



UNIVERSIDADE  
ESTADUAL DE LONDRINA

---

WAGNER TEIGI IGARASHI

**MOLHAMENTO FOLIAR E A FERRUGEM ASIÁTICA DA  
SOJA**

---

Londrina  
2016

**WAGNER TEIGI IGARASHI**

**MOLHAMENTO FOLIAR E A FERRUGEM ASIÁTICA DA  
SOJA**

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia, do Departamento de Agronomia do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Estadual de Londrina, como requisito parcial para a obtenção do grau de Doutor em Agronomia.

Orientador: Prof. Dr. Otávio Jorge Grigoli Abi Saab.

Londrina  
2016

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UEL

Igarashi, Wagner Teigi.

Molhamento foliar e a ferrugem asiática da soja. / Wagner Teigi Igarashi. - Londrina, 2016.  
101 f.

Orientador: Otávio Jorge Grigoli Abi Saab.

Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual de Londrina, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, 2016.  
Inclui bibliografia.

1. Modelos de estimativa de molhamento foliar - Teses. 2. *Phakopsora pachyrhizi* - Teses. 3. Sensores eletrônicos - Teses. 4. Coletor de esporos SIGA - Teses. I. Abi Saab, Otávio Jorge Grigoli. II. Universidade Estadual de Londrina. Centro de Ciências Agrárias. Programa de Pós-Graduação em Agronomia. III. Título.

WAGNER TEIGI IGARASHI

## **MOLHAMENTO FOLIAR E A FERRUGEM ASIÁTICA DA SOJA**

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia, do Departamento de Agronomia do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Estadual de Londrina, como requisito parcial para a obtenção do grau de Doutor em Agronomia.

### **BANCA EXAMINADORA**

---

Orientador: Prof. Dr. Otávio Jorge Grigoli Abi Saab  
Universidade Estadual de Londrina - UEL

---

Prof. Dr. Otávio Jorge Grigoli Abi Saab  
Universidade Estadual de Londrina - UEL

---

Prof. Dr. Marcelo Augusto de Aguiar e Silva  
Universidade Estadual de Londrina - UEL

---

Prof. Dr. Ricardo Ralisch  
Universidade Estadual de Londrina - UEL

---

Prof. Dr. Seiji Igarashi  
Prof. Dr. Rone Batista de Oliveira - UENP

Londrina, 25 de fevereiro de 2016.

## **Dedico**

Aos meu pais Oscar e Noemia,  
aos meus irmãos Vitor e Lucas,  
à minha noiva Sayuri,  
aos meus avós paternos Tokuzo e Siorio (*in  
memoriam*), e maternos Takeshi (*in memoriam*) e  
Mitsuko, pessoas que amo muito.

## AGRADECIMENTOS

Meus sinceros agradecimentos às pessoas e instituições que tornaram possível a realização deste trabalho:

Aos meu pais Oscar e Noemia, que sempre foram compreensivos nos momentos de dedicação aos estudos, me dando total apoio.

Ao meu orientador Otávio Jorge Grigoli Abi Saab, por confiar e acreditar no projeto dando todo apoio necessário para a concretização das etapas do trabalho, com a constante orientação, e sempre incentivando na busca do aprendizado acadêmico e pessoal.

Ao Seiji Igarashi, pessoa que admiro muito, e por idealizar o projeto com sua forma diferenciada de enxergar o conhecimento, me inspirando e motivando a perseverar na busca pelo crescimento pessoal e profissional.

Ao Marcelo Augusto de Aguiar e Silva por ser um dos idealizadores e incentivadores deste trabalho, pela amizade e orientação neste trabalho.

À Professora Inês Cristina de Batista Fonseca, pela disponibilidade e pelo direcionamento na realização dos testes estatísticos, e ao Professor Leandro Simões Azeredo Gonçalves pelo auxílio na interpretação dos resultados.

Aos Professores José Alexandre de França e Maria Bernadete de Moraes de França, e aos alunos de pós graduação de Engenharia Elétrica pelo aporte técnico na utilização das Árvores Eletrônicas de Molhamento e das Mini Estações.

Aos colegas de graduação, pós-graduação, aos técnicos da fazenda e do laboratório de fitopatologia da UEL, em especial ao técnico José Antonio Rocha pela amizade e pelo apoio prático nas etapas experimentais.

À Universidade Estadual de Londrina e ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia pela oportunidade de realização desse projeto.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Ensino Superior (CAPES), por conceder a bolsa estudos, tornando possível a realização do curso de doutorado.

Em especial, à minha noiva Sayuri Oguido pela compreensão, conselhos e a motivação transmitidos durante os períodos mais difíceis.

“Importante não é ver o que  
ninguém nunca viu, mas sim,  
pensar o que ninguém nunca  
pensou sobre algo que todo mundo  
vê”. (Arthur Schopenhauer )

## RESUMO

A ferrugem asiática da soja (FAS) causada pelo fungo *Phakopsora pachyrhizi* (H. Sydow & P. Sydow) vem causando prejuízos na produção de soja desde a sua chegada no Brasil. O aumento da severidade da FAS nas lavouras é determinado principalmente pelas condições de temperatura e molhamento foliar. Estas e outras variáveis meteorológicas podem ser medidas em postos agrometeorológicos. O molhamento foliar pode ser medido por sensores eletrônicos instalados no dossel das culturas, sendo quantificada em duração do período de molhamento (DPM) e porcentagem do molhamento foliar (PMF). Contudo, estes equipamentos não estão disponíveis a todos os produtores rurais, além da inviabilidade da quantidade de sensores para obtenção de dados de toda a cultura. Deste modo, o propósito do trabalho foi gerar modelos de estimativa de molhamento a partir de variáveis meteorológicas coletadas no posto agrometeorológico e na cultura, e verificar os impactos sobre a FAS. Os experimentos foram desenvolvidos em quatro safras agrícolas (11/12; 12/13; 13/14; 14/15) em Londrina – PR (23°34' S; 51°21' W). Foram instaladas na cultura de soja Árvores Eletrônicas de Molhamento (AEM) e Mini Estações para o acompanhamento das condições microclimáticas, e uma estação meteorológica e AEMs no posto agrometeorológico. Para o acompanhamento da flutuação de uredósporos da *P. pachyrhizi* foi instalado o coletor de esporos SIGA. Foram feitas avaliações da incidência e severidade da FAS. Inicialmente foram analisadas as relações entre as variáveis meteorológicas por meio de correlação de Pearson ( $p < 0,01$ ) e as relações significativas foram utilizadas nas regressões simples e múltiplas. Para as safras 2011/12, 2012/13 e 2013/14 foram selecionados três modelos que obtiveram as melhores coeficientes de determinação ( $R^2$ ): Dados Gerais, Dados Padrão e Dados Básicos. Para a safra 2013/14, foram adicionadas as variáveis coletadas pelas Mini Estações instaladas no dossel da soja, e pelas AEM instaladas na área da estação, gerando uma maior variação dos modelos. Já para as safras 2013/14 e 2014/15, foi feito o monitoramento da flutuação dos uredósporos da *P. pachyrhizi*, e o acompanhamento do desenvolvimento da ferrugem asiática da soja associando-se com a temperatura e a DPM. De maneira geral, com os Artigos A e B, verificou-se que é possível estimar o molhamento foliar por meio de modelos de estimativa empíricos. No entanto, modelos baseados em variáveis meteorológicas medidas em posto agrometeorológico apresentam equações com menor confiabilidade que modelos baseados em variáveis medidas na cultura. As equações geradas para os dias com chuva, também apresentam menor confiabilidade que os modelos gerados para os dias com ausência de precipitação. Já no Artigo C, apesar de nas duas safras haver condições de DPM suficientes para a ocorrência da FAS, na safra 2013/2014 a severidade final da doença foi menor devido às temperaturas mais elevadas e a menor frequência de chuvas. Nesta mesma safra, a temperatura medida no posto agrometeorológico não representou o que foi medido no dossel da soja.

**Palavras-chave:** *Phakopsora pachyrhizi*. Sensores eletrônicos. Duração do período de molhamento.

## ABSTRACT

Asian soybean rust (ASR) caused by *Phakopsora pachyrhizi* (H. Sydow & P. Sydow) has caused losses in soybean production since its arrival at Brazil. The increasing severity of ASR in crops is mainly determined by the temperature and leaf wetness. These and other meteorological variables can be measured in agro-meteorological stations. The leaf wetness can be measured by electronic sensors installed on the crop canopy, being quantified in leaf wetness duration (LWD) and leaf wetness percentage (LWP). However, these devices are not available to all farmers, besides the infeasibility to have the amount of sensors to obtain data from the entire culture. Thus, the purpose of the work was to create models to estimate the leaf wetness through meteorological variables collected in the agro-meteorological station and culture, and verify the impact of ASR. The experiments were conducted in four growing seasons (11/12; 12/13; 13/14; 14/15) in Londrina - PR (23 ° 34 'S, 51 ° 21' W). It were installed on soybean culture Electronic Trees and Mini Stations for monitoring microclimate conditions, and a weather station and Eletronic Trees in the agro-meteorological station. To monitoring *P. pachyrhizi* urediniosporal fluctuation it was installed SIGA spore trap. Incidence and severity of ASR were evaluated. First, it was analyzed the relationship between meteorological variables through Pearson correlation ( $p < 0.01$ ) and significant relationships were used in single and multiple regressions. For crop seasons 2011/12, 2012/13 and 2013/14 were selected three models that have obtained the highest coefficients of determination ( $R^2$ ): General Data, Standard Data and Basic Data. For 2013/14 crop season, the variables collected by the Mini Stations installed in soybean canopy, and the Eletronic Tree installed in the station area were added, generating a wider range of models. For crop seasons 2013/14 and 2014/15, the fluctuation of urediniospores of *P. pachyrhizi* was monitored, and the development of Asian soybean rust was associated with the temperature and the LWD. In general, with the articles A and B, it was found that it is possible to estimate the leaf wetness by empirical estimation models. However, models based on meteorological variables measured in agro-meteorological station equations have less reliability than models based on the measurements in the culture. The equations generated for days with rain also have lower reliability than the models generated for days with no precipitation. In the Article C, although in the two seasons have enough LWD conditions for the occurrence of ASR, in the 2013/2014 crop season the disease severity was lower due to higher temperatures and less frequent rainfall. In the same season, the temperature measured in the agro-meteorological station did not represent what was measured in soybean canopy.

**Key words:** *Phakopsora pachyrhizi*. Electronic sensors. Leaf wetness duration.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

<b>Figura 3.1</b> - Posto agrometeorológico e área experimental localizado na Fazenda Escola da Universidade Estadual de Londrina (Fonte: Google Earth, 2016). .....	32
<b>Figura 3.2</b> - Esquema demonstrativo da parcela.....	34
<b>Figura 3.3</b> - Árvore Eletrônica de Molhamento na cultura.....	35
<b>Figura 3.4</b> – Estação meteorológica no posto agrometeorológico. ....	35
<b>Figura 4.1</b> - Área experimental e Posto agrometeorológico localizado na Fazenda Escola da Universidade Estadual de Londrina (Fonte: Google Earth, 2016). .....	55
<b>Figura 4.2</b> - Esquema demonstrativo da parcela e seus pontos de avaliação. ....	56
<b>Figura 4.3</b> – Equipamentos instalados na cultura de soja: A - Árvore Eletrônica de Molhamento; B – Mini estação.....	57
<b>Figura 4.4</b> – Equipamentos instalados em estação agrometeorológica: A - Estação meteorológica; B – Árvore Eletrônica de Molhamento.....	57
<b>Figura 5.1</b> - Dados de precipitação (mm), temperatura média do ar (°C) e umidade relativa média do ar (%), da safra 2013/2014. ....	85
<b>Figura 5.2</b> - Dados de precipitação (mm), temperatura média do ar (°C) e umidade relativa média do ar (%), da safra 2014/2015. ....	885
<b>Figura 6.1</b> – Precipitação pluviométrica na safra 2011/2012.....	105
<b>Figura 6.2</b> – Precipitação pluviométrica na safra 2012/2013.....	105
<b>Figura 6.3</b> – Precipitação pluviométrica na safra 2013/2014.....	106
<b>Figura 6.4</b> – Precipitação pluviométrica na safra 2014/2015.....	106

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 3.1</b> - Principais características da cultivar de soja BMX Potência RR .....	33
<b>Tabela 3.2</b> – Modelos de estimativa de molhamento foliar gerados a partir de variáveis coletadas em Posto agrometeorológico e na cultura de soja. ....	37
<b>Tabela 3.3</b> – Análise estatística descritiva das variáveis meteorológicas medidas no Posto Agrometeorológico e na Cultura da Soja em dias sem chuva.....	38
<b>Tabela 3.4</b> – Análise estatística descritiva das variáveis meteorológicas medidas no Posto Agrometeorológico e na Cultura da Soja em dias com chuva. ....	39
<b>Tabela 3.5</b> – Matriz de correlação entre as variáveis médias no Posto Agrometeorológico e na Cultura da Soja em dias sem chuva. ....	40
<b>Tabela 3.6</b> – Matriz de correlação entre as variáveis médias no Posto Agrometeorológico e na Cultura da Soja em dias com chuva. ....	41
<b>Tabela 3.7</b> - Modelo Dados Gerais e Dados Gerais + S1,7 m em dias sem chuva. ....	42
<b>Tabela 3.8</b> - Modelo Dados Padrão e Dados Básicos em dias sem chuva. ....	43
<b>Tabela 3.9</b> - Modelo Dados Soja e Soja S1,7 m em dias sem chuva. ....	44
<b>Tabela 3.10</b> - Modelo Dados Gerais e Dados Gerais + S1,7 m em dias com chuva.....	45
<b>Tabela 3.11</b> - Modelo Dados Padrão Dados Básicos em dias com chuva. ....	46
<b>Tabela 3.12</b> - Modelo Dados Soja e Soja S1,7 m em dias com chuva.....	47
<b>Tabela 4.1</b> - Principais características da cultivar de soja BMX Potência RR .....	55
<b>Tabela 4.2</b> - Modelos de estimativa de molhamento foliar gerados a partir de variáveis coletadas em Posto agrometeorológico e na cultura de soja. ....	60
<b>Tabela 4.3</b> - Análise estatística descritiva das variáveis meteorológicas medidas no Posto Agrometeorológico e na Cultura da Soja em dias sem chuva.....	60
<b>Tabela 4.4</b> - Análise estatística descritiva das variáveis meteorológicas medidas no Posto Agrometeorológico e na Cultura da Soja em dias com chuva. ....	61
<b>Tabela 4.5</b> – Matriz de correlação entre as variáveis médias no Posto Agrometeorológico e na Cultura da Soja em dias sem chuva. ....	65
<b>Tabela 4.6</b> – Matriz de correlação entre as variáveis médias no Posto Agrometeorológico e na Cultura da Soja em dias sem chuva. ....	66
<b>Tabela 4.7</b> - Modelo Dados Gerais e suas derivações em dias sem chuva. ....	68
<b>Tabela 4.8</b> - Modelo Dados Padrão e suas derivações em dias sem chuva.....	69
<b>Tabela 4.9</b> - Modelo Dados Básicos e suas derivações em dias sem chuva. ....	71

<b>Tabela 4.10</b> - Modelo Sensores e suas derivações em dias sem chuva.....	70
<b>Tabela 4.11</b> - Modelos Dados Soja e Soja S1,7 m em dias sem chuva.....	71
<b>Tabela 4.12</b> - Modelo Dados Gerais e suas derivações em dias com chuva.....	74
<b>Tabela 4.13</b> - Modelo Dados Padrão e suas derivações em dias com chuva. ....	75
<b>Tabela 4.14</b> - Modelo Dados Básicos e suas derivações em dias com chuva.....	76
<b>Tabela 4.15</b> - Modelo Sensores e suas derivações em dias com chuva. ....	77
<b>Tabela 4.16</b> - Modelos Dados Soja e Soja S1,7 m em dias com chuva. ....	78
<b>Tabela 5.1</b> - Período com temperaturas elevadas e muito elevadas nos períodos avaliados, e temperaturas máxima do ar, temperatura média do ar, e duração do período de molhamento (DPM) na safra 2013/2014.....	86
<b>Tabela 5.2</b> - Período com temperaturas elevadas e muito elevadas nos períodos avaliados, e temperaturas máxima do ar, temperatura média do ar, e duração do período de molhamento (DPM) na safra 2014/2015.....	88

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	14
<b>2</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	16
2.1	DURAÇÃO DO PERÍODO DE MOLHAMENTO .....	16
2.1.1	Importância da Duração do Período de Molhamento .....	16
2.1.2	A Quantificação da Duração do Período de Molhamento .....	17
2.1.3	Variabilidade Espacial da Duração do Período de Molhamento .....	18
2.1.4	Estimativa da Duração do Período de Molhamento por Modelos Empíricos .....	19
2.2	FERRUGEM ASIÁTICA DA SOJA (FAS) .....	21
2.2.1	Histórico .....	21
2.2.2	Sintomatologia .....	23
2.2.3	Efeitos dos Fatores Meteorológicos sobre a FAS .....	25
2.2.3.1	O molhamento foliar e a temperatura .....	25
2.2.3.2	Influência da chuva sobre a FAS .....	26
2.2.4	Monitoramento dos Uredósporos da FAS Antes da Infecção Primária .....	27
<b>3</b>	<b>ARTIGO A – ESTIMATIVA DO MOLHAMENTO FOLIAR EM DIFERENTES ALTURAS DO DOSSEL DA SOJA A PARTIR DE VARIÁVEIS METEOROLÓGICAS</b> .....	29
3.1	RESUMO .....	29
3.2	ABSTRACT .....	29
3.3	INTRODUÇÃO .....	30
3.4	MATERIAL E MÉTODOS .....	32
3.4.1	Instalação e condução do experimento .....	32
3.4.2	Variáveis medidas .....	36
3.4.3	Análise dos dados .....	36
3.5	RESULTADOS .....	38
3.5.1	Análise de dados .....	38
3.5.2	Estimativa da porcentagem de molhamento foliar (PMF) .....	42

3.5.2.1	Dias sem chuva .....	42
3.5.2.2	Dias com chuva .....	44
3.6	DISCUSSÃO.....	47
3.7	CONCLUSÕES .....	49
<b>4</b>	<b>ARTIGO B – ESTIMATIVA DO MOLHAMENTO FOLIAR EM DIFERENTES ALTURAS DO DOSSEL DA SOJA A PARTIR DE VARIÁVEIS METEOROLÓGICAS, NA SAFRA 2013/2014.....</b>	<b>51</b>
4.1	RESUMO .....	51
4.2	ABSTRACT.....	51
4.3	INTRODUÇÃO.....	52
4.4	MATERIAL E MÉTODOS .....	54
4.4.1	Instalação e condução do experimento .....	54
4.4.2	Variáveis medidas .....	58
4.4.3	Análise dos dados.....	58
4.5	RESULTADOS.....	60
4.5.1	Análise de dados .....	60
4.5.2	Estimativa da porcentagem de molhamento foliar.....	65
4.5.3	Dias sem chuva .....	65
4.5.4	Dias com chuva - Estimativa da porcentagem de molhamento foliar.....	71
4.6	DISCUSSÃO.....	76
4.7	CONCLUSÃO.....	78
<b>5</b>	<b>ARTIGO C - A TEMPERATURA E A DURAÇÃO DO PERÍODO DE MOLHAMENTO NO DOSSEL DA SOJA, E A INTENSIDADE DA FERRUGEM ASIÁTICA .....</b>	<b>79</b>
5.1	RESUMO .....	79
5.2	ABSTRACT.....	79
5.3	INTRODUÇÃO.....	80
5.4	MATERIAL E MÉTODOS .....	81
5.5	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	83
5.6	CONCLUSÃO.....	88

<b>6</b>	<b>CONCLUSÕES GERAIS</b> .....	89
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	93
	<b>ANEXOS</b> .....	104
	<b>ANEXO A</b> .....	105

## 1 INTRODUÇÃO

Desde a safra brasileira de soja 2001/2002, a ferrugem asiática da soja (FAS) causada pelo fungo *Phakopsora pachyrhizi* (H. Sydow & P. Sydow) tem apresentado grande potencial destrutivo das lavouras. Em condições favoráveis à doença as perdas podem causar grande redução na produtividade, sendo necessárias aplicações de fungicidas para seu controle, aumentando o custo de produção.

Em cultivares suscetíveis, o aumento da severidade da doença durante a estação de cultivo é determinado frequentemente pelos fatores ambientais, principalmente temperatura do ar e molhamento foliar, possibilitando a ocorrência de epidemias. Os elementos chave das epidemias de FAS são a quantidade de inóculo e a época em que este chega a uma cultura ou região, e as condições de ambiente quando da chegada até o final do ciclo da cultura. Estes elementos estão fundamentados na presença, no tempo e no espaço dos três fatores determinantes de doenças: hospedeiro, patógeno e ambiente favorável.

Dentre os fatores ambientais, a duração do período de molhamento (DPM) é de grande importância para epidemiologia de doenças de plantas, uma vez que a permanência de água sobre as superfícies vegetais desempenha papel fundamental em alguns processos epidemiológicos tais como a germinação, infecção e a esporulação. Em relação à FAS, a DPM associada com a temperatura é um fator crítico para que ocorra a infecção. De maneira geral, temperaturas entre 15 e 28°C e DPM de 6 a 10 horas diárias, estão associadas às condições ótimas para que se desenvolva uma epidemia severa de doenças em plantas.

O emprego de sensores eletrônicos facilitou a medida da DPM, sendo que atualmente existem vários modelos de sensores. Entretanto, uma das dificuldades da determinação da DPM é a grande variedade da arquitetura de espécies vegetais cultivadas e de suas cultivares, pois, a interação da copa com a atmosfera promove diferentes microclimas nas camadas dentro do dossel.

Apesar da importância do molhamento foliar, o uso de equipamentos que meçam esta variável não é acessível aos produtores rurais, além da inviabilidade da quantidade de sensores para obtenção de dados de toda a cultura. Deste modo, a estimativa do molhamento foliar por meio de variáveis mais facilmente obtidos numa estação meteorológica, facilitaria o uso da DPM para a tomada de decisão pelos envolvidos na condução da lavoura.

Este trabalho teve por objetivo de estimar o molhamento foliar em diferentes alturas do dossel da soja, por meio de determinações ambientais de estações

meteorológicas instaladas na cultura e em posto agrometeorológico, e verificar a possibilidade de gerar modelos confiáveis (Artigos A e B), bem como verificar os efeitos da temperatura do ar e da duração do período de molhamento no dossel da soja, sobre a infecção inicial e o desenvolvimento da ferrugem asiática da soja (Artigo C).

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 DURAÇÃO DO PERÍODO DE MOLHAMENTO

#### 2.1.1 Importância da Duração do Período de Molhamento

Os três fatores necessários para a ocorrência de uma doença são o patógeno, a planta hospedeira e o ambiente (BERGAMIM FILHO; AMORIM, 1996). Dentre estes fatores, o ambiente exerce papel predominante, já que os influencia. A temperatura exerce efeito sobre todos os processos epidemiológicos das doenças de plantas, uma vez que controla a velocidade das relações biológicas. O vento e a chuva participam da liberação e da dispersão do inóculo de fungos e bactérias (HUBER; GILLESPIE, 1992). Contudo, de acordo com Vale; Jesus Junior e Zambolim (2004), entre as variáveis meteorológicas, a duração do período de molhamento foliar (DPM) é a mais importante para grande parte das doenças de plantas, pois é necessária tanto para o processo de infecção quanto para a esporulação.

A permanência de uma lamina de água na forma líquida por longos períodos sobre as folhas e frutos, possibilita a germinação dos esporos dos fungos e serve de veículo para o processo de penetração do tubo germinativo, sendo que quanto maior a DPM maior é a taxa de infecção (SENTELHAS, 2004). Além disso, de acordo com Huber e Gillespie (1992), a duração do período de molhamento favorece a esporulação e reduz o tempo de colonização do tecido vegetal para alguns fungos. Entretanto, estudos demonstram que o desenvolvimento e o estabelecimento dos patógenos é dependente do binômio temperatura - DPM (PEREIRA; ANGELOCCI; SENTELHAS, 2002). Melching et al. (1989) ao estudarem sobre o fungo *P. pachyrhizi*, verificaram que este patógeno tem a capacidade de infectar uma planta de soja em temperaturas de 15 a 28° C, com 6 a 12 horas de molhamento na superfície das folhas.

A compreensão das interações entre as variáveis meteorológicas e a epidemiologia de doenças de plantas, pode trazer informações importantes para o desenvolvimento de modelos de previsão de doenças. Sistemas de alerta fitossanitário podem avaliar o risco de infecção das culturas pelo monitoramento da DPM e da temperatura do ar (BERTON; MELZER, 1989; CARISSE; KUSHALAPPA, 1990; HUBER; GILLESPIE, 1992; REIS et al., 2004; CANTERI, 2004). Os modelos de previsão possibilitam a pulverização de produtos quando há a necessidade, podendo reduzir a sua frequência, diminuir a contaminação dos recursos naturais, e também retardar o desenvolvimento de resistência nos patógenos aos fungicidas e bactericidas (KIM et al., 2005). Além disso, essa

informação possibilita redução dos custos de produção e a obtenção de alimentos mais saudáveis (SENTELHAS, 2004).

### 2.1.2 A Quantificação da Duração do Período de Molhamento

A permanência de água sobre a planta é quantificada pela duração do período de molhamento (DPM) e é um dos parâmetros agrometeorológicos mais importantes que influenciam no processo infectivo e na severidade da FAS. A condensação na superfície das plantas, promovida pelo orvalho, chuva, irrigação ou nevoeiro, fornece condições necessárias para a germinação e infecção do tecido foliar pelos patógenos (GUYOT; OMANDA; PINARD, 2005). O orvalho, pode ser originado por dois processos: a precipitação do orvalho e a destilação do orvalho (ROSEMBERG; BLAD; VERMA, 1983). De acordo com Monteith (1963), o primeiro processo ocorre quando o fluxo de vapor que condensa sobre as superfícies vegetais é proveniente da atmosfera, já o segundo processo está relacionado ao fluxo de vapor proveniente do solo. Segundo Huber e Gillespie (1992), em condições de alta umidade atmosférica, o orvalho é formado principalmente pelo processo de precipitação do orvalho; já sob condições semiáridas, o orvalho é proveniente principalmente do processo de destilação do orvalho.

Apesar da sua importância a DPM é uma variável difícil de ser medida, pois não depende exclusivamente das condições atmosféricas, mas também da sua interação com a estrutura, composição e fisiologia do dossel da cultura (MAGAREY, 1999; MADEIRA et al., 2002; SENTELHAS et al., 2005; MARTA et al., 2007). No entanto, muitos sensores foram desenvolvidos para quantificá-la, uma vez que a estimativa por modelos empíricos ou analíticos é complexa, de difícil aplicação e validação nas condições de campo, devido às interações da atmosfera com a cultura e por exigirem muitas variáveis meteorológicas (SENTELHAS et al., 2005; MARTA et al., 2007).

O aumento do uso de estações meteorológicas automáticas em todo mundo, inclusive no Brasil, a redução do custo de sistemas eletrônicos de aquisição de dados, a precisão e a facilidade da obtenção de dados contínuos, têm contribuído para o aumento do uso de sensores eletrônicos. Esses sensores podem simular uma folha (sensores do tipo folha artificial) ou serem instalados diretamente no tecido vegetal (sensores de contato direto com as superfícies das plantas). No primeiro caso, pequenos eletrodos são fixados em estruturas artificiais que simulam uma folha, por exemplo, placa de circuito impresso (GILLESPIE; KIDD, 1978; ARMSTRONG; BARTHKUR; NORRIS, 1993) ou tubos de acrílico

(GILLESPIE; DUAN, 1987). Já no segundo caso, os eletrodos são fixados diretamente nos órgãos vegetais. Em ambos os casos, a presença de água provoca redução da resistência entre os eletrodos, cuja a informação é armazenada num sistema de aquisição de dados (GILLESPIE; HORST; YUEN, 1996; MADEIRA et al., 2002).

