911,01633	3582,20327	8731,75690	<0,01
S	4	7508,31308	1877,07827	4575,44980	<0,01
R*H	5	153,64533	30,72907	74,90330	<0,01
R*S	4	64,01808	16,00452	39,01160	<0,01
H*S	20	1626,92992	81,34650	198,28520	<0,01
R*H*S	20	111,27592	5,56380	13,56200	<0,01
Tratamentos	59	29106,48683	493,33029	1202,51140	<0,01
Resíduo	180	73,84500	0,41025		
Total	239	29180,33183			
C.V.			5,14		

*Significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$); ** R= Regimes hídricos; H= horários de aplicação; S= intervalos de simulação de chuva após a aplicação; F.V. = Fonte de variação; G.L. = Graus de liberdade; S.Q. = Soma de quadrado; Q.M. = Quadrado médio; F = Estatística do teste F; C.V. = Coeficiente de variação em %.

Quadro 5 – Análise de variância (ANOVA) da variável severidade de *Phakopsora pachyrhizi* para o regime com déficit hídrico na interação de horários de aplicação e intervalos de simulação de chuva após a aplicação aos 30 DAA.

F.V	G.L.	S.Q.	Q.M.	VALOR F	PR > F
H**	5	7494,41900	1498,88380	5271,57260	<0,01*
S	4	3176,13533	794,03383	2792,61610	<0,01
H*S	20	857,84767	42,89238	150,85250	<0,01
Tratamentos	29	11528,40200	397,53110	1398,11640	<0,01
Resíduo	90	25,59000	0,28433		
Total	119	11553,99200			
C.V.			5,46		

*Significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$); **H= horários de aplicação; S= intervalos de simulação de chuva após a aplicação; F.V. = Fonte de variação; G.L. = Graus de liberdade; S.Q. = Soma de quadrado; Q.M. = Quadrado médio; F = Estatística do teste F; C.V. = Coeficiente de variação em %.

Quadro 6 – Análise de variância (ANOVA) da variável severidade de *Phakopsora pachyrhizi* para o regime sem déficit hídrico na interação de horários de aplicação e intervalos de simulação de chuva após a aplicação aos 30 DAA.

F.V	G.L.	S.Q.	Q.M.	VALOR F	PR > F
H**	5	10570,24267	2114,04853	3942,89440	<0,01*
S	4	4396,19583	1099,04896	2049,82710	<0,01
H*S	20	880,35817	44,01791	82,09740	<0,01
Tratamentos	29	15846,79667	546,44126	1019,16310	<0,01
Resíduo	90	48,25500	0,53617		
Total	119	15895,05167			
C.V.			4,84		

*Significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$); **H= horários de aplicação; S= intervalos de simulação de chuva após a aplicação; F.V. = Fonte de variação; G.L. = Graus de liberdade; S.Q. = Soma de quadrado; Q.M. = Quadrado médio; F = Estatística do teste F; C.V. = Coeficiente de variação em %.

Quadro 7 – Análise de variância (ANOVA) da variável severidade de *Cercospora kikuchii* na interação entre regimes hídrico, horários de aplicação e intervalos de simulação de chuva após a aplicação aos 30 DAA.

F.V	G.L.	S.Q.	Q.M.	VALOR F	PR > F
R**	1	1378,5627	1378,5627	2129,6025	<0,01*
H	5	14142,041	2828,4083	4369,3228	<0,01
S	4	1954,9904	488,7476	755,0169	<0,01
R*H	5	273,47483	54,69497	84,4927	<0,01
R*S	4	23,80608	5,95152	9,1939	<0,01
H*S	20	640,47158	32,02358	49,47	<0,01
R*H*S	20	105,98892	5,29945	8,1866	<0,01
Tratamentos	59	18519,336	313,88705	484,8925	<0,01
Resíduo	180	116,52	0,64733		
Total	239	18635,856			
C.V.			7,17		

*Significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$); ** R= Regimes hídricos; H= horários de aplicação; S= intervalos de simulação de chuva após a aplicação; F.V. = Fonte de variação; G.L. = Graus de liberdade; S.Q. = Soma de quadrado; Q.M. = Quadrado médio; F = Estatística do teste F; C.V. = Coeficiente de variação em %.

Quadro 8 – Análise de variância (ANOVA) da variável severidade de *Cercospora kikuchii* para o regime com déficit hídrico na interação de horários de aplicação e intervalos de simulação de chuva após a aplicação aos 30 DAA.