Uma das limitações na utilização dos sensores eletrônicos, é que a maioria deles apenas acusam a presença do molhamento, não quantificando sua porcentagem. Equipamentos que utilizam sensores de molhamento foliar do tipo pente capacitivo (MOREIRA et al, 2011; FRANÇA et al., 2012; GUEDES et al., 2013), possibilitaram a quantificação da porcentagem de molhamento foliar. Através destes equipamentos, Igarashi et al. (2014) afirmam que a mensuração da porcentagem de molhamento foliar (PMF) é importante, pois sensores que detectam apenas a presença da água podem superestimar o molhamento quando este ocorre em baixas proporções. Como a severidade da FAS é proporcional à quantidade e a duração da área foliar molhada (BEDENDO, 1995), o desenvolvimento de sensores que quantifiquem a PMF é importante, pois permite indicar com maior exatidão as condições de molhamento favoráveis ou não para o desenvolvimento epidemiológico da doença.

Segundo Lau et al. (2000), outro aspecto importante é a pintura dos sensores, pois tem maior influência sobre o desempenho dos sensores do que a exposição e o ângulo de instalação. Gillespie e Kidd (1978), ao estudarem o efeito da cor da tinta látex aplicada sobre sensor de placa de circuito impresso, verificaram que sensores pintados com tinta de cor branca ou cinza-claro apresentaram taxa de secamento semelhante ao de folhas naturais. Segundo os mesmos autores, após a pintura estes devem receber um tratamento térmico com o objetivo de eliminar componentes higroscópicos da tinta látex que são responsáveis pela alteração do sinal dos sensores durante períodos de alta umidade relativa do ar sem que haja, contudo, presença de água na superfície dos sensores. França, et al. (2012), testando sensor eletrônico que quantifica o molhamento foliar sobre a superfície das folhas, também indicam o uso da tinta látex aplicada sobre o sensor.

### 2.1.3 Variabilidade Espacial da Duração do Período de Molhamento

A variabilidade espacial do microclima é um fator importante a ser considerado na mensuração da DPM em dosséis de cultivos agrícolas. O microclima no dossel vegetativo é influenciado por fatores como: estrutura, arquitetura e altura das plantas (HUBER; GILLESPIE, 1992; DALLA MARTA et al., 2005; SENTELHAS et al., 2005). Já

as variáveis microclimáticas, têm influência nos processos de condensação e evaporação de água das superfícies vegetais e, conseqüentemente, na DPM.

Alguns estudos indicam que a variabilidade espacial da DPM pode ser maior ou menor, dependendo da cultura. Wittich (1990) observou que a DPM é mais longa na parte superior do dossel de macieira do que na sua parte inferior. Sentelhas et al. (2005) determinaram DPM uma hora mais longa para o terço superior da cultura do milho do que no terço inferior. Entretanto, não foram observadas diferenças significativas na DPM medida em diferentes partes dos dosséis vegetativos das culturas de café e uva. As diferenças na DPM em dosséis de culturas podem ter aplicações práticas em sistemas de alerta fitossanitário. Em dosséis vegetativos de soja, Schmitz & Grant (2009) observaram que a distribuição do molhamento varia vertical e horizontalmente, e que os maiores responsáveis são o orvalho e a chuva. A chuva fornece períodos de molhamento imediato e mais longos que o orvalho, embora a duração do período de molhamento foi mais variável, devido ao aquecimento solar e a secagem do molhamento em precipitações durante o dia. Contudo, o orvalho é um evento que ocorre mais frequentemente que a chuva, e cria um gradiente vertical de molhamento no dossel da soja.

Diversos fatores, incluindo variáveis meteorológicas, características das folhas, estrutura do dossel e redistribuição de água, são responsáveis pela variabilidade da DPM no dossel vegetativo (HUBER; GILLESPIE, 1992; DALLA MARTA et al., 2005; SENTELHAS et al., 2005). A interação da copa com a atmosfera promove diferentes microclimas dentro da cultura, podendo partes do dossel vegetativo apresentarem-se úmidas enquanto outras apresentarem-se secas. Portanto, para garantir a correta caracterização da DPM é necessária a instalação de sensores em diferentes partes do dossel das culturas, para posteriormente criar modelos de estimativa da DPM.

#### 2.1.4 Estimativa da Duração do Período de Molhamento por Modelos Empíricos

Ainda que se considere a DPM como uma das variáveis meteorológicas mais importantes para o manejo de doenças de plantas, a utilização desta medida em cultivos agrícolas é pouco difundida. Mesmo em estações meteorológicas, poucas possuem sensores para medir a DPM, e muitas vezes sua operação requer cuidados que se não forem levados em consideração, podem gerar erros significativos (Monteiro et al., 2002).

Desta forma, a estimativa da DPM pode ser baseada em modelos analíticos e empíricos. Os analíticos, também conhecidos como físicos, são mais complexos e

necessitam de muitas variáveis de entrada, dificultando a sua utilização (KIM et al, 2005). Os modelos empíricos utilizam variáveis meteorológicas e métodos estatísticos para estimar a DPM, e tem como vantagem a facilidade de requerer poucas variáveis em seus modelos. Uma das formas mais simples e difundidas para se estimar a DPM, é o modelo que considera o molhamento foliar é igual ao número de horas em que a umidade relativa do ar medida a 1,7 m de altura permaneceu acima de 90% (NHUR>90%). No entanto, Gleason et al. (1994), comparando valores de DPM medidos por sensores e obtidos por diferentes limites de umidade relativa do ar (UR), concluíram que essa variável oferecia baixa confiabilidade para estimar a DPM. Andrade-Piedra et al. (2005) relatam que há experimentos em que o limite de 90% de UR pode apresentar valores de acurácia e precisão insatisfatórios para a determinação da DPM. Contudo, Kruit et al. (2004) obtiveram bons resultados com o modelo NHUR, utilizando o valor de 87% para o limite de UR, como alternativa para o limite de 90%.

A estimativa da DPM pode ser obtida por modelos empíricos locais com boa precisão, principalmente se forem calculados por variáveis meteorológicas medidas no local e puderem ser comparados com a DPM real, para a averiguação da sua confiabilidade (CROWE et al., 1978). Os mesmos autores obtiveram bons resultados de estimativa da DPM, em estação meteorológica instalada em Pedleton, Oregon, EUA, com a utilização de um modelo gerado por equações múltiplas, que considerava valores de UR, velocidade do vento, de temperatura mínima do ar e temperatura do solo. Entretanto, quando o modelo foi testado em outros locais próximos a Pedleton, a precisão foi baixa.

A partir de regressão linear simples, Amador (1987), gerou uma equação para estimativa do período de molhamento para a cultura do feijoeiro a partir de variáveis obtidas em estação meteorológica. O molhamento foliar foi estimado em função do número de horas com umidade relativa do ar maior ou igual a 90%, obtendo um valor do coeficiente de determinação ( $R^2$ ) de 0,55 a 1% de probabilidade. Foram feitos acréscimos dos dados de velocidade do vento e temperatura mínima do ar, porém, sem melhorara no desempenho das equações.

Sentelhas (1992), a partir de variáveis de estação meteorológica, realizou regressões lineares simples entre a duração do período de molhamento visual na cultura do trigo, e o número de horas com umidade relativa do ar maior ou igual a 90%, obtendo  $R^2$  de 0,34 a 5% de probabilidade. Ao utilizar registros obtidos no microclima do dossel da cultura, o  $R^2$  aumentou para 0,89.

Seguindo a mesma linha de pesquisa, Gleason et al. (1994) apresentaram um modelo empírico de estimativa da DPM, denominado CART/SLD, que considera os dados de

velocidade do vento, depressão do ponto de orvalho e umidade relativa do ar. A sigla CART diz respeito a um procedimento não paramétrico utilizado na seleção das variáveis, e SLD representa o procedimento 'stepwise' utilizado na elaboração dos modelos de regressão. O modelo CART/SLD apresentou estimativas mais precisas e com menor variação do que as estimativas baseadas no limite de NHUR>90% (GLEASON et al., 1994), sendo considerado um modelo mais consistente do que o modelo desenvolvido por Crowe et al. (1978). Para este modelo empírico, Kim et al. (2002) observaram a possibilidade de utilização em locais distintos, e recomendam que os valores de velocidade do vento sejam corrigidos de acordo com a altura da cultura utilizada.

Rao, Gillette e Schaafsma (1998), utilizaram modelos empíricos baseados na umidade relativa do ar para estimar a DPM em espigas de milho, e obtiveram resultados com precisão tão boa quanto as estimativas feitas por modelos analíticos mais complexos. Contudo, Kim et al. (2005), ao testarem o modelo CART/SLD para estimativa da DPM na Costa Rica, observaram que o resultado era variável de acordo com a estação do ano, indicando problemas de transportabilidade no modelo. Sentelhas (2004), ao estimar a DPM na cultura do algodão por meio de modelos analíticos e empíricos, observou que o desempenho de modelos empíricos, como os baseados na depressão da temperatura do ponto de orvalho e na umidade relativa do ar, era comparável ao desempenho de modelos mais complexos, como o modelo da resistência aerodinâmica (RES) de Penman-Monteith. Coletando variáveis meteorológicas nas alturas de 0,5 e 1,7 m em cultura de soja, Tsukahara (2004) verificou melhor desempenho de estimativa da DPM quando utilizou os dados de umidade relativa do ar tomados na altura do dossel da cultura. Apesar disso, quando o autor comparou com os resultados obtidos pela temperatura do ar na altura de 0,5m, percebeu que os registros tomados no dossel da soja ofereceram menores coeficientes de determinação ( $R^2$ ). Esses resultados demonstram que os modelos empíricos, apesar de suas limitações, são uma boa ferramenta para estimativa da DPM, principalmente em locais onde a disponibilidade de dados inviabiliza a utilização de modelos mais complexos.

## 2.2 FERRUGEM ASIÁTICA DA SOJA (FAS)

### 2.2.1 Histórico

A Ferrugem Asiática da Soja (FAS) causada pelo fungo *Phakopsora pachyrhizi* Sidow, foi descrita primeiramente no Japão em 1902 (HENNING, 1903), e em

1914 surgiu em caráter epidêmico em vários países no sudoeste da Ásia. No continente africano foi registrada pela primeira vez em Togo em 1980 (MAWUENA, 1982), depois em Uganda em 1996 (KAWUKI et al., 2003), seguindo em 1998 no Kênia e Ruanda (REIS; BRESOLIN, 2004), Zimbábue e Zambia (LEVY, 2005). Em 2001, foi encontrada na África do Sul e na Nigéria (AKINSANMI et al., 2001), atingindo caráter epidêmico (PRETORIUS et al., 2001). Em 2007, a ferrugem foi também relatada em Ghana (BANDYOPADHYAY et al., 2007).

No continente americano foi reportada pela primeira vez no ano 1976 em Porto Rico (VAKILI; BROMFIELD, 1976), seguindo pelo Hawái em 1994 (KILLGORE; HEU, 1994). O primeiro relato na América do Sul ocorreu no Paraguai, em fevereiro de 2001 (MOREL; YORINORI, 2002; YORINORI, et al. 2002a; YORINORI, et al. 2002b). No ano de 2002 a doença apareceu no Brasil (YORINORI, et al. 2002b; COSTAMILAN, et al. 2002; REIS et al., 2002) e na Argentina (ROSSI, 2003).

No Brasil, a ferrugem foi detectada pela primeira vez no Estado do Paraná em 2002, possivelmente procedente do Paraguai (URBEN; MENDES, 2003), com constatações posteriores nos estados do Rio Grande do Sul, São Paulo, Mato Grosso do Sul, Goiás e Mato Grosso (YORINORI; PAIVA, 2002). A ferrugem da soja demonstrou no Brasil níveis nunca antes relatados, e isso se deve ao fato do fungo ter encontrado neste país uma condição climática muito favorável ao seu desenvolvimento, principalmente no Cerrado onde há a presença de hospedeiro durante todo o ano e uma grande extensão de área cultivada com soja (GODOY et al., 2006). Segundo Balardin (2010), desde sua detecção no Brasil, a doença atingiu dispersão em praticamente 100% da área de cultivo provocando danos estimados em aproximadamente 10%, embora em diversas regiões tenha sido superior a 50%. Desde a primeira detecção, a importância da ferrugem asiática no Brasil tornou-se incontestável devido principalmente às perdas severas que tem causado na cultura da soja.

Yorinori et al., (2003) afirmam que, na safra 2002/2003, a FAS afetou quase 100% da área cultivada de soja no Brasil. As regiões mais atingidas no período foram o oeste da Bahia, norte do Mato Grosso, todo o estado de Goiás e o noroeste de Minas Gerais (UTIAMADA, 2003). Segundo Balardin (2003), a ocorrência da FAS foi extremamente severa, principalmente na região do cerrado baiano, onde o patógeno encontrou uma combinação de fatores favoráveis ao desenvolvimento epidêmico (época de semeadura, ressemeaduras, áreas com cultivares de ciclo médio, médio-tardio e tardio).

A severidade da FAS no Brasil está relacionada com as variações nas condições do ambiente, dependendo do ano e do local. A concentração de inóculo no início da

safrá está relacionado com a severidade final da doença (CANTERI et al., 2007). Por isso, para reduzir a quantidade de uredósporos durante a entressafra, foi estabelecido um período de ausência de plantas vivas de soja, chamado de “vazio sanitário”. Esta medida iniciou-se em 2006 nos estados de Mato Grosso, Goiás e Tocantins, constituindo-se em um período de 90 dias sem a cultura de soja durante a entressafra, com eliminações de plantas voluntárias e cultivos comerciais. Desta forma, é possível reduzir o inóculo nas primeiras semeaduras, diminuindo assim a possibilidade de incidência da doença no período vegetativo e, conseqüentemente, racionalizando o número de aplicações de fungicida (GODOY et al., 2006). Atualmente, o vazio sanitário está regulamentado em 12 estados brasileiros e no Paraguai, com um período de pelo menos 60 dias sem a presença de plantas cultivadas ou voluntárias (BRASIL, 2015).

### 2.2.2 Sintomatologia

Os sintomas da FAS podem surgir em qualquer momento do ciclo fenológico da cultura, porém tem acontecido de forma mais frequente em plantas em estágio reprodutivo (JULIATTI, 2004). Este fato se deve ao microclima formado no interior do dossel das plantas quando chegam ao estágio reprodutivo, que possibilitam condições ambientais decisivas para o patossistema da cultura da soja (ALVES; FURTADO; BERGAMIM FILHO, 2006).

Segundo Yorinori e Paiva (2002a), os primeiros sintomas da ferrugem são caracterizados por minúsculos pontos (no máximo 1 mm de diâmetro) mais escuros que o tecido sadio da folha, de uma coloração esverdeada a cinza esverdeada. Os sintomas mais comuns da ferrugem asiática são lesões de cor palha (TAN) a marrom-escuras ou marrom-avermelhada (RB), ou manchas com uma a muitas urédias (pústulas), que encerram os uredósporos e com o desenvolvimento da doença, as lesões adquirem forma poligonal, delimitadas pelas nervuras secundárias, podendo alcançar um tamanho de dois a três milímetros (YORINORI, 2003).

Lesões do tipo RB são típicas de materiais com genes dominantes de resistência ou de efeito principal a essa doença (BONDE et al, 2006; BROMFIELD; HARTWIG, 1980; BROMFIELD, 1984), também conhecida como resistência vertical ou qualitativa (CAMARGO, 1995). Este tipo de lesão pode ser descrito como uma reação de hipersensibilidade. Nessa, as células do hospedeiro, próximas ao local de infecção do patógeno, morrem logo após a infecção. O patógeno *P. pachyrhizi* necessita de células vivas

para sobreviver e se multiplicar e, com a morte dessas células, o crescimento do patógeno é limitado ao local de infecção. Do ponto de vista do melhoramento genético, a planta com reação de hipersensibilidade é extremamente resistente, devido ao patógeno nessas condições, ter sua reprodução limitada, cessando o processo epidêmico no campo (CAMARGO, 1995). No entanto, foi verificado, em nível mundial, que a resistência qualitativa não foi duradoura, devido à grande variabilidade do patógeno (BONDE et al., 2006), tendo sido identificadas 18 raças do patógeno no Japão (YAMAOKA et al., 2002).

No Brasil, estudos realizados pela Embrapa Soja identificaram 11 cultivares com resistência à ferrugem (YORINORI; YORINORI; GODOY, 2002), sendo essa resistência quebrada rapidamente com isolado do fungo proveniente do Mato Grosso. A necessidade de se encontrar formas de resistência mais eficientes para o controle da ferrugem asiática da soja é uma realidade cada vez mais premente. Neste sentido, a resistência horizontal, também chamada de parcial, incompleta ou quantitativa, condicionada por genes de efeitos menores, pode ser uma alternativa de controle viável neste patossistema (PARLAVELIET, 1979). Neste tipo de resistência, os genótipos apresentam reações dentro de uma amplitude contínua de variação, podendo exibir de nenhum até bons níveis de resistência (PARLAVELIET, 1989). O progresso lento é o resultado dos efeitos combinados de fatores, como baixa frequência de infecção, período latente longo, pústulas pequenas, baixa produção de esporos por pústula e período infeccioso curto (HEAGLE; MOORE, 1970; OHM; SHANER, 1976; SZTEJNBERG; WAHL, 1976; PARLAVELIET, 1979; WHAL; WILCOXSON; ROWELL, 1980).

Segundo Utiamada (2003), à medida que prossegue a esporulação, o tecido ao redor das primeiras urédias escurece, formando as lesões que são facilmente visíveis principalmente na parte abaxial da folha. Esporadicamente, as urédias podem aparecer na parte superior das mesmas (ALMEIDA, et al 2005; GARCÉS, 2010). Os sintomas iniciais da ferrugem podem ser confundidos com outras doenças da soja, como a septoriose (*Septoria glycines*), que forma um halo amarelo ao redor da lesão necrótica, que é angular e castanho-avermelhada e também causa queda de folhas (YORINORI, 2003; BALARDIN, 2003; EMBRAPA SOJA, 2006).

A infecção por *P. pachyrhizi* causa rápido amarelecimento e queda prematura das folhas impedindo a plena formação dos grãos (HIRANO et al., 2010). Quanto mais cedo ocorrer a desfolha, menor será o tamanho do grão e, conseqüentemente, maior a perda do rendimento e da qualidade (GODOY; CANTERI, 2004). A desfolha antecipada na cultura da soja interfere em processos fisiológicos, resultando em menor número de vagens

normais, menor número de sementes por vagem e menor peso do grão de soja (RIBEIRO; COSTA, 2000). Em desfolhas artificiais efetuadas entre os estádios R5 e R6 observou-se menor enchimento de grãos (PELUZIO et al., 2002), desfolha realizada no estádio R4 provocou reduções na produtividade de até 93,4% (BARROS et al., 2002; PELUZIO et al., 2002). Neste estádio, a desfolha ocasiona abortamento de vagens em um momento em que a planta apresenta picos de atividade fotossintética para formação e enchimento de vagens (PELUZIO et al., 2002).

### 2.2.3 Efeitos dos Fatores Meteorológicos sobre a FAZ

#### 2.2.3.1 O molhamento foliar e a temperatura

A presença do molhamento é fundamental para a ocorrência da FAS, já que a presença ou ausência da água livre na superfície foliar determina a possibilidade de germinação dos esporos e conseqüentemente a ocorrência da infecção (TSUKAHARA; HIKISHIMA; CANTERI, 2008). Marchetti, Melching e Bromfield (1976) demonstraram o efeito da temperatura e duração do período de molhamento na germinação e infecção por uredósporos de *P. pachyrhizi*. Este trabalho mostrou que o fungo foi capaz de germinar entre as temperaturas de 7° e 28°C, com faixa ótima de 15° a 25°C. Infecções ocorreram com temperaturas entre 20°C e 25°C e 6 horas de duração de molhamento, sendo que taxas de infecções máximas ocorreram entre 10 a 12 h de molhamento.

As condições ambientais com maior influência sobre a *P. pachyrhizi* são o molhamento foliar, de 6 a 12 horas, e a temperatura, de 15 a 28 °C, de acordo com Melching, et al. (1989). Estes fatores estão relacionados com a germinação, formação do tubo germinativo, infecção, colonização, formação de urédias e lesões, e produção de uredósporos (BONDE et al, 2007; ZAMBENEDETTI MAGNANI; ALVES; ARAÚJO, 2007; BONDE; NESTER; BERNER, 2012). Em trabalhos utilizando análise de regressão, foi definida a temperatura ótima de germinação dos uredósporos da *P. pachyrhizi* de 21,8 a 23,4 °C (BONDE et al., 2007; BLUM et al., 2015). Estudos realizados por Furtado et al. (2010), mostraram que os uredósporos da *P. pachyrhizi* germinam e formam estruturas infectantes em menos de 4 horas a 23 °C. No entanto, se após essas 4 horas houver interrupção no molhamento, os uredósporos perdem sua capacidade infectiva, indicando tempo insuficiente para a penetração das hifas e intolerância a períodos secos após o início do processo de

germinação. Quando as plantas inoculadas foram submetidas a molhamento foliar de 12 horas contínuas, a severidade da FAS foi de 30%.

Em períodos em que o molhamento foliar não é um limitante para a ocorrência da FAS, a temperatura pode restringir a ocorrência desta doença. Segundo Bonde, Nester e Berner, (2012), a *P. pachyrhizi* é sensível a temperaturas acima de 33°C, mesmo quando exposto por breves períodos, pois limita a produção de uredósporos e o número de lesões nas folhas. Neste mesmo trabalho, foi constatado que o número máximo de produção de uredósporos por área de lesão ocorreu de 25 até 29 °C; de 31 °C para cima, a produção foi diminuindo, até chegar a zero em temperaturas acima de 37 °C.

Quando há condições de temperatura e molhamento foliar suficientes para germinação dos uredósporos e a ocorrência da infecção, os sintomas e sinais da FAS levam alguns dias para sua manifestação. De acordo com Zambenedetti Magnani, Alves e Araújo (2007), apesar do período de incubação da *P. pachyrhizi* ser de seis dias, o período latente varia de 6 a 12 dias. Já Kockman (1979), relata que o período latente pode durar 14 dias em temperaturas de 7 a 17° C, nove dias no regime de 17 a 27° C e 11 dias no de 22 a 32° C.

Quanto à germinação dos uredósporos, foi demonstrado que o fungo é capaz de germinar entre as temperaturas de 7 e 28° C, sendo a faixa ótima de 15 a 25° C (Marchetti et al., 1976). Por outro lado, Nicolini et al. (2010) relata que podem germinar desde 5 até 30° C, sendo a ótima 21° C, demonstrando assim que os seres peclotérmicos são regulados pela temperatura e não pelo tempo cronológico. Num experimento desenvolvido in vitro, por Carlini et al. (2009), a germinação máxima de uredósporos atingiu 96,5% em placas de petri que continham 4,0 g de extrato de folha de soja-ágar. Num trabalho conduzido na Austrália por Kochman (1979), o período latente foi de 14 dias numa faixa de temperatura variando de 7 a 17° C, nove dias na faixa de 17 a 27° C e 11 dias na faixa de 22 a 32° C. No Brasil, Reis et al., (2006) relatam que *P. pachyrhizi* produz urédias 28 dias após a inoculação e que uma urédia individual pode produzir uredósporos durante 21 dias, paralisando o processo após 27 dias.

#### 2.2.3.2 Influência da chuva sobre a FAZ

A ocorrência de chuvas durante a safra de soja influencia a FAS de diversas maneiras, contribuindo ou não para que a doença ocorra. A chuva está associada a vários fatores ambientais, pois aumenta o fluxo de vento e a flutuação de uredósporos da *P.*

*pachyrhizi*, deixando a temperatura mais amena, e traz ao ambiente grande quantidade de água na forma de umidade relativa do ar e molhamento foliar.

Dependendo de como a chuva é formada, a turbulência provocada pelo vento atua como um fator de disseminação dos uredósporos da *P. pachyrhizi* carregando-os do dossel das plantas para serem depositados em outros locais. A deposição dos uredósporos pode ocorrer de duas maneiras: pela ação da gravidade (deposição seca) e pelas gotas de chuva (deposição úmida), sendo a segunda maneira mais crítica para a ocorrência de epidemias, uma vez que fornece condições para que a infecção ocorra (DEL PONTE; ESKER, 2008).

Estudos nos EUA mostraram que a chuva pode ser um importante fator de disseminação de uredósporos da *P. pachyrhizi*. Através de coletas semanais de chuva analisadas por teste de PCR (Reação em Cadeia da Polimerase), foi observado que 5,2% dos ensaios mostraram resultados positivos de DNA para *P. pachyrhizi*, em 2005, e 17,8% em 2006 em relação ao mesmo período de tempo (BARNES; SZABO; BOWERSOX, 2009).

No entanto, segundo Dufault et al. (2010), dependendo da intensidade e da duração da chuva subsequente à deposição úmida de uredósporos, pode haver a remoção os mesmos por lavagem das folhas, diminuindo as chances de ocorrência da infecção. Beck et al. (2006) em seu ensaio constatou que a chuva reduziu drasticamente a liberação de uredósporos do dossel da cultura por um período de 24 a 48 horas após esse evento.

Por outro lado, Del Ponte et al. (2006) em seus estudos com 34 campos experimentais no Brasil durante 3 épocas de plantio consecutivas, observaram haver uma forte correlação entre severidade final da doença com precipitação pluviométrica (acima de 1 mm), do que com as variáveis temperatura máxima e mínima. Del Ponte (2006) e Canteri, Tsukahara e Silva (2007), relataram que a chuva exerce forte influência sobre a epidemia de FAS, porém não é apenas o clima ou o ambiente que regulam as epidemias, pois o progresso da doença é fortemente influenciado pela quantidade do inóculo inicial que explica grande variação na severidade da doença em semeaduras antecipadas ou tardias.

#### 2.2.4 Monitoramento dos Uredósporos da FAS antes da Infecção Primária

O fungo *P. pachyrhizi* pode passar de uma safra para outra sobrevivendo em plantas hospedeiras como a soja guaxa, lavouras de multiplicação de sementes no inverno, em baixo de irrigação por pivô central, soja perene, e outras espécies leguminosas (UTIAMADA, 2003). Por isso a importância do “vazio sanitário”, que teve início em 2006 nos estados de

Mato Grosso, Goiás e Tocantins, constituindo-se em um período de 90 dias sem a cultura de soja durante a entressafra, com eliminações de plantas voluntárias e cultivos comerciais. (GODOY et al., 2006).

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

Segundo Balardin (2010), existe grande expectativa de que as armadilhas caça esporos possam ser ferramentas disponíveis para o manejo econômico e eficiente da ferrugem asiática nas próximas safras. De acordo com Igarashi et al. (2014), o coletor de esporos SIGA mostrou-se viável como sistema de previsão da FAS na detecção dos uredósporos no ar antes de sua infecção efetiva sobre a cultura. Para Iamamoto (2009) e Gardiano et al. (2010), os programas atuais de controle químico da ferrugem asiática da soja deveriam levar em consideração a aplicação preventiva somente após o momento em que o inóculo tenha sido detectado, antes da infecção.

Devido à agressividade dessa doença, o monitoramento contínuo é essencial para que a medida de controle possa ser adotada no momento correto, a fim de se evitar reduções de produtividade. O método de controle, através do uso de fungicidas, só é eficiente quando baseado em um criterioso levantamento e conhecimento da ocorrência da doença em lavouras vizinhas ou na propriedade (YORINORI, 2005).

Para a efetivação dessa estratégia, a utilização de armadilhas caça-esporos instaladas em lavouras propiciaria o acompanhamento do desenvolvimento do inóculo e a elaboração de mapas de previsão de epidemia da doença, podendo alertar tanto técnicos quanto produtores, quanto aos riscos de infecção pela presença do patógeno (DEL PONTE et al., 2004; SILVA; PRABHU, 2005; VON QUALEN; YANG, 2006; ISARD; RUSSO; ARIATTI, 2007; IAMAMOTO, 2009).

### 3 ARTIGO A – ESTIMATIVA DO MOLHAMENTO FOLIAR EM DIFERENTES ALTURAS DO DOSEL DA SOJA A PARTIR DE VARIÁVEIS METEOROLÓGICAS

#### 3.1 RESUMO

Diferentes elementos meteorológicos influenciam a ferrugem asiática da soja (*Phakopsora pachyrhizi* H. Sydow & P. Sydow), sendo a duração do período de molhamento (DPM) o mais importante. No entanto, poucas estações meteorológicas possuem sensores que quantifiquem a DPM, logo, a utilização de modelos de estimativa do molhamento foliar podem ser uma boa alternativa. Baseado nisto, o objetivo deste trabalho foi gerar modelos de estimativa de molhamento foliar em três alturas no dossel da soja, a partir de variáveis meteorológicas de estações instaladas na cultura e no posto agrometeorológico. O experimento foi conduzido em três safras agrícolas, em área experimental com a cultura da soja, no município de Londrina – PR (23°34' S; 51°21' W; 560m de altitude). Para a coleta das variáveis meteorológicas, foi instalada uma estação meteorológica em posto agrometeorológico, e “Árvores Eletrônicas de Molhamento” (AEM) distribuídos na cultura. Foram separados os dados de dias com e sem chuva, sendo feita a análise de correlação e regressões simples e múltiplas, gerando modelos com equações de estimativa de molhamento. As equações que obtiveram coeficiente de determinação ( $R^2$ ) acima de 0,8 a 5% de probabilidade, foram consideradas equações com alta confiabilidade. A maioria das equações dos modelos que não utilizaram os dados dos sensores de molhamento instalados a 1,7 m sobre a soja, apresentaram  $R^2$  abaixo de 0,8, dentre eles, os modelos que utilizam apenas as variáveis do posto agrometeorológico. Os modelos que utilizaram dados coletados na cultura, obtiveram o maior número de equações com alta confiabilidade. Já os modelos gerados para os dias com chuva, apresentaram  $R^2$  menor quando comparadas com as equações dos dias sem chuva. Os modelos Dados Soja e Soja S1,7 m são uma boa alternativa de modelos de estimativa de molhamento, pois apresentam alta confiabilidade com menor quantidade de dados de entrada.

**Palavras-chave:** porcentagem de molhamento foliar; modelos empíricos; sensores de molhamento;

#### 3.2 ABSTRACT

Different weather elements influence the Asian soybean rust (*Phakopsora pachyrhizi* Sydow H. & P. Sydow), and the leaf wetness duration (LWD) is the most important. However, few weather stations have sensors that quantify the LWD, therefore, the use of models of leaf wetness estimation can be a good alternative. Based on this, the objective of this work was to create models of leaf wetness estimations in three heights in soybean canopy, using meteorological variables stations installed in the culture and agro-meteorological station. The experiment was conducted in three agricultural crop seasons in the experimental area with

soybean, at Londrina - PR (23 ° 34 'S, 51 ° 21' W; 560m altitude). To collect meteorological variables, a weather station was installed in agro-meteorological station, and Electronic trees were installed in the culture. The data of days with and without rain were separated, and the correlation analysis was made through simple and multiple regression, generating models for leaf wetness estimations. The equations obtained coefficient of determination ( $R^2$ ) above 0.8 to 5% probability, were considered with high reliability equations. Most of the equations of the models who did not use data from wetness sensors installed 1.7 m on soybean, showed  $R^2$  below 0.8, including the models using only the variables of the agro-meteorological station. The models that used data collected in soybean, obtained the highest number of high reliability equations. Models generated for rain days showed lower  $R^2$  when compared with equations of days without rain. The models Soy Data and Soy S1,7 m are a good alternative of models of leaf wetness estimation, because they present high reliability with less input data.

**Key-words:** percentage of leaf wetness; Empirical models; wetting sensors.

### 3.3 INTRODUÇÃO

A soja tem grande valor sócioeconômico em diversos países do mundo, e a incidência de doenças é um dos fatores que podem afetar sua produção desta commodity. No Brasil, a ferrugem asiática da soja causada pelo patógeno *Phakopsora pachyrhizi*, é a doença mais importante, devido à sua rápida disseminação e ao elevado custo de controle. A intensidade com que a ferrugem da soja ocorre nas lavouras depende de diversos fatores, sendo os meteorológicos os de maior relevância, os elementos meteorológicos.

A temperatura é um dos principais elementos, pois exerce efeito sobre todos os processos epidemiológicos das doenças de plantas, uma vez que controla a velocidade das relações biológicas. O vento e a chuva participam da liberação e da dispersão do inóculo de fungos e bactérias (HUBER; GILLESPIE, 1992). Contudo, de acordo com Vale; Jesus Junior e Zambolim (2004), entre os fatores meteorológicos, a duração do período de molhamento foliar (DPM) é a mais importante para grande parte das doenças de plantas, pois é necessária tanto para o processo de infecção quanto para a esporulação.

Ainda que se considere a DPM como uma das variáveis meteorológicas mais importantes para o manejo de doenças de plantas, a utilização desta medida em cultivos agrícolas é pouco difundida. Mesmo em estações meteorológicas, poucas possuem sensores para medir a DPM e muitas vezes sua operação requer cuidados que se não forem levados em

consideração, podem gerar erros significativos (Monteiro et al., 2002; Almeida & Machado, 2009; Durigon & J. Van Lier, 2013).

Desta forma, a estimativa da DPM baseada em modelos analíticos e empíricos pode ser uma alternativa. Os analíticos, também conhecidos como físicos, são mais complexos e necessitam de muitas variáveis de entrada, dificultando a sua utilização (KIM et al., 2005). Já os modelos empíricos utilizam variáveis meteorológicas e métodos estatísticos para estimar a DPM, e tem como vantagem a facilidade de requerer poucas variáveis em seus modelos. A estimativa da DPM pode ser obtida por modelos empíricos com boa precisão, principalmente se forem calculados por variáveis meteorológicas medidas no local e puderem ser comparados com a DPM real, para a averiguação da sua confiabilidade (CROWE et al., 1978; KIM et al., 2002; SENTELHAS, 2004).

Gleason et al. (1994) apresentaram um modelo empírico de estimativa da DPM, denominado CART/SLD, que considera os dados de velocidade do vento, depressão do ponto de orvalho e umidade relativa do ar. O modelo CART/SLD apresentou estimativas mais precisas e com menor variação do que as estimativas baseadas no limite de NHUR > 90% (GLEASON et al., 1994), sendo considerado um modelo mais consistente do que o modelo desenvolvido por Crowe et al. (1978). Para este modelo empírico, Kim et al. (2002) observaram a possibilidade de utilização em locais distintos, e recomendam que os valores de velocidade do vento sejam corrigidos de acordo com a altura da cultura utilizada.

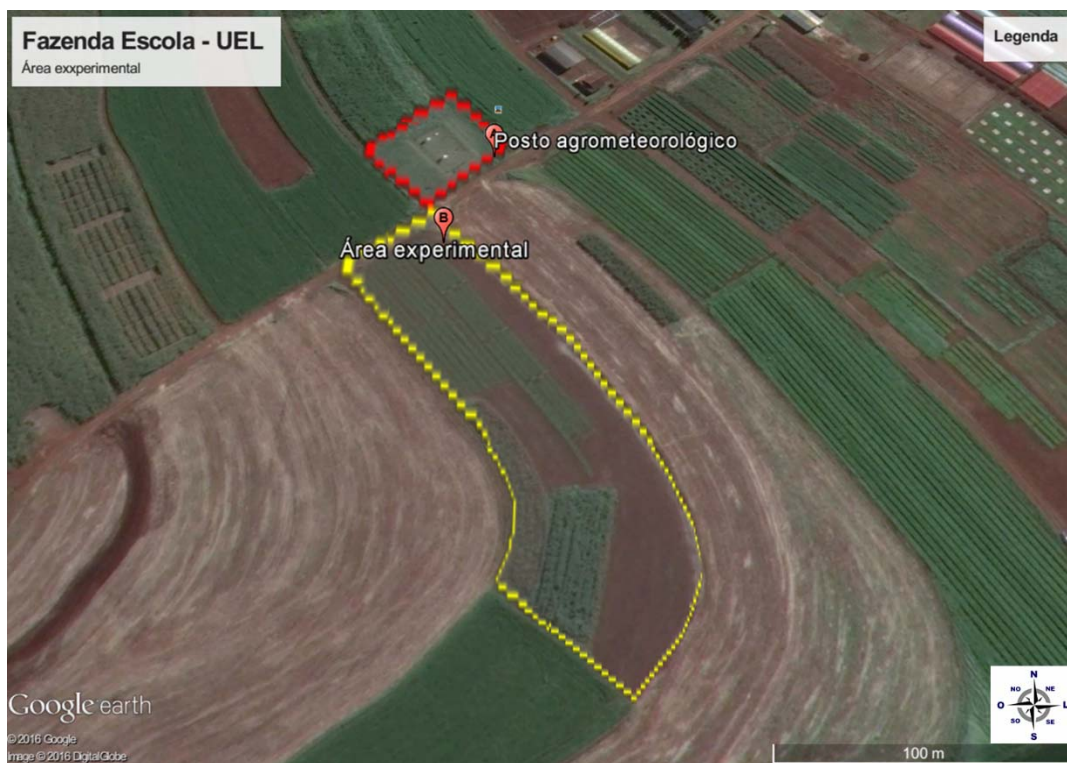
Sentelhas (2004), ao estimar a DPM na cultura do algodão por meio de modelos analíticos e empíricos, observou que o desempenho de modelos empíricos, como os baseados na depressão da temperatura do ponto de orvalho e na umidade relativa do ar, era comparável ao desempenho de modelos mais complexos, como o modelo da resistência aerodinâmica (RES) de Penman-Monteith.

Coletando variáveis meteorológicas nas alturas de 0,5 e 1,7 m em cultura de soja, Tsukahara (2004) verificou melhor desempenho de estimativa da DPM quando utilizou os dados de umidade relativa do ar tomados na altura do dossel da cultura. Esses resultados demonstram que os modelos empíricos, apesar de suas limitações, são uma boa ferramenta para estimativa da DPM, principalmente em locais onde a disponibilidade de dados inviabiliza a utilização de modelos mais complexos. Sendo assim, o objetivo deste trabalho foi gerar modelos de estimativa de porcentagem de molhamento foliar em três alturas no dossel da soja, a partir de variáveis meteorológicas de estações instaladas na cultura e no posto agrometeorológico.

### 3.4 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.4.1 Instalação e condução do experimento

Os experimentos foram conduzidos em três safras agrícolas (2011/12; 2012/13; 2013/14), na área experimental da Fazenda Escola da Universidade Estadual de Londrina (UEL), no município de Londrina – PR, localizado à latitude  $23^{\circ}34'23''$  S e longitude  $51^{\circ}21'24''$  W, com altitude de 560 m (Figura 3.1), em Latossolo Vermelho eutroférico (EMBRAPA, 2013). De acordo com a classificação climática de Köppen, o clima da região é do tipo Cfa, com temperatura média do ar anual de  $21,1^{\circ}\text{C}$  e precipitação média anual acumulada de 1605 mm (IAPAR, 2015).



**Figura 3.1** - Posto agrometeorológico e área experimental localizado na Fazenda Escola da Universidade Estadual de Londrina (Fonte: Google Earth, 2016).

Foi utilizado o cultivar BMX Potência RR, recomendada para as regiões produtoras do norte do Paraná, cujas principais características são apresentadas na Tabela 3.1.

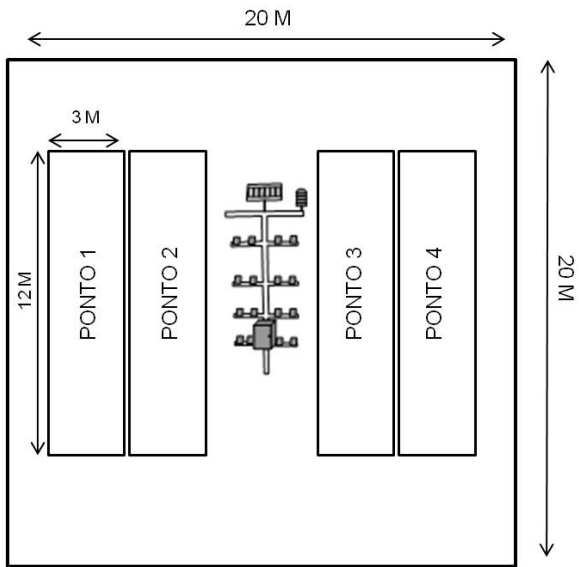
**Tabela 3.1** - Principais características da cultivar de soja BMX Potência RR

Características	BMX Potência RR
Ciclo médio(dias)	120 dias
Ciclo (classificação)	Semiprecoce
Hábito de crescimento	Indeterminado
Cor da flor	Branca
Cor da pubescência	Cinza
Cor do hilo	Marrom claro
Peso médio (1000 sementes)	168 (g)
Época de semeadura recomendada	15 de outubro a 30 de novembro
Reação à Cancro da haste	Resistente
Reação à Mancha olho de rã	Mediamente resistente
Reação à Pústula bacteriana	Suscetível
Reação à Crestamento bacteriano	Suscetível
Reação à Podridão parda da haste	Suscetível

Fonte: BRASMAX (2012).

A área experimental adota o sistema de plantio direto, e foi precedida pela cultura de trigo. O cultivar de soja Potência RR foi semeada dentro da época recomendada com espaçamento entrelinhas de 0,45 m e 19 pl. m<sup>-1</sup>, com 300 kg ha<sup>-1</sup> de adubação de base do fertilizante NPK (0-20-20). O acompanhamento dos estádios das plantas de soja fundamentou-se na escala fenológica da soja elaborada e divulgada por Fehr e Caviness (1977), revisada por Ritchie et al. (1994). Quando necessário, foram adotados os tratamentos culturais e controles fitossanitários recomendados para a cultura de soja.

Foram determinadas quatro parcelas com 20 m de largura e comprimento (Figura 3.2), sendo instaladas no centro de cada parcela “Árvores Eletrônicas de Molhamento” (AEM) (MOREIRA et al, 2011; GUEDES et al., 2013) quando a soja encontrava-se entre os estádios V6 e V8. As AEM possuem 16 sensores eletrônicos de molhamento distribuídos em quatro alturas (0,3; 0,6; 0,9 e 1,7 m), e um sensor de temperatura e umidade relativa do ar na altura de 1,7 m em abrigo meteorológico (Figura 3.3). Os sensores passaram por duas demãos de tinta látex e por tratamento térmico, conforme indicado por Lau et al., (2000) e Sentelhas, Monteiro e Gillespie, (2004), e posicionado com ângulo de 45°. No Posto Agrometeorológico (Figura 3.1), distante 50 metros ao norte do experimento, sobre o gramado, foi instalada uma estação meteorológica da marca Oregon Scientific<sup>TM</sup> modelo WMR200A (Figura 3.4). Esta estação possui sensores de temperatura do ar, umidade relativa do ar, direção e velocidade do vento, e um pluviógrafo.



**Figura 3.2** - Esquema demonstrativo da parcela



**Figura 3.3** - Árvore Eletrônica de Molhamento na cultura. **Figura 3.4** – Estação meteorológica no posto agrometeorológico.

### 3.4.2 Variáveis medidas

As variáveis meteorológicas foram medidas no posto agrometeorológico (estação meteorológica) e na cultura da soja (“Árvores Eletrônicas de molhamento”), automaticamente a cada cinco minutos durante os estádios fenológicos R1 e R6 da soja, quando a cultura estava com o dossel mais fechado. Foram medidas as seguintes variáveis meteorológicas:

- Posto agrometeorológico: umidade relativa média do ar (%); temperatura média do ar (°C); temperatura média mínima do ar (°C); velocidade média do vento (km/h) e velocidade máxima do vento (km/h), todas a 1,7 m.
- Cultura da soja: umidade relativa média do ar a 1,7 m (%); temperatura média do ar a 1,7 m (°C) e porcentagem do molhamento foliar (PMF) (%) com quatro sensores por altura (0,3; 0,6; 0,9 e 1,7 m).

### 3.4.3 Análise dos dados

A medição das variáveis coletadas no posto agrometeorológico e na cultura da soja ocorreu a cada cinco minutos e foram transformadas em média por hora, sendo selecionados os dados dos dias sem e com chuva para caracterizar o molhamento foliar originário do orvalho e da precipitação. No total foram utilizados 1.920 dados/hora dos dias sem chuva, e 1.764 dados/hora dos dias com chuva. Estes dados foram submetidos à análise estatística descritiva para verificação da presença de pontos discrepantes (outliers) e sua influência quanto às medidas de posição e dispersão, antes de submetê-las à análise de correlação. Foram realizadas as análises de medidas de posição (média e mediana) e medidas de dispersão (valores máximos e mínimos, desvio padrão e coeficiente de variação).

Para todas as variáveis coletadas no posto agrometeorológico e na cultura da soja foram analisados os coeficientes de correlação, por meio da análise de correlação; análise do coeficiente de determinação ( $R^2$ ), do coeficiente de determinação ajustado e do resultado do teste F (Fisher), por meio da regressão simples e regressão linear múltipla, para identificar a existência ou não de correlação. Nesta análise buscou-se encontrar modelos

estatísticos que pudessem ser usados para estimar a PMF nas alturas de 0,3 m, 0,6 m e 0,9 m na cultura da soja a partir de variáveis meteorológicas.

Para o processo de exclusão do número de variáveis explicativas a serem considerados no ajuste do modelo de regressão múltipla, foi utilizado o método passo-a-passo stepwise backward. Portanto, somente as variáveis significativas foram utilizadas nas equações. Os modelos de estimativa do molhamento foliar gerados foram denominados de Dados Gerais (com a utilização das variáveis obtidas no posto agrometeorológico e na cultura), Dados Padrão e Básicos (com as variáveis coletadas apenas no posto agrometeorológico), Dados Soja e Soja S1,7 m (com as variáveis coletadas apenas na cultura) (Tabela 3.2).

Como a PMF é medida por hora, é possível obter a DPM por dia. As equações que obtiveram coeficiente de determinação ( $R^2$ ) maior ou igual de 0,8 a 5% de probabilidade, foram consideradas com alta confiabilidade, pois as variáveis das equações foram significativas pela análise de correlação de Pearson, com p-valor abaixo de  $2,2 \cdot 10^{-16}$ . Com o valor de  $R^2$  é possível determinar o quanto o modelo explica do total de variação dos dados e quanto é consequência do resíduo. Já o p-valor contribui para determinar a probabilidade do nível de significância do resultado, pois quanto menor o p-valor, maior a evidência de que existem diferenças e que o modelo é adequado.

Para a tabulação, análise da estatística descritiva e exploratória utilizou-se o software Excel e software R versão 3.0.2 com o pacote R commander (Rcmdr versão 2.1-7).

**Tabela 3.2** – Modelos de estimativa de molhamento foliar gerados a partir de variáveis coletadas em Posto agrometeorológico e na cultura de soja.

Modelos	Posto Agrometeorológico					Cultura da Soja		
	Tmed 1,7 m	Tmin 1,7 m	UR 1,7 m	Vmax 1,7 m	Vmed 1,7 m	Tmed 1,7 m	Tmin 1,7 m	S1,7 m
Dados Gerais	x	x	x	x	x	x	x	
Dados Gerais + PMF 1,7 m	x	x	x	x	x	x	x	x
Dados Padrão	x	x	x	x	x			
Dados Básicos		x	x		x			
Dados Soja						x	x	x
Soja S1,7 m								x

Tmed=temperatura média; Tmin=temperatura média mínima; UR=umidade relativa; Vmax=vento máximo; Vmed=vento médio; PMF 1,7m=porcentagem de molhamento foliar a 1,7m.

### 3.5 RESULTADOS

#### 3.5.1 Análise de dados

Nas Tabelas 3.3 e 3.4 são apresentadas as variáveis meteorológicas que foram submetidas à análise estatística descritiva, para os dias sem e com chuva.

**Tabela 3.3** – Análise estatística descritiva das variáveis meteorológicas medidas no Posto Agrometeorológico e na Cultura da Soja em dias sem chuva.

	Variáveis	Média	Mediana	s	Máximo	Mínimo	CV
Posto Agrometeorológico	Tmed 1,7 m	25,89	24,74	5,54	39,92	14,73	0,21
	Tmin 1,7 m	25,11	23,90	5,26	39,40	14,50	0,21
	UR 1,7 m	69,39	72,00	20,48	98,42	23,50	0,30
	Vmax 1,7 m	8,49	7,56	4,46	25,92	0,00	0,52
	Vmed 1,7 m	5,67	5,04	3,65	18,07	0,00	0,64
Cultura da Soja	S0,3 m	28,54	24,67	27,35	91,25	0,00	0,96
	S0,6 m	30,68	22,19	30,25	97,10	0,00	0,99
	S0,9 m	26,67	15,12	28,65	94,64	0,00	1,07
	S1,7 m	18,96	8,25	22,33	80,00	0,00	1,18
	Tmed 1,7 m	24,35	23,89	4,64	36,71	14,37	0,19
	UR 1,7 m	76,29	79,35	14,38	98,92	31,96	0,19

Tmed=temperatura média; Tmin=temperatura média mínima; UR=umidade relativa; Vmax=vento máximo; Vmed=vento médio; S0,3 m=sensor de molhamento foliar a 0,3 m; S0,6 m=sensor de molhamento foliar a 0,6 m; S0,9 m=sensor de molhamento foliar a 0,9 m; S1,7 m=sensor de molhamento foliar a 1,7 m; s=desvio padrão; CV=coeficiente de variação.

**Tabela 3.4** – Análise estatística descritiva das variáveis meteorológicas medidas no Posto Agrometeorológico e na Cultura da Soja em dias com chuva.

	Variáveis	Média	Mediana	s	Máximo	Mínimo	CV
Posto Agrometeorológico	Tmed 1,7 m	24,40	22,85	4,39	38,35	17,13	0,18
	Tmin 1,7 m	23,72	22,40	4,04	37,50	16,60	0,17
	UR 1,7 m	81,14	87,92	16,68	99,00	31,92	0,21
	Vmax 1,7 m	8,70	7,56	4,96	33,48	0,00	0,57
	Vmed 1,7 m	5,57	4,75	3,70	21,43	0,00	0,66
Cultura da Soja	S0,3 m	41,55	48,91	28,84	96,14	0,00	0,69
	S0,6 m	42,67	49,38	31,76	98,86	0,00	0,74
	S0,9 m	34,91	35,43	29,32	92,32	0,00	0,84
	S1,7 m	27,74	23,47	25,03	96,67	0,00	0,90
	Tmed 1,7 m	23,11	22,05	3,68	34,64	16,69	0,16
	UR 1,7 m	83,93	86,71	11,19	99,00	43,46	0,13

Tmed=temperatura média; Tmin=temperatura média mínima; UR=umidade relativa; Vmax=vento máximo; Vmed=vento médio; S0,3 m= sensor de molhamento foliar a 0,3 m; S0,6 m=sensor de molhamento foliar a 0,6 m; S0,9 m=sensor de molhamento foliar a 0,9 m; S1,7 m=Sensor de molhamento foliar a 1,7 m; s=desvio padrão; CV=coeficiente de variação.

Nas tabelas 3.5 e 3.6 são apresentadas as matrizes de correlação das variáveis meteorológicas medidas no posto agrometeorológico e na cultura da soja, para os dias sem e com chuva. Segundo Jakob (1999), essas análises de correlações mostram os atributos que podem ser representados por outros sem muita perda de informação. Assim, os atributos com correlação maior que 0,9 podem ser representados por apenas um atributo, os outros podem ser desconsiderados sem perda de informação significativa.

Sabe-se que uma perfeita correlação entre duas variáveis deve possuir um coeficiente de correlação ( $r$ ) igual a 1,0 (correlação direta) ou -1,0 (correlação inversa). Tal situação, na prática, torna-se praticamente impossível. Assim, os valores de tal coeficiente foram classificados de acordo com o proposto por Kitamura (2004) como: a) extra-alto: se  $0,80 \leq r \leq 1,00$  ou  $-0,80 \geq r \leq -1,0$ ; b) alto: se  $0,60 \leq r < 0,80$  ou  $-0,60 \geq r < -0,80$ ; c) moderado: se  $0,40 \leq r < 0,60$  ou  $-0,40 \geq r < -0,60$ ; d) baixo: se  $0,20 \leq r < 0,40$  ou  $-0,20 \geq r < -0,40$ ; e e) nulo: se  $0,0 \leq r < 0,20$  ou  $-0,0 \geq r < 0,20$ . Segundo o mesmo autor, uma excelente correlação linear entre duas variáveis deve possuir um coeficiente de correlação com valores, no mínimo, superior a +0,60 (correlação positiva) e -0,60 (correlação negativa).

**Tabela 3.5** – Matriz de correlação entre as variáveis médias no Posto Agrometeorológico e na Cultura da Soja em dias sem chuva.

	Variáveis	Posto Agrometeorológico					Cultura da Soja					
		Tmed 1,7 m	Tmin 1,7 m	UR 1,7 m	Vmax 1,7 m	Vmed 1,7 m	S0,3 m	S0,6 m	S0,9 m	S1,7 m	Tmed 1,7 m	UR 1,7 m
Posto Agrometeorológico	Tmed 1,7 m	1,00	0,99	-0,93	0,44	0,40	-0,84	-0,84	-0,80	-0,75	0,97	-0,87
	Tmin 1,7 m		1,00	-0,92	0,44	0,41	-0,83	-0,83	-0,79	-0,73	0,96	-0,86
	UR 1,7 m			1,00	-0,47	-0,44	0,84	0,84	0,79	0,73	-0,90	0,94
	Vmax 1,7 m				1,00	0,94	-0,56	-0,58	-0,54	-0,47	0,43	-0,44
	Vmed 1,7 m					1,00	-0,54	-0,58	-0,54	-0,47	0,40	-0,41
Cultura da Soja	S0,3 m						1,00	0,98	0,94	0,88	-0,84	0,76
	S0,6 m							1,00	0,96	0,90	-0,84	0,75
	S0,9 m								1,00	0,95	-0,80	0,69
	S1,7 m									1,00	-0,75	0,62
	Tmed 1,7 m										1,00	-0,90
	UR 1,7 m											1,00

Tmed=temperatura média; Tmin=temperatura média mínima; UR=umidade relativa; Vmax=vento máximo; Vmed=vento médio; S0,3 m= sensor de molhamento foliar a 0,3 m; S0,6 m=sensor de molhamento foliar a 0,6 m; S0,9 m=sensor de molhamento foliar a 0,9 m; S1,7 m=Sensor de molhamento foliar a 1,7 m. Todas as correlações foram significativas ao nível de 5% de probabilidade ( $p < 0,001$ ).

**Tabela 3.6** – Matriz de correlação entre as variáveis médias no Posto Agrometeorológico e na Cultura da Soja em dias com chuva.

Variáveis	Posto Agrometeorológico					Cultura da Soja						
	Tmed 1,7 m	Tmin 1,7 m	UR 1,7 m	Vmax 1,7 m	Vmed 1,7 m	S0,3 m	S0,6 m	S0,9 m	S1,7 m	Tmed 1,7 m	UR 1,7 m	
Posto Agrometeorológico	Tmed 1,7 m	1,00	0,99	-0,93	0,29	0,29	-0,82	-0,82	-0,79	-0,75	0,96	-0,85
	Tmin 1,7 m		1,00	-0,91	0,26	0,28	-0,81	-0,81	-0,77	-0,73	0,96	-0,85
	UR 1,7 m			1,00	-0,32	-0,32	0,83	0,84	0,80	0,77	-0,89	0,87
	Vmax 1,7 m				1,00	0,93	-0,35	-0,38	-0,35	-0,34	0,29	-0,26
	Vmed 1,7 m					1,00	-0,38	-0,40	-0,38	-0,37	0,29	-0,26
Cultura da Soja	S0,3 m					1,00	0,96	0,89	0,85	-0,82	0,75	
	S0,6 m						1,00	0,95	0,90	-0,83	0,73	
	S0,9 m							1,00	0,94	-0,79	0,67	
	S1,7 m								1,00	-0,76	0,65	
	Tmed 1,7 m									1,00	-0,88	
	UR 1,7 m										1,00	

Tmed=temperatura média; Tmin=temperatura média mínima; UR=umidade relativa; Vmax=vento máximo; Vmed=vento médio; S0,3 m= sensor de molhamento foliar a 0,3 m; S0,6 m=sensor de molhamento foliar a 0,6 m; S0,9 m=sensor de molhamento foliar a 0,9 m; S1,7 m=Sensor de molhamento foliar a 1,7 m. Todas as correlações foram significativas ao nível de 5% de probabilidade ( $p < 0,001$ ).