F.V	G.L.	S.Q.	Q.M.	VALOR F	PR > F
H**	5	5517,6864	1103,5373	1841,8722	<0,01*
S	4	973,5195	243,37988	406,2161	<0,01
H*S	20	429,8915	21,49458	35,8758	<0,01
Tratamentos	29	6921,0974	238,65853	398,3359	<0,01
Resíduo	90	53,9225	0,59914		
Total	119	6975,0199			
C.V.			8,77		

*Significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$); **H= horários de aplicação; S= intervalos de simulação de chuva após a aplicação; F.V. = Fonte de variação; G.L. = Graus de liberdade; S.Q. = Soma de quadrado; Q.M. = Quadrado médio; F = Estatística do teste F; C.V. = Coeficiente de variação em %.

Quadro 9 – Análise de variância (ANOVA) da variável severidade de *Cercospora kikuchii* para o regime sem déficit hídrico na interação de horários de aplicação e intervalos de simulação de chuva após a aplicação aos 30 DAA.

F.V	G.L.	S.Q.	Q.M.	VALOR F	PR > F
H**	5	8897,83000	1779,56600	2558,58400	<0,01*
S	4	1005,27700	251,31930	361,33600	<0,01
H*S	20	316,56900	15,82845	22,75750	<0,01
Tratamentos	29	10219,68000	352,40260	506,66940	<0,01
Resíduo	90	62,59750	0,69553		
Total	119	10282,27000			
C.V.			6,12		

*Significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$); **H= horários de aplicação; S= intervalos de simulação de chuva após a aplicação; F.V. = Fonte de variação; G.L. = Graus de liberdade; S.Q. = Soma de quadrado; Q.M. = Quadrado médio; F = Estatística do teste F; C.V. = Coeficiente de variação em %.

Quadro 10 – Análise de variância (ANOVA) da variável incidência de *Cercospora kikuchii* em grãos de soja na interação entre regimes hídrico, horários de aplicação e intervalos de simulação de chuva.

F.V	G.L.	S.Q.	Q.M.	VALOR F	PR > F
R****	1	635,40781	635,40781	36,26160	<0,01*
H	5	14964,77214	2992,95443	170,80270	<0,01
S	4	8749,58629	2187,39657	124,83090	<0,01
R*H	5	70,65610	14,13122	0,80640	ns**
R*S	4	202,86227	50,71557	2,89420	<0,05***
H*S	20	2245,80940	112,29047	6,40820	<0,01
R*H*S	20	194,61130	9,73057	0,55530	ns
Tratamentos	59	27063,70530	458,70687	26,17760	<0,01
Resíduo	180	3154,11839	17,52288		
Total	239	30217,82369			
C.V.			22,21		

*Significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$); **ns: não significativo ($p \geq 0,05$); *** Significativo ao nível de 5% de probabilidade ($p < 0,05$); ****R= regime hídrico; H= horários de aplicação; S= intervalos de simulação de chuva após a aplicação; F.V. = Fonte de variação; G.L. = Graus de liberdade; S.Q. = Soma de quadrado; Q.M. = Quadrado médio; F = Estatística do teste F; C.V. = Coeficiente de variação em %.

Quadro 11 – Análise de variância (ANOVA) da variável teor relativo de clorofila (TRC) de folhas na interação entre regimes hídrico, horários de aplicação e intervalos de simulação de chuva aos 30 DAA.

F.V	G.L.	S.Q.	Q.M.	VALOR F	PR > F
R***	1	3905,71880	3905,71880	1780,66190	<0,01*
H	5	4176,34794	835,26959	380,80900	<0,01
S	4	3112,67185	778,16796	354,77570	<0,01
R*H	5	90,45569	18,09114	8,24800	<0,01
R*S	4	72,56639	18,14160	8,27100	<0,01
H*S	20	815,34112	40,76706	18,58620	<0,01
R*H*S	20	60,27935	3,01397	1,37410	ns**
Tratamentos	59	12233,38114	207,34544	94,53120	<0,01
Resíduo	180	394,81352	2,19341		
Total	239	12628,19467			
C.V.			5,23		

*Significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$); **ns: não significativo ($p \geq 0,05$); ***R= regime hídrico; H= horários de aplicação; S= intervalos de simulação de chuva após a aplicação; F.V. = Fonte de variação; G.L. = Graus de liberdade; S.Q. = Soma de quadrado; Q.M. = Quadrado médio; F = Estatística do teste F; C.V. = Coeficiente de variação em %.

Quadro 12 – Análise de variância (ANOVA) da variável produtividade de soja (g planta^{-1}) na interação entre regimes hídrico, horários de aplicação e intervalos de simulação de chuva.