### 3.5.2 Estimativa da porcentagem de molhamento foliar (PMF)

#### 3.5.2.1 Dias sem chuva

Com base nas variáveis meteorológicas coletados em três safras, em dias sem chuva, foram geradas equações para estimar o molhamento foliar, por regressões lineares simples e múltiplas, apresentadas nas Tabelas 3.7, 3.8 e 3.9. Na Tabela 3.7 temos os modelos 1 e 2, nos quais foram utilizados maior quantidade de variáveis meteorológicas, coletados em estação meteorológica (posto agrometeorológico gramado) e nas AEM (cultura de soja). No modelo 1 chamado de Dados Gerais, as equações 1 e 2 (alturas 0,3 e 0,6 m) apresentaram alta confiabilidade, pois apresentaram equação com o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) acima de 0,8 a 5% de probabilidade, com apenas a equação 3 (altura de 0,9 m), apresentando  $R^2$  abaixo deste valor. No modelo 2 foram inseridos os dados de molhamento foliar coletados a 1,7 m na soja, sendo chamado de Dados Gerais + S1,7 m, e teve o intuito de melhorar o  $R^2$  modelo 1. Deste modo, foi possível aumentar a confiabilidade das equações das três alturas, fazendo com que as alturas de 0,6 e 0,9 m apresentassem  $R^2$  acima de 0,9.

**Tabela 3.7** - Modelo Dados Gerais e Dados Gerais + S1,7 m em dias sem chuva.

		Equações de Regressão Linear Múltipla	$R^2$	p-valor
1	Dados Gerais	1 PMF (0,3 m)= 127,54954 - 6,24579X2 + 2,96710X3 + 1,33636X4 - 1,37747X5 - 1,59242X7	0,83	<0,0001
		2 PMF (0,6 m)= 147,91539 - 6,98593X2 + 3,32035X3 + 1,47015X4 - 1,57807X5 - 2,13025X7	0,84	<0,0001
		3 PMF (0,9 m)= 177,17620 - 8,00164X2 + 3,81110X3 + 1,47731X4 - 1,89404X5 + 0,68229X6 - 1,83347X7	0,79	<0,0001
2	Dados Gerais + S1,7 m	4 PMF (0,3 m)= 47,98549 - 2,61945X2 + 1,11239X3 + 0,61727X4 - 0,40517X5 - 0,99359X7 + 0,53482X8	0,88	<0,0001
		5 PMF (0,6 m)= 50,13201 - 2,52919X2 + 1,04093X3 + 0,58639X4 - 0,38313X5 - 1,39430X7 + 0,65728X8	0,90	<0,0001
		6 PMF (0,9 m)= 38,31986 - 1,60554X2 + 0,54198X3 + 0,21463X4 - 0,19071X5 + 0,25791X6 - 1,14043X7 + 0,93820X8	0,94	<0,0001

PMF=Porcentagem de molhamento foliar; X1=temperatura média do ar no posto agrometeorológico; X2=temperatura do ar na cultura; X3=temperatura mínima do ar no posto agrometeorológico; X4=umidade relativa do ar no posto agrometeorológico; X5=umidade relativa do ar na cultura; X6=vento máxima no posto agrometeorológico; X7=vento médio no posto agrometeorológico; X8=porcentagem de molhamento foliar a 1,7 m na cultura.

Na Tabela 3.8, são apresentados os modelos 3 e 4 (Dados Padrão e Dados Básicos), que são modelos com variáveis meteorológicas coletados apenas em posto agrometeorológico. Estes modelos foram gerados para estimar a porcentagem de molhamento foliar com variáveis frequentemente obtidos em estações meteorológicas, porém, não apresentaram confiabilidade alta. As equações geradas para as alturas de 0,3 e 0,6 m para os dois modelos, obtiveram  $R^2$  próximo a 0,8, mas por estarem abaixo deste valor, não possuem confiabilidade suficiente para estimar a porcentagem de molhamento foliar.

**Tabela 3.8** - Modelo Dados Padrão e Dados Básicos em dias sem chuva.

		Equações de Regressão Linear Múltipla	$R^2$	p-valor
3	Dados Padrão	1 PMF (0,3 m)= 67,10633 - 5,39906X1 + 3,27491X3 + 0,41065X4 - 1,67444X7	0,78	<0,0001
		2 PMF (0,6 m)= 79,23311 - 6,06410X1 + 3,69005X3 + 0,40955X4 - 2,22394X7	0,79	<0,0001
		3 PMF (0,9 m)= 9621120 - 7,04302X1 +4,33005X3 + 0,20289X4 + 0,67379X6 - 1,9488X7	0,71	<0,0001
4	Dados Básicos	4 PMF (0,3 m)= 42,30313 - 1,79715X3 + 0,57961X4 - 1,56077X7	0,77	<0,0001
		5 PMF (0,6 m)= 51,37474 - 2,00677X3 + 0,59932X4 - 2,09627X7	0,77	<0,0001
		6 PMF (0,9 m)= 65,24187 - 2,26839X3 + 0,41771X4 - 1,86773X7	0,69	<0,0001

PMF=Porcentagem de molhamento foliar; X1=temperatura média do ar no posto agrometeorológico; X2=temperatura do ar na cultura; X3=temperatura mínima do ar no posto agrometeorológico; X4=umidade relativa do ar no posto agrometeorológico; X5=umidade relativa do ar na cultura; X6=vento máxima no posto agrometeorológico; X7=vento médio no posto agrometeorológico; X8=porcentagem de molhamento foliar a 1,7 m na cultura.

Nos modelos 5 e 6 da Tabela 3.9, foram geradas equações a partir de regressões múltiplas e simples, com variáveis obtidas somente na cultura de soja (“Árvore de Molhamento Foliar”). O modelo 5 (Dados Soja) gerado a partir de regressão linear múltipla, apresentou equações com alta confiabilidade nas três alturas, sendo que a 0,9 m a equação apresentou  $R^2$  acima de 0,9. No modelo 6 (Soja S1,7 m) gerado a partir de regressão linear simples, somente a equação que representa a altura de 0,3 m não obteve alta confiabilidade, com  $R^2$  abaixo de 0,8. Em contrapartida, a equação que representa a altura de 0,9 m obteve  $R^2$  acima de 0,9, mesmo sendo gerada somente com os dados de molhamento foliar obtida a 1,7 m na soja.

**Tabela 3.9** - Modelo Dados Soja e Soja S1,7 m em dias sem chuva.

Equações de Regressão Linear Simples e Múltipla		R <sup>2</sup>	p-valor
5	Dados Soja		
	1 PMF (0,3 m)= 21,95868 - 1,38547X2 + 0,34909X5 + 0,72227X8	0,86	<0,0001
	2 PMF (0,6 m)= 16,44007 - 1,27356X2 + 0,37750X5 + 0,86804X8	0,87	<0,0001
	3 PMF (0,9 m)= 19,27378 - 0,88018X2 + 0,11950X5 + 1,04020X8	0,93	<0,0001
6	S1,7 m		
	4 PMF (0,3 m)= 8,10063 + 1,07836X8	0,77	<0,0001
	5 PMF (0,6 m)= 7,58987 + 1,21806X8	0,81	<0,0001
	6 PMF (0,9 m)= 3,444349 + 1,225426X8	0,91	<0,0001

PMF=Porcentagem de molhamento foliar; X1=temperatura média do ar no posto agrometeorológico; X2=temperatura do ar na cultura; X3=temperatura mínima do ar no posto agrometeorológico; X4=umidade relativa do ar no posto agrometeorológico; X5=umidade relativa do ar na cultura; X6=vento máxima no posto agrometeorológico; X7=vento médio no posto agrometeorológico; X8=porcentagem de molhamento foliar a 1,7 m na cultura.

### 3.5.2.2 Dias com chuva

Com base nas variáveis meteorológicas coletadas em três safras, em dias com chuva, foram geradas equações lineares simples e múltiplas, apresentadas nas Tabelas 3.10, 3.11 e 3.12. Na Tabela 3.10 temos os modelos 7 e 8, com maior quantidade de variáveis meteorológicas, gerados por regressão linear múltipla. No modelo 7 (Dados Gerais), as equações geradas para as três alturas apresentaram o R<sup>2</sup> abaixo de 0,8, não sendo equações consideradas com alta confiabilidade. No modelo 8 (Dados Gerais + S1,7 m), no qual foram inseridos dados de porcentagem de molhamento foliar na altura de 1,7 m na soja, a confiabilidade das equações melhorou, com as equações das três alturas acima de 0,8. A equação que representa a altura de 0,9 m expressou R<sup>2</sup> de 0,91 a 5% de probabilidade, mostrando alta confiabilidade.

**Tabela 3.10** - Modelo Dados Gerais e Dados Gerais + S1,7 m em dias com chuva.

		Equações de Regressão Linear Múltipla	R <sup>2</sup>	p-valor
7	Dados Gerais	1 PMF (0,3 m)= 51,52725 - 4,41955X2 + 1,42553X3 + 0,91607X4 - 0,15259X5 + 1,08750X6 - 2,27106X7	0,74	<0,0001
		2 PMF (0,6 m)= 80,24948 - 6,08890X2 + 2,50053X3 + 1,27673X4 - 0,66172X5 + 1,31052X6 - 2,80992X7	0,78	<0,0001
		3 PMF (0,9 m)= 106,44939 - 6,79510X2 + 2,90822X3 + 1,18250X4 - 0,90987X5 + 1,41759X6 - 2,76769X7	0,72	<0,0001
8	Dados Gerais + S1,7 m	4 PMF (0,3 m)= 10,26596 - 1,38294X2 + 0,34842X4 + 0,25685X5 + 0,45553X6 - 1,02902X7	0,82	<0,0001
		5 PMF (0,6 m)= 25,06817 + 0,86709X1 - 2,37630X2 + 0,58684X4 - 0,15772X5 + 0,45321X6 - 1,16008X7	0,88	<0,0001
		6 PMF (0,9 m)= 40,39236 - 1,90715X2 + 0,60264X3 + 0,26998X4 - 0,25216X5 + 0,40093X6 - 0,77167X7	0,91	<0,0001

PMF=Porcentagem de molhamento foliar; X1=temperatura média do ar no posto agrometeorológico; X2=temperatura do ar na cultura; X3=temperatura mínima do ar no posto agrometeorológico; X4=umidade relativa do ar no posto agrometeorológico; X5=umidade relativa do ar na cultura; X6=vento máxima no posto agrometeorológico; X7=vento médio no posto agrometeorológico; X8=porcentagem de molhamento foliar a 1,7 m na cultura.

Os modelos da Tabela 3.11 foram gerados a partir de regressão linear múltipla, de variáveis coletadas em estação meteorológica. Estes modelos apresentaram R<sup>2</sup> abaixo de 0,8 em todas as alturas, demonstrando a menor confiabilidade destas equações. As equações geradas a 0,6 m de altura para os modelos Dados Padrão e Básicos, foram as equações que apresentaram maior R<sup>2</sup> (0,74).

**Tabela 3.11** - Modelo Dados Padrão Dados Básicos em dias com chuva.

		Equações de Regressão Linear Múltipla	R <sup>2</sup>	p-valor
9	Dados Padrão	1 PMF (0,3 m)= 30,37948 - 2,17291X1 + 0,84028X4 + 0,81604X6 - 1,99454X7	0,72	<0,0001
		2 PMF (0,6 m)= 15,28498 - 2,04430X1 + 1,02122X4 + 0,87211X6 - 2,37127X7	0,74	<0,0001
		3 PMF (0,9 m)= 26,0749 - 3,9827X1 + 1,9503X3 + 0,7892X4 + 1,0743X6 - 2,4524X7	0,67	<0,0001
10	Dados Básicos	4 PMF (0,3 m)= 27,24802 - 2,17615X3 + 0,88124X4 - 1,00303X7	0,72	<0,0001
		5 PMF (0,6 m)= 9,0681 - 1,9626X3 + 1,0776X4 - 1,3087X7	0,74	<0,0001
		6 PMF (0,9 m)= 12,95904 - 1,88796X3 + 0,90155X4 - 1,15320X7	0,66	<0,0001

PMF=Porcentagem de molhamento foliar; X1=temperatura média do ar no posto agrometeorológico; X2=temperatura do ar na cultura; X3=temperatura mínima do ar no posto agrometeorológico; X4=umidade relativa do ar no posto agrometeorológico; X5=umidade relativa do ar na cultura; X6=vento máxima no posto agrometeorológico; X7=vento médio no posto agrometeorológico; X8=porcentagem de molhamento foliar a 1,7 m na cultura.

Na Tabela 3.12 temos os modelos 11 e 12, os quais usam as variáveis coletadas na cultura de soja. O modelo 11 foi gerado a partir de regressão linear múltipla, e as equações das três alturas obtiveram alta confiabilidade, com a altura de 0,9 m com R<sup>2</sup> acima 0,9. No modelo 12, gerado por regressão linear simples, somente a equação da altura de 0,3 m ficou com o R<sup>2</sup> abaixo de 0,8, sendo que as alturas de 0,6 e 0,9 m obtiveram equações com alta confiabilidade.

**Tabela 3.12** - Modelo Dados Soja e Soja S1,7 m em dias com chuva.

Equações de Regressão Linear Simples e Múltipla		R <sup>2</sup>	p-valor	
11	Dados Soja	1 PMF (0,3 m)= 27,46739 - 1,87760X2 + 0,47607X5 + 0,62322X8	0,81	<0,0001
		2 PMF (0,6 m)= 57,17362 - 2,32626X2 + 0,19541X5 + 0,81299X8	0,86	<0,0001
		3 PMF (0,9 m)= 55,90168 - 1,69465X2 - 0,09315X5 + 0,92460X8	0,91	<0,0001
12	S1,7 m	4 PMF (0,3 m)= 14,48372 + 0,96282X8	0,73	<0,0001
		5 PMF (0,6 m)= 11,12872 + 1,12187X8	0,82	<0,0001
		6 PMF (0,9 m)= 4,46975 + 1,08283X8	0,89	<0,0001

PMF=Porcentagem de molhamento foliar; X1=temperatura média do ar no posto agrometeorológico; X2=temperatura do ar na cultura; X3=temperatura mínima do ar no posto agrometeorológico; X4=umidade relativa do ar no posto agrometeorológico; X5=umidade relativa do ar na cultura; X6=vento máxima no posto agrometeorológico; X7=vento médio no posto agrometeorológico; X8=porcentagem de molhamento foliar a 1,7 m na cultura.

### 3.6 DISCUSSÃO

Analisando as equações geradas a partir de dias com e sem chuva, podemos observar que os modelos 1, 3, 4, 7, 9 e 10, nos quais os dados de porcentagem de molhamento medidos a 1,7 m na soja (S1,7 m) não foram utilizados, apresentaram em sua maioria coeficiente de determinação (R<sup>2</sup>) abaixo de 0,8, com exceção da equação 1 nas alturas de 0,3 m e 0,6 m. Destas equações a 3, 4, 9 e 10 utilizaram variáveis coletadas apenas em posto agrometeorológico (temperatura média e mínima do ar; umidade relativa do ar; velocidade do vento máxima e média), e todas obtiveram R<sup>2</sup> abaixo de 0,8. Estes resultados demonstram que os modelos que utilizam variáveis obtidas frequentemente em posto agrometeorológico, não tem boa confiabilidade para a estimativa da PMF. Amador (1987) e Sentelhas (1994), também geraram equações utilizando variáveis de estações meteorológicas, obtendo R<sup>2</sup> de 0,55 e 0,34, respectivamente, ambos abaixo de 0,8. Outro aspecto importante, é que nos modelos que não utilizaram os dados do sensor de molhamento a 1,7 m, apresentaram R<sup>2</sup> maior nos terços inferior e médio (0,3 e 0,6 m), demonstrando que as variáveis utilizadas para gerar estas equações, representam melhor o microclima do dossel da soja do que o ambiente exposto à atmosfera (0,9 m), onde há influência de uma maior quantidade de variáveis.

A utilização dos dados do sensor de molhamento a 1,7 m nos modelos 2, 5, 6, 8, 11 e 12, proporcionou às equações o aumento do coeficiente de determinação ( $R^2$ ) acima de 0,8, com exceção da altura de 0,3 m nos modelos 6 e 12. Estes modelos demonstram que, com a utilização de dados de PMF na altura de 1,7 m sobre a cultura da soja, possibilitou obter modelos com alta confiabilidade. Tsukahara (2004), também observou melhor desempenho de estimativa da DPM na cultura da soja, quando utilizou variáveis tomadas diretamente da cultura.

Neste caso, torna-se conveniente a utilização dos modelos 5 e 11 (Dados Soja) por apresentaram alta confiabilidade nas equações em todas as alturas a 5% de probabilidade, com dados obtidos nas AEM instaladas na cultura, onde foram coletados dados de temperatura e umidade relativa do ar e porcentagem de molhamento foliar, todos na altura de 1,7 m. Os modelos 6 e 12 (Soja S1,7 m) também obtiveram alta confiabilidade para as equações das alturas de 0,6 m e 0,9 m, sendo geradas por regressão linear simples, com apenas a utilização de dados do sensor de molhamento a 1,7 m. Este modelo seria uma boa alternativa para o modelo NHUR>90% (número de horas com umidade relativa do ar acima de 90%), já que alguns autores relatam que os resultados deste modelo são contraditórios (GLEASON et al., 1994; WITTICH, 1995; COSTA et al., 2002; TSUKAHARA, 2004; ANDRADE-PIEDRA et al., 2005). Entretanto, os modelos 6 e 12 devem ser testados em outras localidades, para verificar a universalidade do modelo.

Também seria necessário a instalação na cultura de estações meteorológicas que tivessem sensores de molhamento foliar a 1,7 m de altura. Com sensores de molhamento instalados em uma posição fixa, é possível ajustar os valores de DPM por coeficientes empíricos, em mais de uma altura dentro do dossel da cultura, conforme também foi descrito por Sentelhas (2004). Da mesma forma, observou-se que a utilização dos dados do sensor a 1,7 m aumentou o  $R^2$  principalmente no terço superior (0,9 m), tendo uma menor influência sobre o terço médio e inferior, já que este sensor está instalado em ambiente exposto à atmosfera, representando melhor este ambiente tanto em dias com e sem chuva.

Considerando-se os modelos gerados neste trabalho, pode-se determinar que as equações com dados dos dias sem chuva possuem maior aplicabilidade do que as dos dias com chuva, pois o orvalho é um fenômeno físico mais difícil de ser quantificado (WALLIN, 1967; GETZ, 1991). Já a chuva, pode ser visualizada e quantificada mais facilmente, podendo representar o molhamento foliar na planta inteira. De acordo com Schmitz & Grant (2009), a chuva proporciona molhamento foliar imediato e mais longo do que o orvalho, sendo fonte de

água predominante do terço inferior da cultura da soja, já que o molhamento proporcionado pelo orvalho é menor nesta parte da planta. Apesar disso, os mesmos autores afirmam que os eventos de orvalho disseminam mais facilmente os uredósporos da *P. pachyrhizi* do terço médio ao terço superior da planta, quando já há o inóculo na área.

Outro fato importante, é que equações geradas para os dias com chuva apresentam o coeficiente de determinação menor quando comparadas com as equações dos dias sem chuva, tendo menor confiabilidade. Sentelhas (2004) relata que tanto nos modelos analíticos como nos empíricos, há menor eficiência nos dias chuvosos, principalmente quando havia alta velocidade do vento. Outra possível causa para a menor confiabilidade dos modelos, pode ser explicada pela observação feita por Schimitz & Grant (2009), de que em eventos de molhamento durante o dia são mais variáveis devido ao aquecimento solar e ao secamento das plantas que pode ocorrer imediatamente após a chuva.

Para selecionar um modelo para a cultura da soja, seria importante verificar qual teria maior aplicabilidade em relação ao manejo da ferrugem asiática da soja, já que esta doença é a mais importante atualmente. Desta forma, os modelos que estimam o molhamento a 0,6 e 0,3 m são mais importantes que na altura de 0,9, já que a maior severidade desta doença ocorre nos terços médio e inferior, de acordo com o relato de vários autores (GARCÉS-FIALOS & FORCELINI, 2013; CUNHA & PERES, 2010; ZAMBENEDETTI et al., 2007; OLIVEIRA et al., 2005).

### 3.7 CONCLUSÕES

Os modelos Dados Padrão e Dados Básicos, os quais utilizam variáveis obtidas apenas em posto agrometeorológico, gerados para os dias com e sem chuva, não fornecem equações de estimativa com alta confiabilidade para as três alturas avaliadas (0,3; 0,6; 0,9 m).

A utilização de variáveis meteorológicas obtidas na cultura de soja proporcionou aumento na confiabilidade dos modelos de estimativa de molhamento para os dias com e sem chuva, principalmente no terço superior (0,9 m).

Os modelos Dados Soja e Soja S1,7 m, os quais utilizam variáveis meteorológicas obtidas apenas em cultura de soja, são modelos com alta confiabilidade e com

menor quantidade de variáveis utilizadas na equação, sendo uma boa alternativa de modelos de estimativa de molhamento.

## 4 ARTIGO B – ESTIMATIVA DO MOLHAMENTO FOLIAR EM DIFERENTES ALTURAS DO DOSSEL DA SOJA A PARTIR DE VARIÁVEIS METEOROLÓGICAS, NA SAFRA 2013/2014

### 4.1 RESUMO

Dentre os fatores meteorológicos que afetam a intensidade da ferrugem asiática da soja (*Phakopsora pachyrhizi* H. Sydow & P. Sydow), a duração do período de molhamento (DPM) é a mais importante, pois é necessária para o processo de infecção e esporulação do fungo. Apesar disso, poucos postos agrometeorológicos possuem sensores que quantifiquem a DPM, sendo enfatizada a importância de modelos que possam estimar esta variável por dados obtidos mais frequentemente. Neste sentido, o objetivo deste trabalho foi gerar modelos de estimativa do molhamento foliar em três alturas do dossel da soja, a partir de variáveis meteorológicas com dados de sensores de molhamento, em posto agrometeorológico e na cultura da soja. A coleta dos dados ocorreu na safra 2013/2014, em cultura de soja no município de Londrina-PR (23°34' S; 51°21' W; 560m de altitude). Foi instalada uma estação meteorológica e duas “Árvores Eletrônicas de Molhamento” (AEM) no posto agrometeorológico, e quatro AEM e oito “Mini Estações” na cultura. Foram separados os dados de dias com e sem chuva, sendo feita a análise de correlação e regressões simples e múltiplas, gerando modelos com equações de estimativa de molhamento. As variáveis medidas pelos sensores de molhamento instaladas em posto agrometeorológico foram chamadas de “dados de molhamento de referência”. As equações que obtiveram coeficiente de determinação ( $R^2$ ) acima de 0,8 a 5% de probabilidade, foram consideradas equações com alta confiabilidade. Os modelos Dados Gerais, Padrão e Básicos utilizando dados de molhamento de referência, obtiveram aumento na confiabilidade das equações, principalmente no terço médio e superior (0,6 e 0,9 m). O sensor de molhamento instalado a 0,3 m no posto agrometeorológico proporcionou melhor  $R^2$  para as equações. Já os modelos que só utilizam somente dados de molhamento de referência para estimar o molhamento, se mostraram viáveis apenas em dias sem chuva, nas alturas de 0,6 e 0,9 m. Os modelos que se basearam nos dados coletados pelas AEM e pelas Mini Estações na cultura, apresentaram os maiores coeficientes de determinação entre todos os modelos, para a altura de 0,9 m.

**Palavras-chave:** porcentagem de molhamento foliar; modelos empíricos; sensores de molhamento;

### 4.2 ABSTRACT

Among the meteorological factors affecting the intensity of the Asian soybean rust (*Phakopsora pachyrhizi* Sydow H. & P. Sydow), the leaf wetness duration (LWD) is the most important, being necessary to the process of infection and sporulation of the fungus. Nevertheless, just a few agro-meteorological stations have sensors that quantify the LWD, emphasizing the importance to use models that can estimate this variable by data more often

collected. In reaction to this, the objective of this work was to create models of leaf wetness estimation in three soybean canopy heights, from meteorological variables with leaf wetness sensor data in agro-meteorological station and in soybean culture. Collection data occurred in the 2013/2014 crop season in soybean at Londrina (23 ° 34 'S, 51 ° 21' W; 560 m altitude). A weather station and two Electronic trees was installed in the agro-meteorological station and four Electronic trees and Mini Stations on the culture. The data of days with and without rain were separated, and it was made a correlation analysis and simple and multiple regression, generating models of leaf wetness estimation. The variables measured by leaf wetness sensors installed in agro-meteorological station were called "reference wetness data". The equations obtained coefficient of determination ( $R^2$ ) above 0.8 to 5% probability, with high reliability equations were considered. Models General Data, Standard and Basic using reference wetness data, obtained an increase in the reliability of the equations, especially in the middle and upper third (0.6 and 0.9 m). The leaf wetness sensor installed 0.3 m in agro-meteorological station provided better  $R^2$  for the equations. Already the models that use only reference wetness data to estimate the leaf wetness proved viable only on days without rain, at the heights of 0.6 and 0.9 m. The models were based on data collected in the culture, showed the highest correlation coefficients between all models, to the height of 0.9 m.

**Key-words:** percentage of leaf wetness; Empirical models; wetting sensors.

#### 4.3 INTRODUÇÃO

A cultura da soja apresenta relevante importância para a economia brasileira, pois é responsável pela geração de empregos e pelo consumo de insumos básicos para a sua produção, como as sementes, os defensivos e os fertilizantes. Entre os limitantes para a produção de soja podemos destacar as doenças, pois tem elevado custo de controle e se não forem bem manejadas podem acarretar em perdas de produtividade. No Brasil a ferrugem asiática da soja (FAS), causado pelo fungo *Phakopsora pachyrhizi*, é a doença mais importante devido à sua rápida disseminação e ao elevado custo de controle. A intensidade com que a ferrugem da soja ocorre nas lavouras depende de diversos fatores, sendo os de maior relevância os fatores meteorológicos.

A permanência de água sobre a planta é quantificada pela duração do período de molhamento (DPM), sendo um dos fatores meteorológicos mais importantes que influenciam no processo infectivo e na severidade da FAS. A condensação na superfície das plantas promovida pelo orvalho, chuva, irrigação ou nevoeiro, fornece condições necessárias para a germinação e infecção do tecido foliar pelos patógenos (GUYOT; OMANDA; PINARD, 2005). O orvalho pode ser originado por dois processos: a precipitação do orvalho e

a destilação do orvalho (ROSEMBERG; BLAD; VERMA, 1983). De acordo com Monteith (1963), o primeiro processo ocorre quando o fluxo de vapor que condensa sobre as superfícies vegetais é proveniente da atmosfera, já o segundo processo está relacionado ao fluxo de vapor proveniente do solo. Segundo Huber e Gillespie (1992), em condições de alta umidade atmosférica, o orvalho é formado principalmente pelo processo de precipitação do orvalho; já sob condições semiáridas, o orvalho é proveniente principalmente do processo de destilação do orvalho.

Apesar da sua importância a DPM é uma variável difícil de ser medida, pois não depende exclusivamente das condições atmosféricas, mas também da sua interação com a estrutura, composição e fisiologia do dossel da cultura (MAGAREY, 1999; MADEIRA et al., 2002; SENTELHAS et al., 2005; MARTA et al., 2007). Com isso, foram desenvolvidos sensores eletrônicos para quantificar a DPM (GILLESPIE & KIDD, 1978; ARMSTRONG et al., 1993), favorecidas pelo aumento do uso de estações meteorológicas automáticas em todo o mundo e pela facilidade da obtenção de dados contínuos. Mesmo assim, sua utilização ainda é pouco difundida em estações padrão, e segundo Monteiro et al. (2002), caso os dados dos sensores não forem utilizados de maneira correta podem gerar erros significativos de interpretação.

Desta forma, a estimativa da DPM baseada em modelos analíticos e empíricos pode ser uma alternativa. Os analíticos, também conhecidos como físicos são mais complexos e necessitam de muitas variáveis de entrada, dificultando a sua utilização (KIM et al., 2005). Já os modelos empíricos utilizam variáveis meteorológicas e métodos estatísticos para estimar a DPM, e tem como vantagem a facilidade de requerer poucas variáveis em seus modelos. A estimativa da DPM pode ser obtida por modelos empíricos com boa precisão, principalmente se forem calculados por variáveis meteorológicas medidas no local e puderem ser comparados com a DPM real, para a averiguação da sua confiabilidade (CROWE et al., 1978; KIM et al., 2002; SENTELHAS, 2004).

Gleason et al. (1994) apresentaram um modelo empírico de estimativa da DPM, denominado CART/SLD, que considera os dados de velocidade do vento, depressão do ponto de orvalho e umidade relativa do ar. O modelo CART/SLD apresentou estimativas mais precisas e com menor variação do que as estimativas baseadas no limite de  $NHUR > 90\%$  (GLEASON et al., 1994), sendo considerado um modelo mais consistente do que o modelo desenvolvido por Crowe et al. (1978). Para este modelo empírico, Kim et al. (2002)

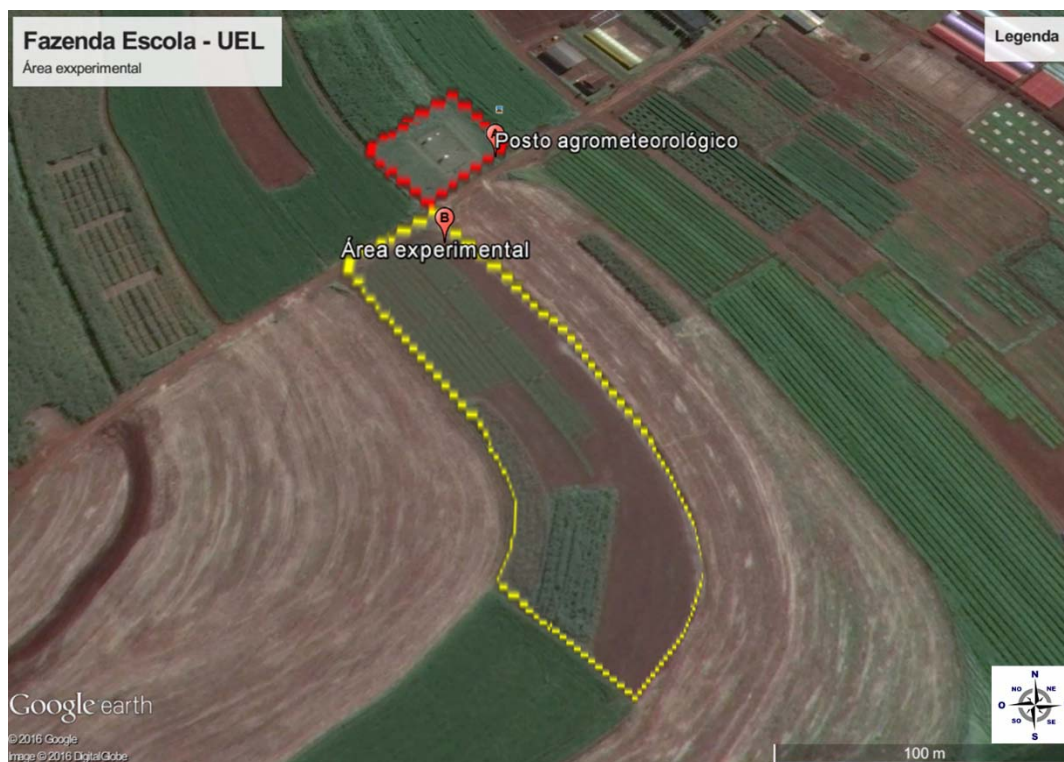
observaram a possibilidade de utilização em locais distintos, e recomendam que os valores de velocidade do vento sejam corrigidos de acordo com a altura da cultura utilizada.

Sentelhas (2004), ao estimar a DPM na cultura do algodão por meio de modelos analíticos e empíricos, observou que o desempenho de modelos empíricos, como os baseados na depressão da temperatura do ponto de orvalho e na umidade relativa do ar, era comparável à performance de modelos mais complexos, como o de Penman-Monteith. Coletando variáveis meteorológicas nas alturas de 0,5 e 1,7 m em cultura de soja, Tsukahara (2004) verificou melhor desempenho de estimativa da DPM quando utilizou os dados de umidade relativa do ar tomados na altura do dossel da cultura. Esses resultados demonstram que os modelos empíricos, apesar de suas limitações, são uma boa ferramenta para estimativa da DPM, principalmente em locais onde a disponibilidade de dados inviabiliza a utilização de modelos mais complexos. Devido às considerações expostas, o objetivo deste trabalho foi gerar modelos de estimativa da porcentagem de molhamento foliar em três alturas do dossel da soja, a partir de variáveis meteorológicas com dados de sensores de molhamento, em posto agrometeorológico e na cultura da soja.

#### 4.4 MATERIAL E MÉTODOS

##### 4.4.1 Instalação e condução do experimento

O experimento foi conduzido na safra agrícola 2013/14, na área experimental da Fazenda Escola da Universidade Estadual de Londrina (UEL), no município de Londrina – PR, localizado a latitude 23°34'23'' S e longitude 51°21'24'' W, com altitude de 560 m (Figura 3.1), em Latossolo Vermelho eutroférico (EMBRAPA, 2013). De acordo com a classificação climática de Köppen, o clima da região é do tipo Cfa, com temperatura média anual de 21,1°C e precipitação média anual acumulada de 1605 mm (IAPAR, 2015).



**Figura 4.1** - Área experimental e Posto agrometeorológico localizado na Fazenda Escola da Universidade Estadual de Londrina (Fonte: Google Earth, 2016).

Foi utilizado o cultivar BMX Potência RR, recomendada para as regiões produtoras do norte do Paraná, cujas principais características são apresentadas na Tabela 3.1.

**Tabela 4.1** - Principais características da cultivar de soja BMX Potência RR

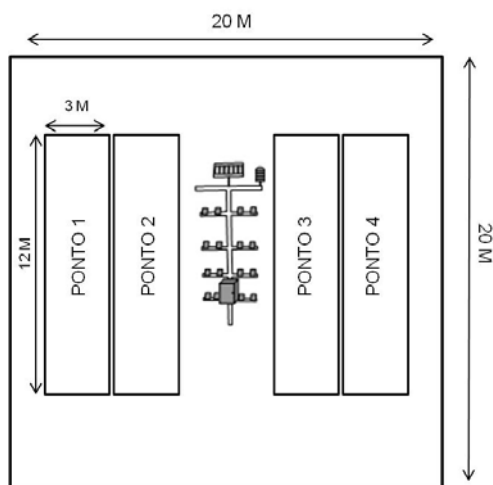
Características	BMX Potência RR
Ciclo médio(dias)	120 dias
Ciclo (classificação)	Semiprecoce
Hábito de crescimento	Indeterminado
Cor da flor	Branca
Cor da pubescência	Cinza
Cor do hilo	Marrom claro
Peso médio (1000 sementes)	168 (g)
Época de semeadura recomendada	15 de outubro a 30 de novembro
Reação à Cancro da haste	Resistente
Reação à Mancha olho de rã	Mediamente resistente
Reação à Pústula bacteriana	Suscetível
Reação à Crestamento bacteriano	Suscetível
Reação à Podridão parda da haste	Suscetível

Fonte: BRASMAX (2012).

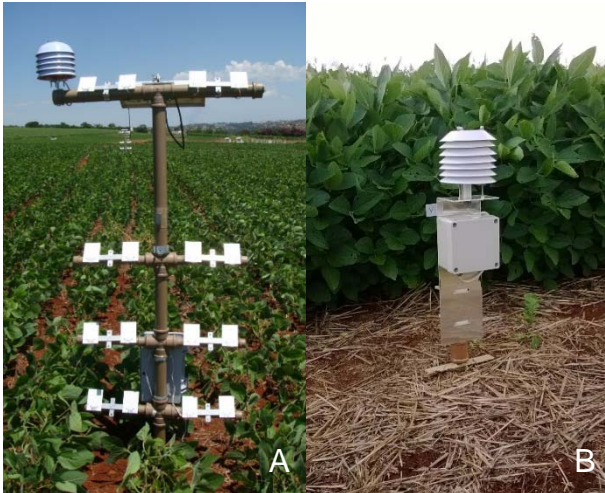
A área experimental adota o Sistema de Plantio Direto, e foi precedida pela cultura de trigo. O cultivar de soja Potência RR foi semeada dentro da época recomendada com espaçamento entrelinhas de 0,45 m e 19 pl. m<sup>-1</sup>, e a adubação de base com 300 kg/ha do

fertilizante NPK (0-20-20). O acompanhamento dos principais estádios das plantas de soja fundamentou-se na escala fenológica da soja elaborada e divulgada por Fehr e Caviness (1977), revisada por Ritchie et al. (1994). Quando necessário, foram adotados os tratos culturais e controles fitossanitários recomendados para a cultura de soja.

Foram determinadas quatro parcelas com 20 m de largura e comprimento (Figura 4.2), sendo instaladas no centro de cada parcela “Árvores Eletrônicas de Molhamento” (AEM) (MOREIRA et al, 2011; GUEDES et al., 2013) quando a soja encontrava-se no estágio V6. As AEM possuem 16 sensores eletrônicos de molhamento distribuídos em quatro alturas (0,3; 0,6; 0,9 e 1,7 m), e um sensor de temperatura e umidade do ar na altura de 1,7 m em abrigo meteorológico (Figura 4.3-A). Os sensores passaram por duas demãos de tinta látex e por tratamento térmico, conforme indicado por Lau et al., (2000) e Sentelhas, Monteiro e Gillespie, (2004), e posicionado com ângulo de 45°. Foram instaladas também oito “Mini Estações” (GUEDES, 2013; GUEDES et al., 2014) (Figura 4.3-B), que são equipamentos compostos de um abrigo meteorológico, e um compartimento hermeticamente fechado com os componentes eletrônicos. Duas destas foram instaladas em cada parcela, para medir a temperatura (°C) e a umidade relativa do ar (%) a 0,45 m de altura no dossel das plantas de soja. No Posto Agrometeorológico, distante 50 metros ao norte do experimento, sobre o gramado, foram instaladas uma estação meteorológica da marca Oregon Scientific<sup>TM</sup> modelo WMR200A (Figura 4.4-A) e duas AEM (Figura 4.4-B). A estação possui sensores de temperatura do ar (°C), umidade relativa do ar (%), direção e velocidade do vento (km/h), e um pluviógrafo (mm).



**Figura 4.2** - Esquema demonstrativo da parcela e seus pontos de avaliação



**Figura 4.3** – Equipamentos instalados na cultura de soja: A - Árvore Eletrônica de Molhamento; B – Mini estação.



**Figura 4.4** – Equipamentos instalados em estação agrometeorológica: A - Estação meteorológica; B – Árvore Eletrônica de Molhamento.

#### 4.4.2 Variáveis medidas

As variáveis meteorológicas foram medidas no posto agrometeorológico (estação meteorológica e AEM) e na cultura da soja (AEM e Mini estações), automaticamente a cada cinco minutos durante os estádios fenológicos R1 e R6 da soja, quando a cultura está com o dossel mais fechado. Foram medidas as seguintes variáveis meteorológicas:

- Posto agrometeorológico: Estação Padrão: umidade relativa média do ar (%); temperatura média do ar (°C); temperatura média mínima do ar (°C); velocidade média do vento (km/h); velocidade máxima do vento (km/h); todos a 1,7 m; “Árvore Eletrônica de Molhamento”: porcentagem do molhamento foliar (PMF) (%) em quatro alturas (0,3; 0,6; 0,9 e 1,7 m).
- Cultura de soja: “Árvore Eletrônica de Molhamento”: umidade relativa média do ar a 1,7 m (%); temperatura média a 1,7 m sobre a soja (°C); e porcentagem do molhamento foliar (PMF) (%) em quatro alturas (0,3; 0,6; 0,9 e 1,7 m); Mini estações: umidade relativa do ar no dossel da soja a 0,45 m (%); e temperatura média no dossel da soja a 0,45 m (°C).

#### 4.4.3 Análise dos dados

A medição das variáveis coletadas no posto agrometeorológico e na cultura da soja ocorreu a cada cinco minutos e foram transformadas em média por hora, sendo selecionados os dados dos dias sem e com chuva para caracterizar o molhamento foliar originário do orvalho e da precipitação. No total foram utilizados 579 dados/hora dos dias sem chuva, e 476 dados/hora dos dias com chuva. Estes dados foram submetidos à análise estatística descritiva para verificação da presença de pontos discrepantes (outliers) e sua influência quanto às medidas de posição e dispersão, antes de submetê-las à análise de correlação. Foram realizadas as análises de medidas de posição (média e mediana) e medidas de dispersão (valores máximos e mínimos, desvio padrão e coeficiente de variação).

Para todas as variáveis coletadas no posto agrometeorológico e na cultura da soja foram analisados os coeficientes de correlação, por meio da análise de correlação;

análise do coeficiente de determinação ( $R^2$ ), do coeficiente de determinação ajustado e do resultado do teste F (Fisher), por meio da regressão simples e regressão linear múltipla, para identificar a existência ou não de correlação. Nesta análise buscou-se encontrar modelos estatísticos que pudessem ser usados para estimar a PMF nas alturas de 0,3 m, 0,6 m e 0,9 m na cultura da soja a partir de variáveis meteorológicas.

Para o processo de exclusão do número de variáveis explicativas a serem considerados no ajuste do modelo de regressão múltipla, foi utilizado o método passo-a-passo stepwise backward. Portanto, somente as variáveis significativas foram utilizadas nas equações. Os modelos de estimativa do molhamento foliar gerados foram denominados de Dados Gerais (com a utilização das variáveis obtidas no posto agrometeorológico e na cultura), Dados Padrão, Básicos e Sensores (com as variáveis coletadas apenas no posto agrometeorológico), Dados Soja e Soja S1,7 m (com as variáveis coletadas apenas na cultura) (Tabela 4.2). Nos modelos Dados Gerais, Padrão, Básico e Sensores, foram utilizados os dados dos sensores de molhamento das AEM instaladas em posto agrometeorológico, que serão chamados de “dados de molhamento de referência”. Os dados de molhamento de referência foram utilizados nos modelos para testar a altura em que os sensores fornecem dados mais representativos para estimar a PMF.

Como a PMF é medida por hora, é possível obter a DPM por dia. As equações que obtiveram coeficiente de determinação ( $R^2$ ) maior ou igual de 0,8 a 5% de probabilidade, foram consideradas com alta confiabilidade, pois as variáveis das equações foram significativas pela análise de correlação de Pearson, com p-valor abaixo de  $2,2 \cdot 10^{-16}$ . Com o valor de  $R^2$  é possível determinar o quanto o modelo explica do total de variação dos dados e quanto é consequência do resíduo. Já o p-valor contribui para determinar a probabilidade do nível de significância do resultado, pois quanto menor o p-valor, maior a evidência de que existem diferenças e que o modelo é adequado.

Para a tabulação, análise da estatística descritiva e exploratória utilizou-se o software Excel e software R versão 3.0.2 com o pacote R commander (Rcmdr versão 2.1-7).

**Tabela 4.2** – Modelos de estimativa de molhamento foliar gerados a partir de variáveis coletadas em Posto agrometeorológico e na cultura de soja.

Modelos	Posto Agrometeorológico									Cultura da Soja				
	Tmed d 1,7 m	Tmin 1,7 m	UR 1,7 m	Vmax x 1,7 m	Vmed d 1,7 m	S0,3 m	S0,6 m	S0,9 m	S1,7 m	Tmed d 1,7 m	UR 1,7 m	S1,7 m	Tmed d 0,45 m	UR 0,45 m
Dados Gerais*	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x	x
Dados Padrão*	x	x	x	x	x	x	x	x	x					
Dados Básicos*		x	x		x	x	x	x	x					
Dados Sensores*						x	x	x	x					
Dados Soja										x	x	x		
Soja S1,7 m												x		

Tmed=temperatura média; Tmin=temperatura média mínima; UR=umidade relativa; Vmax=vento máximo; Vmed=vento médio; S0,3 m= sensor de molhamento foliar a 0,3 m; S0,6 m=sensor de molhamento foliar a 0,6 m; S0,9 m=sensor de molhamento foliar a 0,9 m; S1,7 m=Sensor de molhamento foliar a 1,7 m. \*Os dados dos sensores de molhamento das AEM foram variáveis, de acordo com as equações.

## 4.5 RESULTADOS

### 4.5.1 Análise de dados

Nas Tabelas 4.3 e 4.4 são apresentados as variáveis meteorológicas que foram submetidas à análise estatística descritiva, para os dias sem e com chuva.

**Tabela 4.3** - Análise estatística descritiva das variáveis meteorológicas medidas no Posto Agrometeorológico e na Cultura da Soja em dias sem chuva.

	Variáveis	Média	Mediana	s	Máximo	Mínimo	CV
Posto Agrometeorológico	S0,3 m	25,19	17,57	25,68	80,00	0,00	1,02
	S0,6 m	32,71	29,71	32,03	89,14	0,00	0,98
	S0,9 m	31,82	32,80	30,03	83,47	0,00	0,94
	S1,7 m	29,94	34,90	26,99	78,21	0,00	0,90
	Tmed 1,7 m	26,93	25,48	6,21	39,92	16,77	0,23
	Tmin 1,7m	26,06	24,60	5,91	39,40	16,30	0,23
	UR 1,7 m	64,93	67,00	22,53	98,00	25,00	0,35
	Vmax 1,7 m	8,63	7,56	4,39	21,96	0,00	0,51
	Vmed 1,7 m	5,86	5,04	3,77	16,99	0,00	0,64
Cultura da Soja	S0,3 m	27,80	9,40	31,69	97,40	0,00	1,14
	S0,6 m	28,96	9,93	33,07	96,33	0,00	1,14
	S0,9 m	28,90	12,02	32,61	92,49	0,00	1,13
	S1,7 m	27,69	8,58	31,64	93,17	0,00	1,14
	Tmed 0,45 m	25,30	23,63	6,06	42,10	16,01	0,24
	UR 0,45 m	79,36	89,50	22,84	100,00	22,79	0,29
	Tmed 1,7 m	25,23	24,70	5,01	36,71	16,35	0,20
	UR1,7 m	71,45	73,96	16,21	94,29	31,96	0,23

Tmed=temperatura média; Tmin=temperatura média mínima; UR=umidade relativa; Vmax=vento máximo; Vmed=vento médio; S0,3 m=sensor de molhamento foliar a 0,3 m; S0,6 m=sensor de molhamento foliar a 0,6 m; S0,9 m=sensor de molhamento foliar a 0,9 m; S1,7 m=sensor de molhamento foliar a 1,7 m; s=desvio padrão; CV=coeficiente de variação.



**Tabela 4.4 -** Análise estatística descritiva das variáveis meteorológicas medidas no Posto Agrometeorológico e na Cultura da Soja em dias com chuva.

	Variáveis	Média	Mediana	s	Máximo	Mínimo	CV
Posto Agrometeorológico	S0,3 m	30,45	32,10	25,87	77,81	0,00	0,85
	S0,6 m	38,40	46,40	31,42	89,00	0,00	0,82
	S0,9 m	42,71	55,24	30,57	88,91	0,00	0,72
	S1,7 m	43,19	52,79	28,08	87,15	0,00	0,65
	Tmed 1,7 m	25,03	23,54	4,54	38,35	18,47	0,18
	Tmin 1,7m	24,29	22,85	4,09	37,50	17,90	0,17
	UR 1,7 m	81,32	88,00	16,82	98,00	36,00	0,21
	Vmax 1,7 m	7,95	6,48	4,82	33,48	0,00	0,61
	Vmed 1,7 m	5,19	4,25	3,73	18,79	0,00	0,72
Cultura da Soja	S0,3 m	36,55	34,68	33,75	90,47	0,00	0,92
	S0,6 m	39,03	37,45	35,73	96,35	0,00	0,92
	S0,9 m	37,38	34,20	34,71	96,89	0,00	0,93
	S1,7 m	35,23	30,65	33,75	94,43	0,00	0,96
	Tmed 0,45 m	23,45	22,34	3,63	37,01	18,13	0,15
	UR 0,45 m	94,86	99,73	9,20	100,00	47,21	0,10
	Tmed 1,7 m	23,52	22,67	3,54	34,44	17,63	0,15
	UR1,7 m	81,80	85,67	10,41	93,50	47,29	0,13

Tmed=temperatura média; Tmin=temperatura média mínima; UR=umidade relativa; Vmax=vento máximo; Vmed=vento médio; S0,3 m=sensor de molhamento foliar a 0,3 m; S0,6 m=sensor de molhamento foliar a 0,6 m; S0,9 m=sensor de molhamento foliar a 0,9 m; S1,7 m=Sensor de molhamento foliar a 1,7 m; s=desvio padrão; CV=coeficiente de variação.

Nas tabelas 4.5 e 4.6 são apresentadas as matrizes de correlação das variáveis meteorológicas medidas no posto agrometeorológico e na cultura da soja, para os dias sem e com chuva. Segundo Jakob (1999), essas análises de correlações mostram os atributos que podem ser representados por outros sem muita perda de informação. Assim, os atributos com correlação maior que 0,9 podem ser representados por apenas um atributo, os outros podem ser desconsiderados sem perda de informação significativa.

Sabe-se que uma perfeita correlação entre duas variáveis deve possuir um coeficiente de correlação ( $r$ ) igual a 1,0 (correlação direta) ou -1,0 (correlação inversa). Tal situação, na prática, torna-se praticamente impossível. Assim, os valores de tal coeficiente foram classificados de acordo com o proposto por Kitamura (2004) como: a) extra-alto: se  $0,80 \leq r \leq 1,00$  ou  $-0,80 \geq r \leq -1,0$ ; b) alto: se  $0,60 \leq r < 0,80$  ou  $-0,60 \geq r < -0,80$ ; c) moderado: se  $0,40 \leq r < 0,60$  ou  $-0,40 \geq r < -0,60$ ; d) baixo: se  $0,20 \leq r < 0,40$  ou  $-0,20 \geq r < -0,40$ ; e e) nulo: se  $0,0 \leq r < 0,20$  ou  $-0,0 \geq r < 0,20$ . Segundo o mesmo autor, uma excelente

correlação linear entre duas variáveis deve possuir um coeficiente de correlação com valores, no mínimo, superior a +0,60 (correlação positiva) e -0,60 (correlação negativa).

**Tabela 4.5** – Matriz de correlação entre as variáveis médias no Posto Agrometeorológico e na Cultura da Soja em dias sem chuva.

Variáveis	Posto Agrometeorológico										Cultura da Soja							
	S0,3 m	S0,6 m	S0,9 m	S1,7 m	Tmed 1,7 m	Tmin 1,7m	UR 1,7 m	Vmax 1,7 m	Vmed 1,7 m		S0,3 m	S0,6 m	S0,9 m	S1,7 m	Tmed 0,45 m	UR 0,45 m	Tmed 1,7 m	UR 1,7 m
Posto Agrometeorológico	S0,3 m	1,00	1,00	1,00	0,99	-0,84	-0,82	0,82	-0,60	-0,63	0,89	0,94	0,95	0,93	-0,76	0,56	-0,84	0,71
	S0,6 m		1,00	1,00	0,98	-0,84	-0,82	0,82	-0,60	-0,63	0,89	0,93	0,95	0,93	-0,76	0,56	-0,84	0,72
	S0,9 m			1,00	0,99	-0,84	-0,82	0,81	-0,60	-0,63	0,89	0,93	0,94	0,94	-0,76	0,55	-0,84	0,70
	S1,7 m				1,00	-0,83	-0,81	0,78	-0,59	-0,62	0,87	0,92	0,93	0,94	-0,76	0,54	-0,82	0,68
	Tmed 1,7 m					1,00	0,99	-0,93	0,57	0,57	-0,91	-0,90	-0,90	-0,88	0,92	-0,70	0,97	-0,86
	Tmin 1,7m						1,00	-0,92	0,57	0,57	-0,89	-0,89	-0,89	-0,87	0,91	-0,70	0,96	-0,85
	UR 1,7 m							1,00	-0,57	-0,57	0,89	0,88	0,86	0,81	-0,86	0,78	-0,93	0,95
	Vmax 1,7 m								1,00	0,95	-0,61	-0,64	-0,59	-0,53	0,63	-0,60	0,57	-0,53
	Vmed 1,7 m									1,00	-0,63	-0,66	-0,61	-0,54	0,63	-0,61	0,56	-0,53
Cultura da Soja	S0,3 m										1,00	0,98	0,95	0,92	-0,86	0,66	-0,90	0,80
	S0,6 m											1,00	0,98	0,94	-0,85	0,64	-0,90	0,79
	S0,9 m												1,00	0,97	-0,83	0,60	-0,90	0,76
	S1,7 m													1,00	-0,80	0,53	-0,87	0,70
	Tmed 0,45 m														1,00	-0,87	0,94	-0,87
	UR 0,45 m															1,00	-0,75	0,87
	Tmed 1,7 m																1,00	-0,91
	UR 1,7 m																	

Tmed=temperatura média; Tmin=temperatura média mínima; UR=umidade relativa; Vmax=vento máximo; Vmed=vento médio; S0,3 m= sensor de molhamento foliar a 0,3 m; S0,6 m=sensor de molhamento foliar a 0,6 m; S0,9 m=sensor de molhamento foliar a 0,9 m; S1,7 m=Sensor de molhamento foliar a 1,7 m. Todas as correlações foram significativas ao nível de 5% de probabilidade ( $p<0,001$ ).

**Tabela 4.6** – Matriz de correlação entre as variáveis médias no Posto Agrometeorológico e na Cultura da Soja em dias sem chuva.

Variáveis	Posto Agrometeorológico										Cultura da Soja							
	S0,3 m	S0,6 m	S0,9 m	S1,7 m	Tmed 1,7 m	Tmin 1,7m	UR 1,7 m	Vmax 1,7 m	Vmed 1,7 m		S0,3 m	S0,6 m	S0,9 m	S1,7 m	Tmed 0,45 m	UR 0,45 m	Tmed 1,7 m	UR 1,7 m
Posto Agrometeorológico	S0,3 m	1,00	1,00	1,00	0,99	-0,71	-0,70	0,73	-0,35	-0,36	0,74	0,79	0,80	0,81	-0,67	0,43	-0,75	0,64
	S0,6 m		1,00	1,00	0,99	-0,71	-0,70	0,73	-0,35	-0,36	0,74	0,79	0,81	0,81	-0,68	0,43	-0,75	0,65
	S0,9 m			1,00	0,99	-0,72	-0,70	0,73	-0,35	-0,37	0,74	0,79	0,81	0,82	-0,68	0,42	-0,75	0,65
	S1,7 m				1,00	-0,70	-0,69	0,72	-0,35	-0,36	0,73	0,77	0,79	0,81	-0,66	0,42	-0,74	0,64
	Tmed 1,7 m					1,00	0,99	-0,94	0,41	0,47	-0,86	-0,87	-0,86	-0,84	0,90	-0,65	0,95	-0,77
	Tmin 1,7m						1,00	-0,93	0,38	0,45	-0,85	-0,86	-0,85	-0,83	0,89	-0,63	0,94	-0,77
	UR 1,7 m							1,00	-0,42	-0,46	0,88	0,88	0,84	0,84	-0,83	0,66	-0,89	0,76
	Vmax 1,7 m								1,00	0,93	-0,43	-0,44	-0,40	-0,41	0,44	-0,33	0,41	-0,31
	Vmed 1,7 m									1,00	-0,47	-0,49	-0,47	-0,47	0,47	-0,33	0,46	-0,34
Cultura da Soja	S0,3 m										1,00	0,96	0,89	0,88	-0,84	0,62	-0,88	0,74
	S0,6 m											1,00	0,96	0,94	-0,84	0,55	-0,89	0,75
	S0,9 m												1,00	0,98	-0,80	0,46	-0,88	0,73
	S1,7 m													1,00	-0,77	0,45	-0,86	0,70
	Tmed 0,45 m														1,00	-0,82	0,95	-0,79
	UR 0,45 m															1,00	-0,69	0,64
	Tmed 1,7 m																1,00	-0,83
	UR 1,7 m																	

Tmed=temperatura média; Tmin=temperatura média mínima; UR=umidade relativa; Vmax=vento máximo; Vmed=vento médio; S0,3 m= sensor de molhamento foliar a 0,3 m; S0,6 m=sensor de molhamento foliar a 0,6 m; S0,9 m=sensor de molhamento foliar a 0,9 m; S1,7 m=Sensor de molhamento foliar a 1,7 m. Todas as correlações foram significativas ao nível de 5% de probabilidade ( $p < 0,001$ ).