F.V	G.L.	S.Q.	Q.M.	VALOR F	PR > F
R**	1	3178,73931	3178,73931	71362,85210	<0,01*
H	5	59,08363	11,81673	265,28610	<0,01
S	4	45,46969	11,36742	255,19920	<0,01
R*H	5	12,93864	2,58773	58,09460	<0,01
R*S	4	11,19303	2,79826	62,82100	<0,01
H*S	20	11,87705	0,59385	13,33200	<0,01
R*H*S	20	3,20772	0,16039	3,60070	<0,01
Tratamentos	59	3322,50907	56,31371	1264,24560	<0,01
Resíduo	180	8,01780	0,04454		
Total	239	3330,52687			
C.V.			3,84		

*Significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$); **R= regime hídrico; H= horários de aplicação; S= intervalos de simulação de chuva após a aplicação; F.V. = Fonte de variação; G.L. = Graus de liberdade; S.Q. = Soma de quadrado; Q.M. = Quadrado médio; F = Estatística do teste F; C.V. = Coeficiente de variação em %.

Quadro 13 – Análise de variância (ANOVA) da variável produtividade de soja (g planta⁻¹) para o regime com déficit hídrico na interação de horários de aplicação e intervalos de simulação de chuva após a aplicação.

F.V	G.L.	S.Q.	Q.M.	VALOR F	PR > F
H**	5	8,43839	1,68768	192,06660	<0,01*
S	4	5,80256	1,45064	165,09040	<0,01
H*S	20	1,54582	0,07729	8,79610	<0,01
Tratamentos	29	15,78677	0,54437	61,95230	<0,01
Resíduo	90	0,79082	0,00879		
Total	119	16,57760			
C.V.			5,06		

*Significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$); **H= horários de aplicação; S= intervalos de simulação de chuva após a aplicação; F.V. = Fonte de variação; G.L. = Graus de liberdade; S.Q. = Soma de quadrado; Q.M. = Quadrado médio; F = Estatística do teste F; C.V. = Coeficiente de variação em %.

Quadro 14 – Análise de variância (ANOVA) da variável produtividade de soja (g planta⁻¹) para o regime sem déficit hídrico na interação de horários de aplicação e intervalos de simulação de chuva após a aplicação.

F.V	G.L.	S.Q.	Q.M.	VALOR F	PR > F
H**	5	63,58387	12,71677	158,36640	<0,01*
S	4	50,86016	12,71504	158,34470	<0,01
H*S	20	13,53896	0,67695	8,43030	<0,01
Tratamentos	29	127,98298	4,41321	54,95920	<0,01
Resíduo	90	7,22697	0,08030		
Total	119	135,20996			
C.V.			3,10		

*Significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$); **H= horários de aplicação; S= intervalos de simulação de chuva após a aplicação; F.V. = Fonte de variação; G.L. = Graus de liberdade; S.Q. = Soma de quadrado; Q.M. = Quadrado médio; F = Estatística do teste F; C.V. = Coeficiente de variação em %.

Quadro 15 – Análise de variância (ANOVA) da variável massa de grão de soja (g grão^{-1}) na interação entre regimes hídrico, horários de aplicação e intervalos de simulação de chuva.

F.V	G.L.	S.Q.	Q.M.	VALOR F	PR > F
R***	1	0,00941	0,00941	100,39750	<0,01*
H	5	0,09372	0,01874	199,93830	<0,01
S	4	0,04019	0,01005	107,18350	<0,01
R*H	5	0,00384	0,00077	8,19790	<0,01
R*S	4	0,00028	0,00007	0,74880	ns**
H*S	20	0,01499	0,00075	7,99600	<0,01
R*H*S	20	0,00131	0,00007	0,69700	ns
Tratamentos	59	0,16374	0,00278	29,60460	<0,01
Resíduo	180	0,01687	0,00009		
Total	239	0,18062			
C.V.			4,46		

*Significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$); **ns: não significativo ($p \geq 0,05$); ***R= regime hídrico; H= horários de aplicação; S= intervalos de simulação de chuva após a aplicação; F.V. = Fonte de variação; G.L. = Graus de liberdade; S.Q. = Soma de quadrado; Q.M. = Quadrado médio; F = Estatística do teste F; C.V. = Coeficiente de variação em %.

APÊNDICE B – Análise da variância das variáveis à campo

Quadro 16 – Análise de variância (ANOVA) da variável severidade de *Phakopsora pachyrhizi* aos 21 dias após a primeira aplicação (21DAA1) na interação entre horários de aplicação e intervalos de simulação de chuva.