#### 4.5.2 Estimativa da porcentagem de molhamento foliar

#### 4.5.3 Dias sem chuva

Baseados em variáveis meteorológicas coletadas na safra agrícola de 2013/2014, em dias com ausência de precipitação, foram geradas equações para estimativa do molhamento foliar por regressões lineares simples e múltiplas, apresentadas nas Tabelas 4.7 a 4.11. Na Tabela 4.7, temos os modelos de 1 a 6, denominados de Dados Gerais por utilizarem uma maior quantidade de variáveis meteorológicas coletados no posto agrometeorológico e na cultura da soja. Dos modelos da Tabela 4.7, apenas o modelo 1, o qual não utiliza os dados de molhamento de referência, não obteve todas as equações com o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) acima de 0,9. No entanto, todos os modelos apresentaram  $R^2$  acima de 0,8 com 5% de probabilidade, e são consideradas equações com alta confiabilidade. Nesta Tabela podemos observar que a inserção dos dados de molhamento de referência melhorou a confiabilidade dos modelos, onde os modelos 2, 3 e 4 apresentaram os maiores coeficientes de determinação a 0,9 m ( $R^2=0,95$ ).

**Tabela 4.7** - Modelo Dados Gerais e suas derivações em dias sem chuva.

		Equações de Regressão Linear Múltipla - Dados Gerais	R <sup>2</sup>	p-valor
1	Dados Gerais	1 PMF (0,3 m)= 108,84862 - 1,26811X2 + 1,78020X3 + 1,16944X4 - 0,56478X5 - 0,97667X7 - 3,26795X9 - 0,51001X10	0,89	<0,0001
		2 PMF (0,6 m)= 134,43644 - 2,28034X2 + 1,92664X3 + 1,26431X4 - 0,74931X5 + 0,93814X6 - 2,59569X7 - 2,96659X9 - 0,52492X10	0,90	<0,0001
		3 PMF (0,9m)= 186,70418 - 4,16977X2 + 2,11806X3 + 1,28917X4 - 1,04470X5 + 1,07698X6 - 2,40106X7 - 2,61910X9 - 0,52914X10	0,89	<0,0001
2	Dados Gerais + Sensores	4 PMF (0,3 m)= 4374462 + 1,81743X1 + 0,89865X4 - 0,52254X7 - 3,22030X9 - 0,55208X10 + 0,87887X11 - 1,32997X12 + 1,17273X13 - 0,45340X14	0,91	<0,0001
		5 PMF (0,6 m)= 40,65151 + 3,01977X1 + 0,92354X2 + 0,77916X4 - 0,69471X7 - 3,24297X9 - 0,53113X10 + 1,00681X11 - X12 - 0,53141X13	0,94	<0,0001
		6 PMF (0,9 m)= 71,3701 + 0,9516X1 + 0,5298X4 - 2,9131X9 - 0,5243X10 + 1,4007X11 - 0,8982X12 + 0,6317X13 - 0,5259X14	0,95	<0,0001
3	Dados Gerais + G0,3 m	7 PMF (0,3 m)= 70,18135 + 1,20161X3 + 0,85143X4 - 0,27157X5 - 0,48355X7 - 3,05028X9 - 0,42940X10	0,91	<0,0001
		8 PMF (0,6 m)= 46,70881 + 0,88632X1 + 1,09152X2 + 0,69163X4 - 0,65607X7 - 3,18933X9 - 0,49800X10 + 0,46254X11	0,94	<0,0001
		9 PMF (0,9 m)= 77,03791 + 0,83133X1 + 0,59054X4 - 0,17187X7 - 2,85317X9 - 0,46531X10 + 0,58759X11	0,95	<0,0001
4	Dados Gerais + G0,6 m	10 PMF (0,3 m)= 74,23095 + 1,14634X3 + 0,84433X4 - 0,29078X5 - 0,49006X7 - 3,08324X9 - 0,42590X10 + 0,22343X12	0,90	<0,0001
		11 PMF (0,6 m)= 53,99376 + 0,61820X1 + 1,18397X2 + 0,63335X4 - 0,66710X7 - 3,17230X9 - 0,48302 + 0,43831X12	0,94	<0,0001
		12 PMF (0,9 m)= 91,77187 + 0,42708X4 - 0,19632X5 - 2,36051X9 - 0,36886X10 + 0,56060X12	0,95	<0,0001
5	Dados Gerais + G0,9 m	13 PMF (0,3 m)= 67,22838 + 1,24994X3 + 0,86590X4 - 0,26067X5 - 0,49173X7 - 3,03956X9 - 0,43230X10 + 0,22954X13	0,91	<0,0001
		14 PMF (0,6 m)= 55,66264 + 1,38947X1 + 0,816007X4 - 0,22110X5 - 0,69244X7 + 1,38947X9 - 0,43255X10 + 0,41416X13	0,94	<0,0001
		15 PMF (0,9 m)= 71,01595 + 1,03880X1 + 0,67023X4 - 0,16551X5 - 2,95181X9 - 0,49052X10 + 0,54679X13	0,94	<0,0001
6	Dados Gerais + G1,7 m	16 PMF (0,3 m)= 64,39493 + 1,34679X3 + 0,91341X4 - 0,24956 X5 - 0,54905X7 - 3,07576X9 - 0,45428V10 + 0,21886X14	0,90	<0,0001
		17 PMF (0,6 m)= 50,17147 + 1,64688X1 + 0,92215X4 - 0,20457X5 - 0,79855X7 - 2,99133X9 - 0,48515X10 + 0,39165X14	0,94	<0,0001
		18 PMF (0,9 m)= 65,17456 + 1,30946X1 + 0,73369X4 - 0,31703X7 - 3,13503X9 - 0,69668X10 + 0,50406X14	0,94	<0,0001

PMF=Porcentagem de molhamento foliar; X1=temperatura média do ar no posto agrometeorológico; X2=temperatura do ar na cultura; X3=temperatura mínima do ar no posto agrometeorológico; X4=umidade relativa do ar no posto agrometeorológico; X5=umidade relativa do ar na cultura; X6=vento máxima no posto agrometeorológico; X7=vento médio no posto agrometeorológico; X8=porcentagem de molhamento foliar à 1,7 m na cultura; X9=temperatura média do dossel da cultura; X10=umidade relativa do dossel da cultura; X11=porcentagem de molhamento foliar à 0,3 m no posto agrometeorológico; X12=porcentagem de molhamento foliar à 0,6 m no posto agrometeorológico; X13=porcentagem de molhamento foliar à 0,9 m no posto agrometeorológico; X14=porcentagem de molhamento foliar à 1,7 m no posto agrometeorológico.

Na Tabela 4.8, são exibidos os modelos denominados de Dados Padrão com a utilização de variáveis coletadas em posto agrometeorológico. Todas as equações destes

modelos apresentaram  $R^2$  superior a 0,8, com algumas equações com valores acima de 0,9. O modelo 7 que não utiliza os dados de molhamento de referência, não apresentou equações com  $R^2$  acima de 0,9. Nos modelos onde utilizaram-se os dados de molhamento de referência, houve aumento da confiabilidade das equações nas alturas de 0,6 e 0,9 m (terço médio e superior do dossel da cultura).

**Tabela 4.8** - Modelo Dados Padrão e suas derivações em dias sem chuva.

		Equações de Regressão Linear Múltipla - Dados Padrão	$R^2$	p-valor
7	Dados Padrão	1 PMF (0,3 m)= 85,66555 - 5,07509X1 + 2,63293X3 + 0,28959X4 - 1,10344X7	0,85	<0,0001
		2 PMF (0,6 m)= 97,80805 - 5,239080X1 + 2,47474X3 + 0,27932X4 + 0,85123X6 - 1,10344X7	0,86	<0,0001
		3 PMF (0,9 m)= 150,5240 - 7,2709X1 + 3,1884X3 + 0,9648X6 - 2,2890X7	0,83	<0,0001
8	Dados Padrão + Sensores	4 PMF (0,3 m)= 38,20429 - 1,31794X1 + 0,31516X4 - 0,42948X7 + 0,63460X11 - 0,84259X12 + 0,95007X13 - 0,41214X14	0,89	<0,0001
		5 PMF (0,6 m)= 44,72715 - 1,31521X1 + 0,18607X4 - 0,65159X7 + 0,51277X11	0,93	<0,0001
		6 PMF (0,9 m)= 63,90342 - 1,83324X1 + 0,89983X11 - 0,24697X12	0,94	<0,0001
9	Dados Padrão + G0,3 m	7 PMF (0,3 m)= 51,69435 - 1,60445X1 + 0,23817X4 - 0,48584X7 + 0,31806X11	0,89	<0,0001
		8 PMF (0,6 m)= 44,72715 - 1,31521X1 + 0,18607X4 - 0,65159X7 + 0,51277X11	0,93	<0,0001
		9 PMF (0,9 m)= 63,63331 - 1,82713X1 + 0,65766X11	0,94	<0,0001
10	Dados Padrão + G0,6 m	10 PMF (0,3 m)= 57,53873 - 1,73166X1 + 0,20535X4 - 0,50826X7 + 0,30000X12	0,88	<0,0001
		11 PMF (0,6 m)= 54,05497 - 1,51744X1 + 0,13277X4 - 0,68576X7 + 0,48474X12	0,93	<0,0001
		12 PMF (0,9 m)= 65,1929 - 1,8736X1 + 0,6208X12	0,93	<0,0001
11	Dados Padrão + G0,9 m	13 PMF (0,3 m)= 47,12049 - 1,51013X1 + 0,26883X4 - 0,48309X7 + 0,30692X13	0,89	<0,0001
		14 PMF (0,6 m)= 39,08325 - 1,21097X1 + 0,23760X4 - 0,67414X7 + 0,48029X13	0,92	<0,0001
		15 PMF (0,9 m)= 66,25272 - 1,91053X1 + 0,61983X13	0,93	<0,0001
12	Dados Padrão + G1,7 m	16 PMF (0,3 m)= 41,94061 - 1,41604X1 + 0,32319X4 - 0,51972X7 + 0,29614X14	0,88	<0,0001
		17 PMF (0,6 m)= 31,52868 - 1,07832X1 + 0,32254X4 - 0,73851X7 + 0,45951X14	0,92	<0,0001
		18 PMF (0,9 m)= 44,76043 - 1,51503X1 + 0,19289X4 + 0,58604X14	0,92	<0,0001

PMF=Porcentagem de molhamento foliar; X1=temperatura média do ar no posto agrometeorológico; X2=temperatura do ar na cultura; X3=temperatura mínima do ar no posto agrometeorológico; X4=umidade relativa do ar no posto agrometeorológico; X5=umidade relativa do ar na cultura; X6=vento máxima no posto agrometeorológico; X7=vento médio no posto agrometeorológico; X8=porcentagem de molhamento foliar à 1,7 m na cultura; X9=temperatura média do dossel da cultura; X10=umidade relativa do dossel da cultura; X11=porcentagem de molhamento foliar à 0,3 m no posto agrometeorológico; X12=porcentagem de molhamento foliar à 0,6 m no posto agrometeorológico; X13=porcentagem de molhamento foliar à 0,9 m no posto agrometeorológico; X14=porcentagem de molhamento foliar à 1,7 m no posto agrometeorológico.

Os modelos da Tabela 4.9 (Dados Básicos) foram gerados a partir de apenas três variáveis meteorológicas: temperatura mínima do ar, umidade relativa do ar e vento

médio, todas medidas em posto agrometeorológico, com a posterior inserção dos dados de molhamento de referência. De forma semelhante aos modelos da Tabela 4.8, todas as equações da Tabela 4.9 obtiveram  $R^2$  acima de 0,8, apresentando algumas equações com  $R^2$  acima de 0,9. Estas com maior valor são as equações para as alturas de 0,6 e 0,9 m, nas quais foram utilizados os dados de molhamento de referência (modelos de 14 a 18).

**Tabela 4.9** - Modelo Dados Básicos e suas derivações em dias sem chuva.

		Equações de Regressão Linear Múltipla - Dados Básicos	R <sup>2</sup>	p-valor
13	Dados Básicos	1 PMF (0,3 m)= 62,58859 - 2,12829X3 + 0,44628X4 - 1,04878X7	0,84	<0,0001
		2 PMF (0,6 m)= 74,89846 - 2,40617X3 + 0,44314X4 - 1,55714X7	0,84	<0,0001
		3 PMF (0,9 m)= 100,37862 - 3,19968X3 + 0,34354X4 - 1,12117X7	0,81	<0,0001
14	Dados Básicos + Sensores	4 PMF (0,3 m)= 24,41897 - 1,04645X3 + 0,38739X4 - 0,37685X7 + 0,73250X11 - 1,05007X12 + 1,12388X13 - 0,45438X14	0,89	<0,0001
		5 PMF (0,6 m)= 34,26547 - 1,13243X3 + 0,24706X4 - 0,60157X7 + 0,87275X11 - 0,33515X12	0,93	<0,0001
		6 PMF (0,9 m)= 61,19272 - 1,81511X3 + 0,90771X11 - 0,23147X14	0,94	<0,0001
15	Dados Básicos + G0,3 m	7 PMF (0,3 m)= 39,25580 - 1,36540X3 + 0,29718X4 - 0,43296X7 + 0,34231X11	0,88	<0,0001
		8 PMF (0,6 m)= 38,87254 - 1,22825X3 + 0,21293X4 - 0,60631X7 + 0,52853X11	0,93	<0,0001
		9 PMF (0,9 m)= 61,09158 - 1,81417X3 + 0,67993X11	0,94	<0,0001
16	Dados Básicos + G0,6 m	10 PMF (0,3 m)= 44,39779 - 1,48064X3 + 0,26871X4 - 0,45595X7 + 0,32332X12	0,88	<0,0001
		11 PMF (0,6 m)= 46,66480 - 1,40095X3 + 0,16754X4 - 0,63702X7 + 0,50182X12	0,93	<0,0001
		12 PMF (0,9 m)= 62,46083 - 1,85599X3 + 0,64319X12	0,93	<0,0001
17	Dados Básicos + G0,9 m	13 PMF (0,3 m)= 35,04578 - 1,27630X3 + 0,32556X4 - 0,43040X7 + 0,33037X13	0,88	<0,0001
		14 PMF (0,6 m)= 33,64242 - 1,12997X3 + 0,26232X4 - 0,63089X7 + 0,49486X13	0,92	<0,0001
		15 PMF (0,9 m)= 47,98144 - 1,55891X3 + 0,10929X4 + 0,63204X13	0,93	<0,0001
18	Dados Básicos + G1,7 m	16 PMF (0,3 m)= 29,97883 - 1,18213X3 + 0,38010X4 - 0,46932X7 + 0,31949X14	0,88	<0,0001
		17 PMF (0,6 m)= 26,64712 - 1,00617X3 + 0,34521X4 - 0,69974X7 + 0,47274X14	0,92	<0,0001
		18 PMF (0,9 m)= 38,85123 - 1,42402X3 + 0,22058X4 + 0,60139X14	0,92	<0,0001

PMF=Porcentagem de molhamento foliar; X1=temperatura média do ar no posto agrometeorológico; X2=temperatura do ar na cultura; X3=temperatura mínima do ar no posto agrometeorológico; X4=umidade relativa do ar no posto agrometeorológico; X5=umidade relativa do ar na cultura; X6=vento máxima no posto agrometeorológico; X7=vento médio no posto agrometeorológico; X8=porcentagem de molhamento foliar à 1,7 m na cultura; X9=temperatura média do dossel da cultura; X10=umidade relativa do dossel da cultura; X11=porcentagem de molhamento foliar à 0,3 m no posto agrometeorológico; X12=porcentagem de molhamento foliar à 0,6 m no posto agrometeorológico; X13=porcentagem de molhamento foliar à 0,9 m no posto agrometeorológico; X14=porcentagem de molhamento foliar à 1,7 m no posto agrometeorológico.

Já nos modelos da Tabela 4.10, gerados a partir de regressões lineares simples e múltiplas, foram utilizados somente os dados de molhamento de referência. Destes modelos, o 19 foi o único com as equações nas três alturas com R<sup>2</sup> acima de 0,8. Nos demais modelos as equações geradas para o terço inferior (altura de 0,3 m) apresentaram R<sup>2</sup> abaixo de 0,8, e não são consideradas equações com alta confiabilidade. As equações que apresentaram R<sup>2</sup> acima de 0,9 foram as do modelo 19, 20 e 21 na altura de 0,9 m, sendo que as demais equações a 0,6 e 0,9 m obtiveram resultados acima de 0,8.

**Tabela 4.10** - Modelo Sensores e suas derivações em dias sem chuva.

		Equações de Regressão Linear Múltipla e Simples - Sensores	R <sup>2</sup>	p-valor
19	Sensores	1 PMF (0,3 m)= 8,4464 + 0,8466X11 - 0,9501X12 + 1,8716X13 - 1,0334X14	0,80	<0,0001
		2 PMF (0,6 m)= 7,24839 + 1,10055X11 - 0,21757X14	0,88	<0,0001
		3 PMF (0,9 m)= 5,7863 + 1,5051X11 - 0,9831X12 + 1,3658X13 - 0,9362X14	0,90	<0,0001
20	G0,3 m	4 PMF (0,3 m)= 8,88889 + 0,75716X11	0,79	<0,0001
		5 PMF (0,6 m)= 7,18004 + 0,88631X11	0,87	<0,0001
		6 PMF (0,9 m)= 6,0496 + 0,9589X11	0,90	<0,0001
21	G0,6 m	7 PMF (0,3 m)= 8,95181 + 0,72481X12	0,79	<0,0001
		8 PMF (0,6 m)= 7,27654 + 0,84766X12	0,87	<0,0001
		9 PMF (0,9 m)= 6,17573 + 0,91631X12	0,90	<0,0001
22	G0,9 m	10 PMF (0,3 m)= 8,72165 + 0,73425X13	0,79	<0,0001
		11 PMF (0,6 m)= 7,08366 + 0,85606X13	0,86	<0,0001
		12 PMF (0,9 m)= 5,94619 + 0,92612X13	0,89	<0,0001
23	G1,7 m	13 PMF (0,3 m)= 9,30155 + 0,74530X14	0,76	<0,0001
		14 PMF (0,6 m)= 7,75073 + 0,86927X14	0,84	<0,0001
		15 PMF (0,9 m)= 6,66174 + 0,94063X14	0,86	<0,0001

PMF=Porcentagem de molhamento foliar; X11=porcentagem de molhamento foliar à 0,3 m no posto agrometeorológico; X12=porcentagem de molhamento foliar à 0,6 m no posto agrometeorológico; X13=porcentagem de molhamento foliar à 0,9 m no posto agrometeorológico; X14=porcentagem de molhamento foliar à 1,7 m no posto agrometeorológico.

Nos modelos 24 e 25 da Tabela 4.11, foram geradas equações dos dados obtidos a 1,7 m pelas AEM na cultura de soja, a partir de regressões simples e múltiplas. Os dois modelos obtiveram R<sup>2</sup> acima de 0,8 nas três alturas, apresentando alta confiabilidade. Contudo, o modelo Dados Soja mostrou os melhores resultados nas três alturas, com as equações nas alturas de 0,6 e 0,9 m com R<sup>2</sup> acima de 0,9. O modelo S1,7 m também obteve boas equações, mas somente a altura de 0,9 m obteve R<sup>2</sup> acima de 0,9.

**Tabela 4.11** - Modelos Dados Soja e Soja S1,7 m em dias sem chuva.

Equações de Regressão Linear Simples e Múltipla		R <sup>2</sup>	p-valor
24	Dados Soja		
	1 PMF (0,3 m)= 7,42843 - 0,81109X2 + 0,36750X5 + 0,66386X8	0,89	<0,0001
	2 PMF (0,6 m)= - 241421 + 0,46787X5 + 0,89475X8	0,92	<0,0001
	3 PMF (0,9 m)= - 17,00514 + 0,31775X5 + 1,07248X8	0,96	<0,0001
	4 PMF (0,3 m)= 5,66036 + 0,96403X8	0,84	<0,0001
25	S1,7 m		
	5 PMF (0,6 m)= 4,08573 + 1,10128X8	0,89	<0,0001
	6 PMF (0,9 m)= 2,16566 + 1,21274X8	0,95	<0,0001

PMF=Porcentagem de molhamento foliar; X1=temperatura média do ar no posto agrometeorológico; X2=temperatura do ar na cultura; X3=temperatura mínima do ar no posto agrometeorológico; X4=umidade relativa do ar no posto agrometeorológico; X5=umidade relativa do ar na cultura; X6=vento máxima no posto agrometeorológico; X7=vento médio no posto agrometeorológico; X8=porcentagem de molhamento foliar à 1,7 m na cultura;

#### 4.5.4 Dias com chuva - Estimativa da porcentagem de molhamento foliar

A partir das variáveis meteorológicas coletados na cultura de soja e no posto agrometeorológico em dias com chuva, foram gerados os modelos das Tabelas 4.12 a 4.16. Na Tabela 4.12, foram gerados os modelos com maior quantidade de variáveis coletadas na cultura e em posto agrometeorológico. É possível observar que todas as equações da Tabela 4.12 apresentam coeficiente de determinação (R<sup>2</sup>) acima de 0,8, sendo classificadas como equações com alta confiabilidade, embora nenhuma delas esteja acima de 0,9.

**Tabela 4.12 - Modelo Dados Gerais e suas derivações em dias com chuva.**

		Equações de Regressão Linear Múltipla - Dados Gerais	R <sup>2</sup>	p-valor
26	Dados Gerais	1 PMF (0,3 m)= 75,9075 + 3,7966X1 - 2,6738X2 + 1,3813X4 - 4,5488X9 - 0,7433X10	0,84	<0,0001
		2 PMF (0,6 m)= 151,9075 + 4,3513X1 - 3,2113X2 + 1,5495X4 - 0,3772X7 - 5,7151X9 - 1,3979X10	0,88	<0,0001
		3 PMF (0,9 m)= 273,0581 + 2,9597X1 - 4,6289X2 + 1,1565X4 - 5,2568X9 - 1,7987X10	0,85	<0,0001
27	Dados Gerais + Sensores	4 PMF (0,3 m)= 68,60420 + 3,43432X1 - 4,45696X2 + 1,28842X4 - 4,45696X9 - 0,67216X10 + 0,06134X13	0,84	<0,0001
		5 PMF (0,6 m)= 141,26423 + 3,71573X1 - 2,22833X2 + 1,38720X4 - 0,37262X7 - 5,63035X9 + 0,10968X14	0,88	<0,0001
		6 PMF (0,9 m)= 242,78168 - 2,05012X2 + 0,55497X4 + 0,67738X6 - 1,15199X7 - 3,74658X9 - 1,29399X10 + 0,91863X13 - 0,69335X14	0,88	<0,0001
28	Dados Gerais + G0,3 m	7 PMF (0,3 m)= 69,05006 + 3,43502X1 - 2,16782X2 + 1,28792X4 - 4,43640X9 - 0,67269X10 + 0,06206X11	0,84	<0,0001
		8 PMF (0,6 m)= 36,74908 + 1,72404X1 - 4,64614X2 + 0,84126X4 - 0,60088X7 + 0,18579X11	0,86	<0,0001
		9 PMF (0,9 m)= 258,23631 - 1,98579X2 + 0,55580X4 + 0,67915X6 - 1,13926X7 - 4,13536X9 - 1,36640X10 + 0,24050X11	0,87	<0,0001
29	Dados Gerais + G0,6 m	10 PMF (0,3 m)= 68,97730 + 3,42268X1 - 2,13559X2 + 1,28827X4 - 4,45098X9 - 0,67356X10 + 0,05862X12	0,84	<0,0001
		11 PMF (0,6 m)= 144,10099 + 3,07036X1 + 1,37109X4 - 0,34983X7 - 6,94284X9 - 1,37923X10 + 0,14682X12	0,88	<0,0001
		12 PMF (0,9 m)= 244,72978 - 2,52722X2 + 1,57943X3 + 0,75662X4 + 0,93635X6 - 1,42788X7 - 4,79525X9 - 1,50593 + 0,21776X12	0,88	<0,0001
30	Dados Gerais + G0,9 m	13 PMF (0,3 m)= 68,60420 + 3,43432X1 - 2,13257X2 + 1,28842X4 - 4,45696X9 - 0,67216X10 + 0,06134X13	0,84	<0,0001
		14 PMF (0,6 m)= 136,82863 + 3,60321X1 - 2,09304X2 + 1,35780X4 - 0,37638X7 - 5,52624X9 - 1,25111X10 + 0,12670X13	0,88	<0,0001
		15 PMF (0,9 m)= 245,09699 - 2,56463X2 + 1,62552X3 + 0,76364X4 + 0,91914X6 - 1,38314X7 - 4,82461X9 - 1,50919X10 + 0,21999X13	0,87	<0,0001
31	Dados Gerais + G1,7 m	16 PMF (0,3 m)= 70,58885 + 3,47968X1 - 2,18534X2 + 1,30020X4 - 4,50428X9 - 0,68647X10 + 0,05463X14	0,84	<0,0001
		17 PMF (0,6 m)= 141,26423 + 3,71573X1 - 2,22833X2 + 1,38720X4 - 0,37262X7 - 5,63035X9 - 1,28448X10 + 0,10968X14	0,88	<0,0001
		18 PMF (0,9 m)= 252,58173 - 2,71922X2 + 1,73064X3 + 0,79305X4 + 0,89489X5 - 1,34641X7 - 4,96585X9 - 1,55438X10 + 0,19961X14	0,87	<0,0001

PMF=Porcentagem de molhamento foliar; X1=temperatura média do ar no posto agrometeorológico; X2=temperatura do ar na cultura; X3=temperatura mínima do ar no posto agrometeorológico; X4=umidade relativa do ar no posto agrometeorológico; X5=umidade relativa do ar na cultura; X6=vento máxima no posto agrometeorológico; X7=vento médio no posto agrometeorológico; X8=porcentagem de molhamento foliar à 1,7 m na cultura; X9=temperatura média do dossel da cultura; X10=umidade relativa do dossel da cultura; X11=porcentagem de molhamento foliar à 0,3 m no posto agrometeorológico; X12=porcentagem de molhamento foliar à 0,6 m no posto agrometeorológico; X13=porcentagem de molhamento foliar à 0,9 m no posto agrometeorológico; X14=porcentagem de molhamento foliar à 1,7 m no posto agrometeorológico.

Na Tabela 4.13, temos os modelos gerados com variáveis obtidas somente no posto agrometeorológico. O modelo 32 (Dados Padrão), sem o uso dos dados de

molhamento de referência, apresentou  $R^2$  acima de 0,8 somente na equação na altura de 0,6 m. Já nas equações que utilizaram os dados de molhamento de referência (33 a 37), o  $R^2$  obtido foi acima de 0,8 nas 3 alturas. No entanto, nenhuma equação obteve valor acima de 0,9.

**Tabela 4.13** - Modelo Dados Padrão e suas derivações em dias com chuva.

		Equações de Regressão Linear Múltipla - Dados Padrão	$R^2$	p-valor
32	Dados Padrão	1 PMF (0,3 m)= 13,4862 - 1,7842X3 + 0,9571X4 - 0,4363X7	0,78	<0,0001
		2 PMF (0,6 m)= 21,50663 - 2,31210X3 + 1,00136X4 - 0,78495X7	0,80	<0,0001
		3 PMF (0,9 m)= 113,6487 - 4,2318X3 + 0,4185X4 - 0,6456X7	0,75	<0,0001
33	Dados Padrão + Sensores	4 PMF (0,3 m)= 0,8007 - 1,3106X1 + 0,8250X4 - 0,5319X7 + 0,5675X13 - 0,4183X14	0,80	<0,0001
		5 PMF (0,6 m)= 16,42411 - 1,68761X3 + 0,74153X4 - 0,70949X7 + 1,04543X13 - 0,80703X14	0,85	<0,0001
		6 PMF (0,9 m)= 112,7382 - 3,5192X1 + 0,9427X6 - 1,7062X7 - 0,5014X11 + 1,8940X13 - 1,0608X14	0,83	<0,0001
34	Dados Padrão + G0,3 m	7 PMF (0,3 m)= 10,96451 - 1,45041X1 + 0,80436X4 - 0,534657 + 0,16123X11	0,80	<0,0001
		8 PMF (0,6 m)= 26,25339 - 1,93417X3 + 0,70635X4 - 0,71641X7 + 0,26565X11	0,84	<0,0001
		9 PMF (0,9 m)= 119,67363 - 3,73209X1 + 0,95281X6 - 1,73106X7 + 0,37083X11	0,82	<0,0001
35	Dados Padrão + G0,6 m	10 PMF (0,3 m)= 10,76754 - 1,43654X1 + 0,80077X4 - 0,54435X7 0,15589X12	0,80	<0,0001
		11 PMF (0,6 m)= 25,80446 - 1,90800X3 + 0,70148X4 - 0,73231X7 + 0,25623X12	0,84	<0,0001
		12 PMF (0,9 m)= 117,71808 -3,66963X1 + 0,98522X5 - 1,79175X7 + 0,35875X12	0,82	<0,0001
36	Dados Padrão + G0,9 m	13 PMF (0,3 m)= 10,09804 - 1,41652X1 + 0,80694X4 - 0,52992X7 + 0,15853X13	0,80	<0,0001
		14 PMF (0,6 m)= 25,15015 - 1,90847X3 + 0,71318X4 - 0,70914X7 + 0,25665X13	0,84	<0,0001
		15 PMF (0,9 m)= 118,33821 - 3,68686X1 + 0,94808X6 - 1,71440X7 0,36666X13	0,82	<0,0001
37	Dados Padrão + G1,7 m	16 PMF (0,3 m)= 11,91762 - 1,49126X1 + 0,81272X4 - 0,53234X7 0,14961X14	0,80	<0,0001
		17 PMF (0,6 m)= 27,42080 - 2,00943X3 + 0,73004X4 - 0,71569X7 0,23956X14	0,83	<0,0001
		18 PMF (0,9 m)= 124,53050 - 3,87266X1 + 0,90618X6 - 1,66977X7 + 0,34824X14	0,81	<0,0001

PMF=Porcentagem de molhamento foliar; X1=temperatura média do ar no posto agrometeorológico; X2=temperatura do ar na cultura; X3=temperatura mínima do ar no posto agrometeorológico; X4=umidade relativa do ar no posto agrometeorológico; X5=umidade relativa do ar na cultura; X6=vento máxima no posto agrometeorológico; X7=vento médio no posto agrometeorológico; X8=porcentagem de molhamento foliar à 1,7 m na cultura; X9=temperatura média do dossel da cultura; X10=umidade relativa do dossel da cultura; X11=porcentagem de molhamento foliar à 0,3 m no posto agrometeorológico; X12=porcentagem de molhamento foliar à 0,6 m no posto agrometeorológico; X13=porcentagem de molhamento foliar à 0,9 m no posto agrometeorológico; X14=porcentagem de molhamento foliar à 1,7 m no posto agrometeorológico.

Outra Tabela que apresenta modelos com variáveis obtidas somente em posto agrometeorológico é a 4.14, onde são apresentadas as equações baseadas no modelo

Dados Básicos. De forma semelhante aos modelos da Tabela 4.13, na Tabela 4.14 o modelo que não utilizou os dados de molhamento de referência (modelo 38) foi o único que obteve somente uma equação com valores de R<sup>2</sup> acima de 0,8 (0,6 m). Nos modelos de 39 a 43, as equações das três alturas tiveram o R<sup>2</sup> acima de 0,8.

**Tabela 4.14** - Modelo Dados Básicos e suas derivações em dias com chuva.

		Equações de Regressão Linear Múltipla - Dados Básicos	R <sup>2</sup>	p-valor
38	Dados Básicos	1 PMF (0,3 m)= 0,23510 - 1,59435X3 + 1,04279X4 - 0,60169X7	0,78	<0,0001
		2 PMF (0,6 m)= 21,50663 - 2,31210X3 + 1,00136X4 - 0,78495X7	0,80	<0,0001
		3 PMF (0,9 m)= 90,1436 - 3,9681X3 + 0,5949X4 - 0,7203X7	0,74	<0,0001
39	Dados Básicos + Sensores	4 PMF (0,3 m)= -2,0255 - 1,2271X3 + 0,8773X4 - 0,5545X7 + 0,5708X13 - 0,4198X14	0,80	<0,0001
		5 PMF (0,6 m)= 16,42411 - 1,68761X3 + 0,74153X4 - 0,70949X7 + 1,04543X13 - 0,80703X14	0,85	<0,0001
		6 PMF (0,9 m)= 81,18725 - 3,04517X3 + 0,24018X4 - 0,59837X7 - 0,55481X11 + 1,96571X13 - 1,09159X14	0,83	<0,0001
40	Dados Básicos + G0,3 m	7 PMF (0,3 m)= 3,14987 - 1,36228X3 + 0,86164X4 - 0,55961X7 + 0,16312X11	0,80	<0,0001
		8 PMF (0,6 m)= 26,25339 - 1,93417X3 + 0,70635X4 - 0,71642X7 + 0,26565X11	0,84	<0,0001
		9 PMF (0,9 m)= 127,0449 - 4,0762X3 - 0,6671X7 + 0,3785X11	0,81	<0,0001
41	Dados Básicos + G0,6 m	10 PMF (0,3 m)= 2,87798 - 1,34586X3 + 0,85839X4 - 0,56932X7 + 0,15757X12	0,80	<0,0001
		11 PMF (0,6 m)= 25,80446 - 1,90800X3 + 0,70148X4 - 0,73231X7 + 0,25623X12	0,84	<0,0001
		12 PMF (0,9 m)= 125,21774 - 4,01358X3 - 0,68799X7 + 0,36498X12	0,82	<0,0001
42	Dados Básicos + G0,9 m	13 PMF (0,3 m)= 2,51343 - 1,34196X3 + 0,86259X4 - 0,55429X7 + 0,16049X13	0,80	<0,0001
		14 PMF (0,6 m)= 25,15015 - 1,90847X3 + 0,71318X4 - 0,70914X7 + 0,25665X13	0,84	<0,0001
		15 PMF (0,9 m)= 125,60774 - 4,02635X3 - 0,65421X7 + 0,37423X13	0,82	<0,0001
43	Dados Básicos + G1,7 m	16 PMF (0,3 m)= 3,97841 - 1,40278X3 + 0,87107X4 - 0,55785X7 + 0,15163X14	0,80	<0,0001
		17 PMF (0,6 m)= 27,42080 - 2,00943X3 + 0,73004X4 - 0,71569X7 + 0,23956X14	0,83	<0,0001
		18 PMF (0,9 m)= 98,5731 - 3,5368X3 + 0,2082X4 - 0,6215X7 + 0,3414X14	0,81	<0,0001

PMF=Porcentagem de molhamento foliar; X1=temperatura média do ar no posto agrometeorológico; X2=temperatura do ar na cultura; X3=temperatura mínima do ar no posto agrometeorológico; X4=umidade relativa do ar no posto agrometeorológico; X5=umidade relativa do ar na cultura; X6=vento máxima no posto agrometeorológico; X7=vento médio no posto agrometeorológico; X8=porcentagem de molhamento foliar à 1,7 m na cultura; X9=temperatura média do dossel da cultura; X10=umidade relativa do dossel da cultura; X11=porcentagem de molhamento foliar à 0,3 m no posto agrometeorológico; X12=porcentagem de molhamento foliar à 0,6 m no posto agrometeorológico; X13=porcentagem de molhamento foliar à 0,9 m no posto agrometeorológico; X14=porcentagem de molhamento foliar à 1,7 m no posto agrometeorológico.

Na Tabela 4.15, são apresentados os modelos gerados apenas com os dados de molhamento de referência em dias de chuva. As equações desta Tabela apresentaram

coeficiente de determinação entre 0,53 à 0,68, sendo que nenhuma delas foi acima de 0,8, e portanto, não são consideradas equações com alta confiabilidade para estimar o molhamento foliar.

**Tabela 4.15** - Modelo Sensores e suas derivações em dias com chuva.

		Equações de Regressão Linear Múltipla e Simples - Sensores	R <sup>2</sup>	p-valor
44	Sensores	1 PMF (0,3 m)= 20,0731 + 1,3732X13 - 0,8010X14	0,56	<0,0001
		2 PMF (0,6 m)= 15,6111 + 1,8637X13 - 1,2087X14	0,64	<0,0001
		3 PMF (0,9 m)= 9,7847 - 0,9998X11 + 3,3162X13 - 1,6697X14	0,68	<0,0001
45	G0,3 m	4 PMF (0,3 m)= 20,81761 + 0,61214X11	0,54	<0,0001
		5 PMF (0,6 m)= 16,64669 + 0,71304X11	0,62	<0,0001
		6 PMF (0,9 m)= 11,01992 + 0,74919X11	0,65	<0,0001
46	G0,6 m	7 PMF (0,3 m)= 20,53213 + 0,58051X12	0,55	<0,0001
		8 PMF (0,6 m)= 16,30207 + 0,67651X12	0,63	<0,0001
		9 PMF (0,9 m)= 10,6164 + 0,7119X12	0,66	<0,0001
47	G0,9 m	10 PMF (0,3 m)= 20,81735 + 0,59844X13	0,55	<0,0001
		11 PMF (0,6 m)= 16,73408 + 0,69474X13	0,62	<0,0001
		12 PMF (0,9 m)= 10,99182 + 0,73317	0,66	<0,0001
48	G1,7 m	13 PMF (0,3 m)= 21,91613 + 0,60388X14	0,53	<0,0001
		14 PMF (0,6 m)= 18,1125 + 0,6981X14	0,59	<0,0001
		15 PMF (0,9 m)= 12,45894 + 0,73640X14	0,63	<0,0001

PMF=Porcentagem de molhamento foliar; X11=porcentagem de molhamento foliar à 0,3 m no posto agrometeorológico; X12=porcentagem de molhamento foliar à 0,6 m no posto agrometeorológico; X13=porcentagem de molhamento foliar à 0,9 m no posto agrometeorológico; X14=porcentagem de molhamento foliar à 1,7 m no posto agrometeorológico.

Na Tabela 4.16 são apresentados os modelos 49 e 50, os quais utilizam apenas dados coletados das AEM instaladas na cultura de soja. Com exceção da equação 4 que representa a altura de 0,3 m no modelo S1,7 m, todas as outras equações obtiveram R<sup>2</sup> acima de 0,8. As equações 2, 3 e 6 obtiveram R<sup>2</sup> acima de 0,9.

**Tabela 4.16** - Modelos Dados Soja e Soja S1,7 m em dias com chuva.

Equações de Regressão Linear Simples e Múltipla		R <sup>2</sup>	p-valor
49	Dados Soja		
	1 PMF (0,3 m)= 118,00859 - 3,83207X2 + 0,50298X8	0,83	<0,0001
	2 PMF (0,6 m)= 54,11001 - 2,20750X2 + 0,19698X5 + 0,80144X8	0,92	<0,0001
	3 PMF (0,9 m)= 33,27915 - 1,32233X2 - 0,06612X5 + 1,01185X8	0,96	<0,0001
	4 PMF (0,3 m)= 14,20357 + 0,95173X8	0,77	<0,0001
50	S1,7 m		
	5 PMF (0,6 m)= 8,73739 + 1,11534X8	0,89	<0,0001
	6 PMF (0,9 m)= 2,30121 + 1,18529X8	0,95	<0,0001

PMF=Porcentagem de molhamento foliar; X1=temperatura média do ar no posto agrometeorológico; X2=temperatura do ar na cultura; X3=temperatura mínima do ar no posto agrometeorológico; X4=umidade relativa do ar no posto agrometeorológico; X5=umidade relativa do ar na cultura; X6=vento máxima no posto agrometeorológico; X7=vento médio no posto agrometeorológico; X8=porcentagem de molhamento foliar à 1,7 m na cultura;

#### 4.6 DISCUSSÃO

Analisando os modelos Dados Gerais, Dados Padrão e Dados Básicos, sem o uso dos dados de molhamento de referência para os dias sem chuva, observa-se que os modelos 1, 7 e 13 apresentaram coeficiente de determinação (R<sup>2</sup>) acima de 0,8. Já os modelos para os dias com chuva (26, 32 e 38), somente o 26 obteve R<sup>2</sup> acima de 0,8 nas três alturas, enquanto os modelos 32 e 38 obtiveram R<sup>2</sup> acima deste índice apenas na altura de 0,6 m. Em relação aos modelos 1 e 26 (Dados Gerais), gerados para os dias com e sem chuva, as variáveis que podem ter ajudado no aumento da confiabilidade das equações são os valores de temperatura e umidade relativa do ar coletados na cultura da soja, nas alturas de 0,45 e 1,7 m. Segundo Tsukahara (2004), dados de umidade relativa do ar na altura de 0,5 m no dossel da soja proporcionou melhor desempenho das equações de estimativa de DPM.

A utilização dos dados de molhamento de referência melhorou o R<sup>2</sup> dos modelos de estimativa de molhamento denominados Dados Gerais, Dados Padrão e Dados Básicos, principalmente nos terços médio e superior (0,6 e 0,9 m). Para os modelos gerados com as variáveis dos dias sem chuva, a inserção dos dados de molhamento de referência melhorou principalmente as equações do terço superior (0,9 m), enquanto que nos dias com chuva a melhora foi maior no terço médio (0,6 m). Tanto para os modelos de dias com e sem

chuva, o uso de dados de molhamento de referência influenciou menos as equações de estimativa na altura de 0,3 m, visto que este extrato da planta está mais protegido, e possui condições microclimáticas diferentes da área gramada da estação meteorológica.

Quando são inseridos os dados de molhamento de referência das quatro alturas em um mesmo modelo de estimativa, foram obtidos os maiores coeficientes de determinação (Modelos 2, 8, 14, 27, 33 e 39). No entanto, em uma estação meteorológica não seria viável a instalação de sensores de molhamento em várias alturas, e é importante avaliar em qual delas o sensor fornece os valores mais representativos para a estimativa do molhamento na cultura. Analisando-se os modelos Dados Gerais, Padrão e Básicos para os dias sem chuva, quanto à inserção dos dados de molhamento de referência, foi possível observar que os modelos que utilizaram o sensor que fica a 0,3 m de altura, apresentaram maior  $R^2$ . Já nos modelos gerados em dias com chuva houve variação de acordo com o modelo, sendo que no modelo Dados Gerais o sensor a 0,6 m foi o melhor, no Dados Padrão foram as alturas de 0,3, 0,6 e 0,9 m e no modelo Dados Básicos foram as alturas de 0,6 e 0,9 m.

Nos modelos da Tabela 4.6, foram feitas regressões simples e múltiplas, com somente a utilização de dados de molhamento de referência em dias sem chuva. O modelo 19 foi o único que apresentou  $R^2$  acima de 0,8 nas três alturas. Os modelos de 20 a 23 obtiveram  $R^2$  acima de 0,8 nas alturas de 0,6 e 0,9 m, sendo que a estimativa feita com a equação para a altura de 0,3 m, não puderam ser consideradas com boa confiabilidade. Os modelos 20 e 21, feitos a partir de regressão linear simples com os dados dos sensores de molhamento instalados nas alturas de 0,3 e 0,6 m no posto agrometeorológico, foram os modelos que melhores estimaram o molhamento da soja nas alturas de 0,6 e 0,9 m. Estes resultados concordam com Sentelhas (2004), que verificou que o uso da DPM medida a 0,3 m sobre o gramado mostrou ser viável para a estimativa da DPM no topo de diferentes culturas, resultados confirmados por trabalhos feitos por Santos et al. (2008).

Para os modelos da Tabela 4.15, também gerados com dados de molhamento de referência, mas em dias com chuva, não houve nenhuma equação com  $R^2$  acima de 0,8. A estimativa de molhamento por sensores pode não representar o molhamento que ocorre no dossel da soja em dias de chuva, uma vez que o secamento em ambientes abertos pode ocorrer rapidamente, não representando o microclima da cultura. Em observação feita por Schimitz & Grant (2009), foi verificado que os eventos de molhamento durante o dia são mais variáveis, devido ao aquecimento solar e ao secamento das plantas que pode ocorrer imediatamente após a chuva.

Para as Tabelas 4.11 e 4.16, com modelos de estimativa gerados com variáveis coletadas pelas AEM na cultura, foram verificados os maiores  $R^2$  para a altura de 0,9 m dentre todos os modelos, para os dias com e sem chuva, apesar da menor quantidade de variáveis utilizadas. Para Sentelhas (1992) e Tsukahara (2004), o uso de variáveis provenientes da cultura também melhorou os modelos de estimativa de DPM. Dentre os modelos gerados por regressão linear simples que obtiveram os melhores resultados destacam-se o G0,3 m e o Soja S1,7 m. Porém, o modelo G0,3 m teve a equação na altura de 0,3 m para os dias sem chuva e as equações para as três alturas para os dias com chuva, com valores de  $R^2$  abaixo de 0,8. Já o modelo Soja S1,7 m, obteve  $R^2$  acima de 0,8 para as três alturas, em dias com e sem chuva.

#### 4.7 CONCLUSÃO

O modelo Dados Gerais + Sensores, com maior quantidade de variáveis, obteve equações de confiabilidade similar ao modelo Dados Soja, o qual tem uma menor quantidade de variáveis, não justificando a utilização do primeiro modelo pela sua complexidade. Portanto, o modelo Dados Soja é a melhor equação linear múltipla dentre as equações analisadas.

Os modelos que utilizam somente os dados de molhamento de referência podem estimar o molhamento foliar em dias sem chuva com alta confiabilidade para as alturas de 0,6 e 0,9 m, mas para os dias com chuva estes modelos não são confiáveis.

O modelo G0,3 m, o qual utiliza os dados do sensor de molhamento foliar a 0,3 m sobre o gramado em posto agrometeorológico, mostrou ser uma boa opção de equação linear simples para estimar o molhamento foliar para o terço médio e superior da soja (0,6 e 0,9 m) para os dias sem chuva.

O modelo Soja S1,7 m, o qual utiliza os dados do sensor de molhamento foliar a 1,7 m sobre a cultura de soja, mostrou ser a melhor opção de equação linear simples para estimar o molhamento foliar nas três alturas, para dias com e sem chuva.

Os modelos para os dias com chuva, tiveram pior desempenho em relação aos modelos para os dias sem chuva.

## 5 ARTIGO C - A TEMPERATURA E A DURAÇÃO DO PERÍODO DE MOLHAMENTO NO DOSSEL DA SOJA, E A INTENSIDADE DA FERRUGEM ASIÁTICA

### 5.1 RESUMO

A doença de maior importância para a cultura da soja é a ferrugem asiática da soja (FAS) causada pelo fungo *Phakopsora pachyrhizi* (H. Sydow & P. Sydow), e a intensidade da doença está relacionada com diversos fatores, entre eles as condições ambientais. O monitoramento das variáveis ambientais é realizado por estações meteorológicas, o que pode não representar o dossel da cultura. Este trabalho objetivou acompanhar a intensidade da FAS em duas safras, com o monitoramento da temperatura do ar e a duração do período de molhamento (DPM) do dossel da cultura. O ensaio foi desenvolvido em duas safras em campo de soja em Londrina – PR (23°34' S; 51°21' W; 560m de altitude). Árvores Eletrônicas de Molhamento (AEM) e Mini Estações foram instaladas para o monitoramento das variáveis no dossel da soja, e uma estação meteorológica para a comparação dos dados. O monitoramento de uredósporos da *P. pachyrhizi* foi efetuado pelo coletor de esporos SIGA, sendo realizadas avaliações da FAS no campo. Na safra 2013/14 houve registros de temperaturas entre 33 a 37 °C e acima 37 ° no dossel da soja, condição que foi limitante à FAS. Em 2014/2015, a temperatura não ultrapassou os 35,4°C, e com condições de temperatura e DPM favoráveis ao desenvolvimento da FAS, a severidade da doença aumentou, causando desfolha precoce das plantas. Portanto, apesar de nas duas safras haver condições de DPM suficientes para a ocorrência da FAS, na safra 2013/2014 a severidade final da doença foi menor devido às temperaturas mais elevadas e a menor frequência de chuvas. Nesta mesma safra, a temperatura medida no posto agrometeorológico não representou o que foi medido no dossel da soja.

**Palavras-chave:** *Phakopsora pachyrhizi*; coletor de esporos; molhamento foliar.

### 5.2 ABSTRACT

The most important disease to the soybean crop is the Asian soybean rust (ASR) caused by *Phakopsora pachyrhizi* (H. Sydow & P. Sydow), and the intensity of the disease is related to many factors, including environmental conditions. The monitoring of environmental variables is done by weather stations, which may not represent the crop canopy. This study aimed to monitor the intensity of ASR in two seasons with the monitoring of air temperature and the leaf wetness duration (LWD) of the crop canopy. The assay was developed in two crop seasons on soybean field at Londrina - PR (23 ° 34 'S, 51 ° 21' W; 560 m altitude). Electronic trees and Mini Stations were installed for monitoring variables in soybean canopy, and a weather station for the data comparison. The monitoring urediniospores of *P. pachyrhizi* was made by SIGA spore trap, and the ASR was evaluated in the field. In the season 2013/14 records show temperature from 33 to 37 ° C and above 37 ° in soybean canopy, limiting condition to ASR. In 2014/2015, the temperature did not exceed 35.4 ° C, and temperature

and LWD suitable for the development of ASR, disease severity increased, causing premature defoliation of plants. Therefore, although in the two seasons there were enough LWD conditions for the occurrence of ASR, on the 2013/2014 crop disease severity was lower due to higher temperatures and less frequent rainfall. In the same season, the temperature measured in the agro-meteorological station did not represent what was measured in soybean canopy.

**Key-words:** *Phakopsora pachyrhizi*; spore trap; leaf wetness.

### 5.3 INTRODUÇÃO

A ferrugem asiática da soja (FAS), causada pelo fungo *Phakopsora pachyrhizi*, é a doença de maior importância econômica para a cultura da soja por causar perdas de produtividade de até 86 % (GODOY et al., 2009). Desde o primeiro relato da *P. pachyrhizi* no Brasil em 2001, diversos trabalhos foram desenvolvidos para compreender a etiologia deste fungo e buscar melhores estratégias de controle. Os fatores necessários para que a FAS ocorra são explicados pelo triângulo da doença, com a interação do hospedeiro, do patógeno e do ambiente. Para a detecção do patógeno antes da ocorrência da infecção nas plantas podem ser utilizados equipamentos “coletores de esporos” (IGARASHI et al., 2014; GARDIANO et al., 2010; IGARASHI & BALAN, 2004). Dentre as condições ambientais favoráveis para a ocorrência da FAS, destacam-se a duração do período de molhamento (DPM) de 6 a 12 horas e temperaturas de 15 a 28 °C (MELCHING et al., 1989). Para a germinação dos uredósporos da *P. pachyrhizi*, a temperatura ótima determinada por análise estatística de regressão ficou estabelecida entre 21,8 a 23,4 °C (BONDE et al., 2007; BLUM et al., 2015). A chuva é o elemento meteorológico que mais se correlaciona com a incidência e severidade da FAS (DEL PONTE et al., 2006), por aumentar o fluxo de vento e a flutuação de uredósporos da *P. pachyrhizi*, deixando a temperatura mais amena, trazendo ao ambiente grande quantidade de água na forma de umidade relativa do ar e molhamento foliar. Em períodos em que o molhamento não é um limitante para o evento da infecção da FAS, a temperatura pode restringir a ocorrência desta doença. Segundo BONDE et al. (2012), a *P. pachyrhizi* é sensível a temperaturas acima de 33°C, mesmo quando exposto por breves períodos, pois limita a produção de uredósporos e o número de lesões nas folhas. E, visto que o microclima nas lavouras é afetado pela estrutura, arquitetura e altura das plantas (SENTELHAS et al., 2005), a duração do período de molhamento e a temperatura medidas

pelas estações meteorológicas nas condições padrão dos postos agrometeorológicos podem não representar o que realmente ocorre no dossel das plantas.

O objetivo do trabalho foi acompanhar a intensidade da ferrugem asiática da soja em duas safras, com o monitoramento da temperatura e da duração do período de molhamento medidos no dossel da cultura.

#### 5.4 MATERIAL E MÉTODOS

Os ensaios foram desenvolvidos nas safras agrícolas de 2013/2014 e 2014/2015, no município de Londrina – PR (23°34'23" S; 51°21'24" W; 560 m de altitude), em solo Latossolo Vermelho eutrófico (EMBRAPA, 2013). O clima da região é do tipo Cfa, classificado por Köppen, onde a temperatura média anual é de 21,1 °C e a precipitação média anual acumulada de 1605 mm (IAPAR, 2015).

Nas safras a semeadura ocorreu em: 26 de outubro de 2013 e 21 de novembro de 2014. A cultivar utilizada foi a BMX Potência RR, com espaçamento entrelinhas de 0,45 m e 19 plantas m<sup>-1</sup> linear. A adubação de base utilizada foi o N:P:K 0:20:20 com a dose de 300 kg ha<sup>-1</sup>. Para o acompanhamento da soja durante a safra foi utilizada a metodologia de descrição dos estádios de desenvolvimento proposta por Fehr & Caviness (1977), revisada por Ritchie et al. (1994). De acordo com a necessidade, foi feito o controle das pragas, plantas daninhas e doenças da soja, com exceção da FAS.

Foram demarcadas quatro parcelas, estas com largura e comprimento de 20m, e no interior de cada uma foram delimitadas parcelas subdivididas de 12 m de comprimento por 3 m de largura, onde foi avaliada a FAS. No estádio V6 da soja foram instaladas “Árvores Eletrônicas de Molhamento” (AEM) (MOREIRA et al., 2011; GUEDES et al., 2013) no centro de cada parcela. As AEM possuem 16 sensores distribuídos em quatro alturas (0,3; 0,6; 0,9 e 1,7 m), mas para este trabalho foram utilizados os sensores na altura de 0,6 m, para representar a DPM total (horas) no terço médio da soja, onde a FAS foi avaliada. Foram instaladas também oito “Mini Estações” (GUEDES, 2013; GUEDES et al., 2014), que são equipamentos compostos de um abrigo meteorológico com sensores de temperatura e umidade relativa do ar, e com um compartimento hermeticamente fechado com os componentes eletrônicos. Cada uma das Mini Estações foram instaladas entre as parcelas subdivididas, para medir a temperatura do ar (°C) e a umidade relativa do ar (%) a 0,45 m de

altura no dossel das plantas de soja. Também foi utilizada uma estação Oregon Scientific™ modelo WMR200A, instalada a 50m do experimento, em área gramada do posto agrometeorológico. Os dados coletados pelos equipamentos foram ordenados por hora, totalizando 24 dados diários.