F.V	G.L.	S.Q.	Q.M.	VALOR F	PR > F
BLOCOS	3	0,33048	0,11016	1,61370	ns*
H***	5	3122,36141	624,47228	9147,97170	<0,01**
Resíduo – R	15	1,02395	0,06826		
Parcelas	23	3123,71584			
S	4	2796,35730	699,08932	4806,55910	<0,01
H*S	20	1141,71588	57,08579	392,49100	<0,01
Resíduo – S	72	10,47203	0,14544		
Total	119	7072,26105			
C.V. – H			1,61		
C.V. – S			2,35		

*ns: não significativo ($p \geq 0,05$); **Significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$); ***H= horários de aplicação (Tratamento das parcelas); S= intervalos de simulação de chuva após a aplicação (Tratamentos das subparcelas); F.V. = Fonte de variação; G.L. = Graus de liberdade; S.Q. = Soma de quadrado; Q.M. = Quadrado médio; F = Estatística do teste F; C.V.- H = Coeficiente de variação em % para o fator horário de aplicação; C.V.- S = Coeficiente de variação em % para o fator intervalos de simulação de chuva após a aplicação.

Quadro 17 – Análise de variância (ANOVA) da variável área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD) na interação entre horários de aplicação e intervalos de simulação de chuva.

F.V	G.L.	S.Q.	Q.M.	VALOR F	PR > F
BLOCOS	3	0,79048	0,26349	0,07060	ns*
H***	5	177804,57102	35560,91420	9533,76670	<0,01**
Resíduo – R	15	55,94994	3,73000		
Parcelas	23	177861,31144			
S	4	166359,08248	41589,77062	5202,49940	<0,01
H*S	20	55919,35667	2795,96783	349,75000	<0,01
Resíduo – S	72	575,58171	7,99419		
Total	119	400715,33230			
C.V. – H			1,56		
C.V. – S			2,28		

*ns: não significativo ($p \geq 0,05$); **Significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$); ***H= horários de aplicação (Tratamento das parcelas); S= intervalos de simulação de chuva após a aplicação (Tratamentos das subparcelas); F.V. = Fonte de variação; G.L. = Graus de liberdade; S.Q. = Soma de quadrado; Q.M. = Quadrado médio; F = Estatística do teste F; C.V.- H = Coeficiente de variação em % para o fator horário de aplicação; C.V.- S = Coeficiente de variação em % para o fator intervalos de simulação de chuva após a aplicação.

Quadro 18 – Análise de variância (ANOVA) da variável teor relativo de clorofila (TRC) de folhas do terço inferior do dossel da cultura aos 10 DAA1 na interação entre horários de aplicação e intervalos de simulação de chuva.

F.V	G.L.	S.Q.	Q.M.	VALOR F	PR > F
BLOCOS	3	0,57421	0,19140	0,57370	ns*
H***	5	123,56000	24,71200	74,07030	<0,01**
Resíduo - R	15	5,00443	0,33363		
Parcelas	23	129,13864			
S	4	96,09658	24,02414	63,51670	<0,01
H*S	20	38,31229	1,91561	5,06460	<0,01
Resíduo - S	72	27,23281	0,37823		
Total	119	290,78032			
C.V. - H			1,53		
C.V. - S			1,63		

*ns: não significativo ($p \geq 0,05$); **Significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$); ***H= horários de aplicação (Tratamento das parcelas); S= intervalos de simulação de chuva após a aplicação (Tratamentos das subparcelas); F.V. = Fonte de variação; G.L. = Graus de liberdade; S.Q. = Soma de quadrado; Q.M. = Quadrado médio; F = Estatística do teste F; C.V.- H = Coeficiente de variação em % para o fator horário de aplicação; C.V.- S = Coeficiente de variação em % para o fator intervalos de simulação de chuva após a aplicação.

Quadro 19 – Análise de variância (ANOVA) da variável teor relativo de clorofila (TRC) de folhas do terço inferior do dossel da cultura aos 20 DAA1 na interação entre horários de aplicação e intervalos de simulação de chuva.

F.V	G.L.	S.Q.	Q.M.	VALOR F	PR > F
BLOCOS	3	0,96425	0,32142	0,39440	ns*
H***	5	1517,76142	303,55228	372,47960	<0,01**
Resíduo - R	15	12,22425	0,81495		
Parcelas	23	1530,94992			
S	4	1416,54083	354,13521	543,03650	<0,01
H*S	20	453,73317	22,68666	34,78810	<0,01
Resíduo - S	72	46,95400	0,65214		
Total	119	3448,17792			
C.V. - H			4,67		
C.V. - S			4,17		

*ns: não significativo ($p \geq 0,05$); **Significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$); ***H= horários de aplicação (Tratamento das parcelas); S= intervalos de simulação de chuva após a aplicação (Tratamentos das subparcelas); F.V. = Fonte de variação; G.L. = Graus de liberdade; S.Q. = Soma de quadrado; Q.M. = Quadrado médio; F = Estatística do teste F; C.V.- H = Coeficiente de variação em % para o fator horário de aplicação; C.V.- S = Coeficiente de variação em % para o fator intervalos de simulação de chuva após a aplicação.

Quadro 20 – Análise de variância (ANOVA) da variável teor relativo de clorofila (TRC) de folhas do terço médio do dossel da cultura aos 20 DAA1 na interação entre horários de aplicação e intervalos de simulação de chuva.

F.V	G.L.	S.Q.	Q.M.	VALOR F	PR > F
BLOCOS	3	5,32267	1,77422	2,6789	ns*
H***	5	1962,7897	392,55793	592,7292	<0,01**
Resíduo – R	15	9,93433	0,66229		
Parcelas	23	1978,0467			
S	4	1364,2547	341,06367	479,0313	<0,01
H*S	20	448,19033	22,40952	31,4747	<0,01
Resíduo – S	72	51,263	0,71199		
Total	119	3841,7547			
C.V. – H			2,17		
C.V. – S			2,25		

*ns: não significativo ($p \geq 0,05$); **Significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$); ***H= horários de aplicação (Tratamento das parcelas); S= intervalos de simulação de chuva após a aplicação (Tratamentos das subparcelas); F.V. = Fonte de variação; G.L. = Graus de liberdade; S.Q. = Soma de quadrado; Q.M. = Quadrado médio; F = Estatística do teste F; C.V.- H = Coeficiente de variação em % para o fator horário de aplicação; C.V.- S = Coeficiente de variação em % para o fator intervalos de simulação de chuva após a aplicação.

Quadro 21 – Análise de variância (ANOVA) da variável produtividade da soja na interação entre horários de aplicação e intervalos de simulação de chuva.

F.V	G.L.	S.Q.	Q.M.	VALOR F	PR > F
BLOCOS	3	697,16484	232,38828	0,07680	ns*
H***	5	3425418,14705	685083,62941	226,44660	<0,01**
Resíduo - R	15	45380,47600	3025,36507		
Parcelas	23	3471495,78788			
S	4	2617325,29025	654331,32256	290,08630	<0,01
H*S	20	862186,55230	43109,32762	19,11180	<0,01
Resíduo - S	72	162406,34748	2255,64372		
Total	119	7113413,97792			
C.V. - H			2,62		
C.V. - S			2,26		

*ns: não significativo ($p \geq 0,05$); **Significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$); ***H= horários de aplicação (Tratamento das parcelas); S= intervalos de simulação de chuva após a aplicação (Tratamentos das subparcelas); F.V. = Fonte de variação; G.L. = Graus de liberdade; S.Q. = Soma de quadrado; Q.M. = Quadrado médio; F = Estatística do teste F; C.V.- H = Coeficiente de variação em % para o fator horário de aplicação; C.V.- S = Coeficiente de variação em % para o fator intervalos de simulação de chuva após a aplicação.

Quadro 22 – Análise de variância (ANOVA) da variável massa de grãos da soja na interação entre horários de aplicação e intervalos de simulação de chuva.

F.V	G.L.	S.Q.	Q.M.	VALOR F	PR > F
BLOCOS	3	0,21506	0,07169	0,59790	ns*
H***	5	24,90526	4,98105	41,54760	<0,01**
Resíduo - R	15	1,79832	0,11989		
Parcelas	23	26,91863			
S	4	5,00371	1,25093	7,58790	<0,01
H*S	20	5,15691	0,25785	1,56400	ns
Resíduo - S	72	11,86982	0,16486		
Total	119	48,94908			
C.V. - H			2,81		
C.V. - S			3,30		

*ns: não significativo ($p \geq 0,05$); **Significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$); ***H= horários de aplicação (Tratamento das parcelas); S= intervalos de simulação de chuva após a aplicação (Tratamentos das subparcelas); F.V. = Fonte de variação; G.L. = Graus de liberdade; S.Q. = Soma de quadrado; Q.M. = Quadrado médio; F = Estatística do teste F; C.V.- H = Coeficiente de variação em % para o fator horário de aplicação; C.V.- S = Coeficiente de variação em % para o fator intervalos de simulação de chuva após a aplicação.