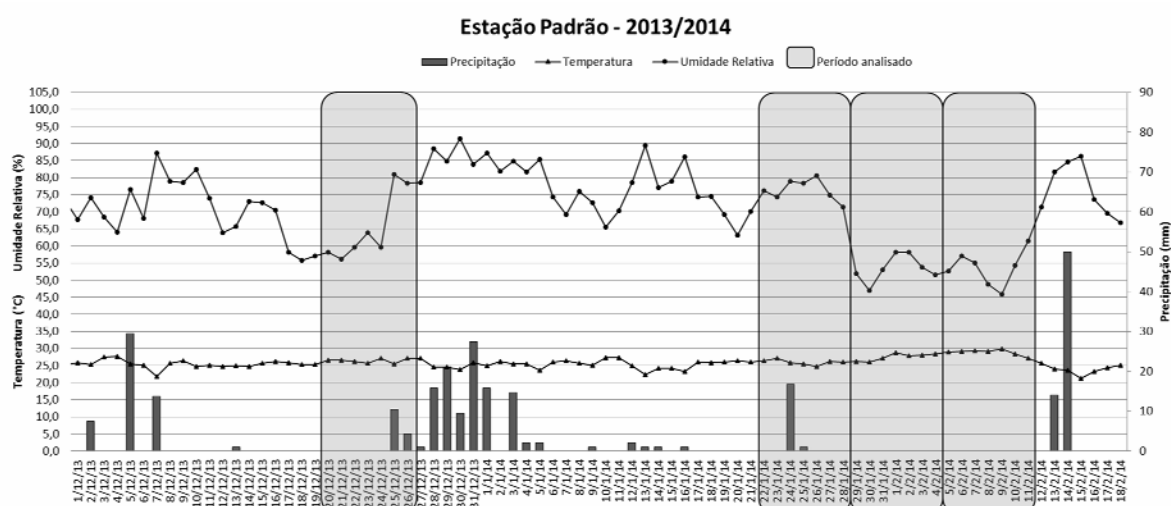
Para monitorar os uredósporos da *P. pachyrhizi*, foram instalados dois “Coletores de Esporos SIGA” (IGARASHI & BALAN, 2004) quando a soja alcançou o estágio fenológico V4, possibilitando a identificação do patógeno antes da infecção nas plantas. A instalação foi realizada de acordo com a direção predominante do vento (L-O), sendo instalado um coletor na extremidade leste da área experimental e o outro foi instalado no centro da área. Para a coleta dos uredósporos, foram utilizadas lâminas de microscopia com fita adesiva dupla face, acoplado em suporte de plástico instalado na parte frontal no coletor de esporos SIGA. Estas foram levadas a análise em um microscópio óptico comum, duas vezes por semana, possibilitando a identificação e a quantificação dos uredósporos. Com a confirmação da flutuação de uredósporos na área, os dados meteorológicos médios dos sete dias posteriores foram analisados, representando o ambiente que influenciou o patógeno.

A partir da infecção das plantas pela *P. pachyrhizi*, a intensidade da doença (incidência e severidade) foi avaliada em quatro folíolos no terço médio da soja, em quatro pontos aleatórios dentro das parcelas subdivididas, baseando-se na escala diagramática proposta por GODOY et al. (2006).

Os valores de temperatura e umidade relativa do ar utilizados para justificar a ocorrência da FAS foram provenientes das Mini estações instaladas na cultura, e os dados da estação meteorológica serviram apenas como um comparativo, por ser uma medida padrão no gramado. Embora as médias de temperatura sejam úteis para as previsões de doenças (PIVONIA & YANG, 2005), eles não representam os efeitos provocados pelas altas temperaturas, por isso as máximas serão mais representativas para este trabalho. As temperaturas entre 33 e 37 °C foram consideradas neste trabalho como “temperaturas elevadas”, e acima de 37 °C como “temperaturas muito elevadas”, e foram baseadas em estudos feitos em laboratório por BONDE et al. (2012). Segundo os mesmos autores citados anteriormente, não foi constatado nenhum efeito da umidade relativa ar sobre o número de lesões da FAS nas folhas e sobre a produção dos uredósporos da *P. pachyrhizi*, portanto, esta variável não foi utilizada para a fundamentação da FAS. As análises dos dados de temperatura do ar, duração do período de molhamento e da intensidade da FAS foram realizadas pela estatística descritiva.

## 5.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na safra 2013/2014 a primeira detecção uredósporos da *P. pachyrhizi* ocorreu no dia 20/12/2013, quando a soja estava em estágio R2. No entanto, não foram observados sintomas da FAS nos dias seguintes. No dia 22/01/2014, uredósporos de *P. pachyrhizi* foram detectados novamente com a soja em estágio R5.3, sendo que após 6 dias observou-se os primeiros sintomas da FAS. Foram analisadas as variáveis meteorológicas do dia 20/12/13 a 11/02/14, o qual foi um período com baixa precipitação e temperaturas elevadas (Figura 5.1).



**Figura 5.1** - Dados de precipitação (mm), temperatura média do ar (°C) e umidade relativa média do ar (%), da safra 2013/2014.

No período do dia 20/12 a 26/12 foram detectados 2 uredósporos da *P. pachyrhizi*, sendo que de acordo com a Tabela 5.1, havia 13,3 horas de DPM média neste período. Esta DPM fornece condições suficientes para a ocorrência da FAS, já que MELCHING et al. (1989) afirmam que a *P. pachyrhizi* necessita de 6 a 12 horas de molhamento foliar. No entanto as temperaturas no período verificado foram elevadas, sendo constatadas 21 horas de temperatura entre 33 e 37 °C e 2 horas acima de 37 °C registradas no dossel da soja (Tabela 5.1).

**Tabela 5.1** - Período com temperaturas elevadas e muito elevadas nos períodos avaliados, e temperaturas máxima do ar, temperatura média do ar, e duração do período de molhamento (DPM) na safra 2013/2014.

	Período	Temperatura máxima (Período de 7 dias)		Temperatura máxima (Período de 168 horas)		Temperatura do ar (°C)		DPM (horas)
		Entre 33 °C e 37 °C (dias)	Acima de 37 °C (dias)	Entre 33 °C e 37 °C (horas)	Acima de 37 °C (horas)	Máx.	Média	
	20/12 a 26/12/13	6	2	21	2	39,0	26,0	13,3
Mini	22/01 a 28/01/14	3	0	7	0	35,7	24,9	13,6
Estação	29/01 a 04/02/14	7	6	21	28	41,4	26,3	12,3
	05/02 a 11/02/14	7	7	13	46	44,3	28,4	11,6
	20/12 a 26/12/13	6	1	25	1	37,0	26,4	-
Estação	22/01 a 28/01/14	7	1	20	1	38,4	26,0	-
	29/01 a 04/02/14	7	5	33	20	39,9	27,3	-
	05/02 a 11/02/14	7	6	22	34	41,8	28,8	-

BONDE et al. (2012) determinaram em seus estudos que a *P. pachyrhizi* é sensível a temperaturas superiores a 33 °C, mesmo durante breves exposições, como por exemplo 1 hora. Em estudos em laboratório (BONDE et al., 2007; BLUM et al., 2015), foi determinado que a temperatura afeta o crescimento do tubo germinativo e a germinação de uredósporos, da mesma maneira que afeta o desenvolvimento inicial da FAS. Após o dia 26/12 não foram verificados sintomas da FAS no campo. As possíveis causas da não ocorrência da infecção pela *P. pachyrhizi* são a temperatura elevada, o período de 11 dias sem precipitação antes da detecção dos uredósporos, e a baixa quantidade de uredósporos detectados pelo coletor. Del Ponte (2006) e Canteri et al. (2007), relataram que a ocorrência de precipitação tem forte efeito sobre as epidemias de FAS, no entanto enfatizam que existem outras variáveis importantes além das condições ambientais, como o inóculo inicial do fungo, que explica a diferença da severidade da doença em semeaduras antecipadas ou tardias.

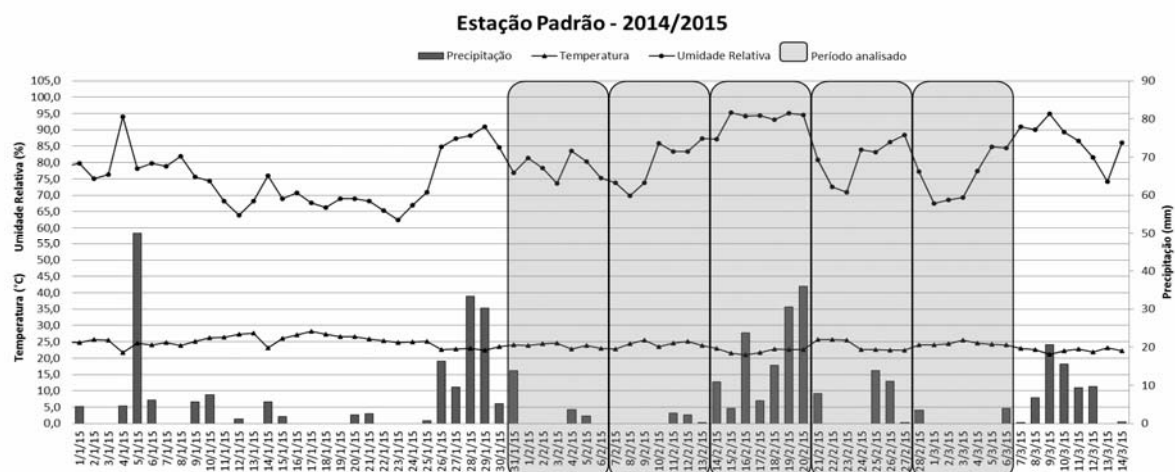
No período de 22/01/14 a 28/01/14, com a soja no estádio R5.3, foram detectados 43 uredósporos da *P. pachyrhizi*, sendo registrados 13,6 horas de DPM média. A temperatura máxima registrada no dossel da soja foi de 35,7 °C, na qual 3 dias apresentaram temperaturas entre 33 e 37 °C e não foi marcado nenhuma temperatura acima de 37 °C. No dia 28/01/14, ainda no estádio R5.3 os primeiros sintomas da FAS foram detectados, com

46,9 % de incidência e menos de 0,6 % de severidade. Nesta segunda detecção de uredósporos, houve DPM favorável, menor quantidade de registros de temperaturas elevadas e muito elevadas, além de ter sido detectada uma maior quantidade de flutuação de uredósporos. Estes fatores podem ter contribuído para a ocorrência da FAS neste momento, o que não ocorreu no dia 20/12/13.

Do dia 29/01 ao dia 04/02/14 houve aumento da temperatura (Tabela 5.1), com 12,3 horas de DPM média e 10 uredósporos da *P. pachyrhizi* detectados. A máxima registrada foi de 41,4 °C, com todos os dias marcando temperaturas de 33 a 37 °C (total de 21 horas) e 6 dias com temperatura acima de 37 °C (total de 28 horas). Nestes dias, as plantas continuaram no estágio R5.3, e na avaliação da FAS feita no dia 03/02 foram mensurados 28,1 % de incidência das folhas com menos de 0,6 % de severidade.

Do dia 05/02 a 11/02 as temperaturas medidas foram ainda mais elevadas que o período anterior, com 11,6 horas de DPM e apenas 1 uredósporo da *P. pachyrhizi* detectado. A temperatura máxima foi de 44,3 °C, com os 7 dias marcando temperaturas de 33 a 37 °C (total de 13 horas) e acima de 37 °C (total de 46 horas). Na última avaliação da FAS foram mensurados 59,4 % de incidência foliar, e menos de 0,6 % de severidade. Este período com temperaturas muito elevadas e sem chuva, aceleraram a queda prematura de folhas da soja (LIM et al., 2007), impedindo o enchimento de grãos, e agindo como um fator limitante a FAS por cessar a produção de uredósporos e inibir a infecção pela *P. pachyrhizi*.

Na safra 2014/2015, a primeira detecção de uredósporos da *P. pachyrhizi* ocorreu no dia 31/01/2015, quando a soja estava em início de formação de vagens (R3), sendo que os primeiros sintomas foram observados no dia 12/02/15 com a soja em enchimento de grãos (R5.2). Foram analisadas as variáveis meteorológicas do dia 31/01 a 06/03, o qual foi um período chuvoso e com temperaturas amenas (Figura 5.2), com poucos registros de temperaturas entre 33 a 37 °C feitos pelas Mini Estações no dossel da soja (Tabela 5.2).



**Figura 5.2** - Dados de precipitação (mm), temperatura média do ar (°C) e umidade relativa média do ar (%), da safra 2014/2015.

**Tabela 5.2** - Período com temperaturas elevadas e muito elevadas nos períodos avaliados, e temperaturas máxima do ar, temperatura média do ar, e duração do período de molhamento (DPM) na safra 2014/2015.

	Período	Temperatura máxima (Período de 7 dias)		Temperatura máxima (Período de 168 horas)		Temperatura do ar (°C)		DPM (horas)
		Entre 33 °C e 37 °C (dias)	Acima de 37 °C (dias)	Entre 33 °C e 37 °C (horas)	Acima de 37 °C (horas)	Máx.	Média	
Mini Estação	31/01 a 06/02/15	1	0	1	0	33,5	22,9	14,6
	07/02 a 13/02/15	0	0	0	0	31,6	23,1	15,3
	14/02 a 20/02/15	0	0	0	0	27,5	21,8	18,8
	21/02 a 27/02/15	1	0	2	0	34,0	22,9	14,5
	28/02 a 06/03/15	5	0	12	0	35,4	24,0	14,6
Estação	31/01 a 06/02/15	0	0	0	0	32,2	23,7	-
	07/02 a 13/02/15	0	0	0	0	32,0	24,2	-
	14/02 a 20/02/15	0	0	0	0	27,5	22,1	-
	21/02 a 27/02/15	0	0	0	0	32,2	23,8	-
	28/02 a 06/03/15	0	0	0	0	31,4	24,4	-

A partir da primeira detecção de uredósporos do dia 31/01 com a soja em estádio R3, foram analisados o período dos 7 dias posteriores (Tabela 5.2). Durante este período foram detectados 14 uredósporos da *P. pachyrhizi*, com 14,6 horas de DPM. Destes dias, apenas 1 hora no dia 03/02 obteve temperaturas máximas de 33 a 37 °C, que foi a máxima registrada de 33,5 °C, não sendo registradas temperaturas acima de 37 °C. Apesar da

presença de uredósporos da *P. pachyrhizi*, da temperatura e DPM favoráveis ao fungo, não foi observado a manifestação de sintomas da FAS.

Dos dias 07/02 a 13/02/15 foram medidos 15,3 horas de DPM, temperatura máxima de 31,6 °C, sem registros de temperaturas elevadas (Tabela 5.2). Neste período, com a soja em estádio R5.1, foram detectados 59 uredósporos da *P. pachyrhizi*, sendo observados os primeiros sintomas da FAS no dia 12/02, com 75% de incidência e menos de 0,6 de severidade. Com a constante flutuação de uredósporos, e com as condições de temperatura e DPM favoráveis, os sintomas iniciais da FAS se manifestaram 13 dias depois da detecção dos primeiros uredósporos, em estádio R5.1. De acordo com ZAMBENEDETTI MAGNAMI et al. (2007), apesar do período de incubação da *P. pachyrhizi* ser de seis dias, existe variação de seis a 12 dias para o período latente. Já KOCKMAN (1979), relata que o período latente tem a possibilidade de durar 14 dias com temperaturas de 7 a 17° C, nove dias em 17 a 27° C e 11 dias em temperaturas de 22 a 32° C.

Quando a soja estava em R5.2 (14/02 a 20/02), choveu todos os dias (Figura 5.2), totalizando 124,2 mm, nos quais foram registrados no dossel da soja 18,8 horas de DPM, com a detecção de 295 uredósporos da *P. pachyrhizi*. Não foram registradas temperaturas acima de 33 °C no dossel da soja (Tabela 5.2). No dia 19/02 foi feita uma nova avaliação da FAS, sendo constatados 100 % de incidência 5,5 % de severidade, demonstrando aumento da doença em relação à última avaliação. Este aumento se justifica, já que os uredósporos vinham sendo detectados desde o dia 31/01, e as condições de temperatura e DPM foram muito favoráveis (Tabela 5.2).

Na semana do dia 21/02 a 27/02, choveu menos que a semana anterior (75,6 mm) e houve elevação da temperatura, entretanto as condições continuaram favoráveis à ocorrência da FAS (Tabela 5.2), sendo detectados 5213 uredósporos da *P. pachyrhizi*, e 14,5 horas de DPM. No dia 23/01, com soja em R5.3, foram registradas as temperaturas mais elevadas de 33,3 e 34 °C às 14:00 e 15:00 horas. Sendo esta a quarta semana após a detecção dos primeiros uredósporos com condições favoráveis ao desenvolvimento da FAS, verificou-se aumento da severidade para 26,8%, com uma grande quantidade de uredósporos capturados pelo coletor SIGA.

No último período analisado (28/02 a 06/03) choveu menos que nos períodos anteriores (16,4 mm), e foram registradas as temperaturas mais elevadas desde a detecção dos primeiros uredósporos, com 14,6 horas de DPM, e a detecção de 4437 uredósporos da *P. pachyrhizi*. Entre dias 02/03 a 06/03, foram registradas temperaturas entre 33 e 37 °C, totalizando 12 horas em 5 dias com temperaturas elevadas, nos quais a

temperatura máxima foi de 35,4 °C. Contudo, na avaliação feita no dia 01/03 houve aumento da FAS para 43,7 % de severidade, já que a temperatura não ultrapassou os 37 °C, havia DPM favorável, e a quantidade de uredósporos na área estava muito elevada. Ainda foi feita mais uma avaliação no dia 06/03, na qual foram mensurados 54,7 % de severidade. Esta severidade da FAS provocou a desfolha precoce das folhas de soja (LIM et al., 2007), cessando o enchimento dos grãos antes que estes estivessem completos, e impedindo novas avaliações de severidade da FAS.

Neste trabalho, na medida em que as temperaturas acima de 37 °C foram tornando-se mais frequentes, o número de uredósporos da *P. pachyrhizi* coletados pelo coletor de esporos foi diminuindo, até não serem mais detectados. Em contrapartida, quando ocorreram temperaturas favoráveis ao desenvolvimento da FAS com regularidade, com poucos registros de temperaturas entre 33 e 37 °C, a proporção da doença nas folhas e o número de uredósporos detectados aumentou muito. Em experimento realizado por BONDE et al. (2012), foi constatado que o número máximo de produção de uredósporos por área de lesão ocorreu de 25 até 29 °C; de 31 °C para cima, a produção foi diminuindo, até chegar a zero em temperaturas acima de 37 °C. A quantidade de horas com temperaturas elevadas e acima de 37 °, pode explicar a diferença de severidade final entre as safras, já que a DPM foi suficiente para a ocorrência da FAS nas duas safras.

No entanto, 2014 foi um ano com temperaturas acima da média histórica, não sendo comum a temperatura medida em posto agrometeorológico ultrapassar os 37 °C em Londrina (IAPAR, 2015). Quando se trata da FAS, deve-se considerar também os outros fatores que influenciam na sua ocorrência, como a frequência de precipitação durante a safra de soja (DEL PONTE et al. 2006), e o inóculo inicial da *P. pachyrhizi* antes da infecção efetiva sobre a cultura, com o uso de equipamento coletores de esporos (IGARASHI et al., 2014).

O registro de temperaturas do ar no dossel da soja e em estação demonstra que as variações de temperaturas ocasionadas pelas condições de tempo, podem ser diferentes entre os microclimas, conforme ocorreu na safra 2013/2014 (Tabela 5.1). Os dados medidos no dossel da soja, pode trazer informações mais representativas, tanto para os modelos de previsão de doenças como para a tomada de decisão no controle fitossanitário. Ainda assim, seriam necessários mais estudos para saber ao certo quantas horas com temperatura acima de 37 °C mediadas no dossel da soja inviabilizariam a ocorrência da FAS.

## 5.6 CONCLUSÃO

Nas duas safras houve condições de DPM suficientes para a ocorrência da FAS, no entanto, na safra 2013/2014 a severidade final da doença foi menor devido às temperaturas mais elevadas e a menor frequência de chuvas. Nesta mesma safra, a temperatura medida no posto agrometeorológico não representou o que foi medido no dossel da soja.

## 6 CONCLUSÕES GERAIS

Com relação aos artigos A e B, verifica-se ser possível estimar o molhamento foliar a partir de modelos de estimativa empíricos. Contudo, os modelos empíricos gerados com variáveis obtidas em posto agrometeorológico não foram os modelos com os maiores coeficientes de determinação ( $R^2$ ), mesmo quando houve a inserção de dados de molhamento de referência (sensores de molhamento instalados em posto agrometeorológico). Os modelos que obtiveram os maiores  $R^2$  foram os que utilizaram em suas equações variáveis meteorológicas obtidas na cultura, mesmo com menor quantidade de dados de entrada. Em linhas gerais, os modelos gerados por variáveis mais frequentemente medidas em estações meteorológicas (temperatura do ar, umidade relativa do ar, vento), apresentam equações com maior  $R^2$  para o terço inferior e médio da cultura (0,3 e 0,6 m), ao mesmo tempo que os modelos gerados com a utilização de dados de sensores de molhamento, apresentam equações com  $R^2$  maior para o terço superior da cultura (0,9 m). Pode-se notar também, que independente das variáveis utilizadas para gerar os modelos, as equações para os dias com chuva possuem menor  $R^2$  do que as equações para os dias com ausência de precipitação. Em relação ao manejo da ferrugem asiática da soja, estimativas de molhamento foliar nos terços inferior e médio (0,3 e 0,6 m) podem trazer informações importantes, principalmente no momento do controle fitossanitário. Os resultados do artigo C, demonstram que as temperaturas elevadas podem inviabilizar a ocorrência da ferrugem asiática da soja, mesmo quando há condições de molhamento foliar, e que a temperatura do ar medida em posto agrometeorológico pode não representar o que ocorre no dossel da cultura.

## REFERÊNCIAS

- AKINSANMI, O. A.; LADIPO, J.L.; OYEKAN, P.O. First report of soybean rust (*Phakopsora pachyrhizi*) in Nigeria. **Plant Disease**, v.85, n.1, 97p., 2001.
- ALMEIDA, de H.A.; MACHADO, R. C. R. Estimativa da duração do período de molhamento por orvalho em um ecossistema cacau. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.13, n.6, p.724-728, 2009.
- ALMEIDA, A.M.R. et al. Doenças de soja. In: KIMATI, H.; AMORIM, L.; REZENDE, J.A.M.; BERGAMIN FILHO, A. **Manual de Fitopatologia**. v.2, ed.4. Piracicaba, Livrocere, 2005. p. 376-399.
- ALVES, S.A.M.; FURTADO, G.Q.; BERGAMIM FILHO, A. Influência das condições climáticas sobre a ferrugem da soja. In: ZAMBOLIM, L. (Ed.). **Ferrugem Asiática da Soja**. Visconde do Rio Branco: Suprema, 2006. p.37-59.
- AMADOR, J.P. **Duração do período de molhamento por orvalho: estimativa baseada em parâmetros meteorológicos e comparação do desempenho de instrumentos de medição**. 1987. 69p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba. 1987.
- ANDRADE-PIEDRA, J.L. et al. Simulation of potato late blight in the Andes. II: Validation of the LATEBLIGHT Model. **Phytopathology**, v.95, n.10, p.1200-1208, 2005.
- ARMSTRONG, R.; BARTHKUR, N.N.; NORRIS, E. A comparative study of three leaf wetness sensors. **International Journal of Biometeorology**, Logan, v.37, p.7-10, 1993.
- BALARDIN, R.S. **Bases para o manejo da ferrugem asiática (*Phakopsora pachyrhizi*)**. Workshop, 2010. p. 341-342. Disponível em: <[http://www.acsoja.org.ar/mercosoja2006/Contenidos/workshops/roya\\_01.pdf](http://www.acsoja.org.ar/mercosoja2006/Contenidos/workshops/roya_01.pdf)> Acessado em: 19 mar. 2012.
- BALARDIN, R. Armas contra a ferrugem. **Revista Cultivar**, Pelotas, RS, ago. 2003. n. 55, p.20-23.
- BANDYOPADHYAY, R.; OJIAMBO, P.S.; TWIZEYIMANA, M.; ASAFO-ADJEI, B.; FREDERICK, R.D.; PEDLEY, K.F.; STONE, C.L.; HARTMAN, G.L. First Report of Soybean Rust Caused by *Phakopsora pachyrhizi* in Ghana. **Plant Disease**, v.91, n.8, p.1057-1057, 2007.
- BARNES, C.W.; SZABO, L.J.; BOWERSOX, V.C. Identifying and quantifying *Phakopsora pachyrhizi* spores in rain. **Phytopathology**, 99:328-338, 2009.
- BARROS, H.B.; SANTOS, M.M.; PELÚZIO, J.M.; ROCHA, R.N.C.; SILVA, R.R.; VENDRUSCO, J.B. Desfolha na produção de soja (*Glicine max* ‘M-SOY 109’), Cultivada no cerrado, em Gurupi-TO, Brasil. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v.18, n.2, p.5-10, 2002.

BECK, L.F.; MILES, M.R.; STEILAGE, T.A.; HARTMANN, G.L. Urediniospore release and escape from rust-infected soybean fields. In: NATIONAL SOYBEAN RUST SYMPOSIUM, St. Louis, 2006. **Proceedings**. St. Paul: APS, 2006.

BEDENDO, I.P. **Ambiente e doença**. In: BERGAMIN FILHO, A.; KIMATI, H.; AMORIM, A. Manual de fitopatologia. 3ª ed. São Paulo: Agronômica Ceres, 1995. v.1, p.331-341.

BERGAMIN FILHO, A.; AMORIM, L. **Doenças de plantas tropicais: epidemiologia e controle econômico**. Piracicaba: Ed. Ceres. 1996. 299p.

BERTON, O; MELZER, R. **Sistema de alerta para o controle da sarna da macieira**. Florianópolis: EMPASC, 1989. 75 p.

BLUM, M.M.C. et al. In vitro effect of substrate, temperature and photoperiod on *Phakopsora pachyrhizi* urediniospore germination and germ tube growth. **Summa Phytopathologica**, v.41, n.2, p.101-106, 2015.

BONDE, M.R.; NESTER, S.E.; BERNER, D.K. Effects of daily temperature highs on development of *Phakopsora pachyrhizi* on soybean. **Phytopathology**, v.102, p.761-768. 2012.

BONDE, M. R. et al. Effects of temperature on urediniospore germination, germ tube growth, and initiation of infection in soybean by *Phakopsora* isolates. **Phytopathology**, v.97, p.997-1003. 2007.

BONDE, M.R.; NESTER, S.E.; AUTIN, C.N.; STONE, C.L.; FREDERICK, R.D. HARTMAN, G.L.; MILES, M.R. Evaluation of virulence of *Phakopsora pachyrhizi* and *P. meibomia* isolates. **Plant Disease**, St. Paul, v.90, n.6, p.708-716, 2006.

BRASMAX. **BMX Potência RR**. Disponível em:  
<<http://www.brasmaxgenetica.com.br/frontend/html/potencia.html>> Acesso em: 12 set. 2015.

BROMFIELD, K.R. Soybean Rust. Monograph, n.11. **The American Phytopathological Society**, St. Paul, 65p. 1984.

BROMFIELD, K.R.; HARTWIG, E.E. Resistance to soybean rust and mode of inheritance. **Crop Science**, Madison, v.20, n.2, p.254-255, 1980.

CAMARGO, L.E.A. Análise genética da resistência e da patogenicidade. In: BERGAMIN FILHO, A.; KIMATI, H.; AMORIM, L. (Ed.). **Manual de fitopatologia: princípios e conceitos**. São Paulo: Ceres, 1995. p.470-491.

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

CANTERI, M.G. Mapas de Risco de Epidemias. In: XXXVII Congresso Brasileiro de Fitopatologia, Gramado. **Fitopatologia Brasileira**. v.29, p.27-28, 2004.

CARISSE, O.; KUSHALAPPA, A.C. Development of an infection model for *Cercospora carotae* on carrot based on temperature and leaf wetness duration. **Phytopathology**, Saint Paul, v.80, p.1233-1238, 1990.

CARLINI, R.C.; MULITERNO, M.M.; GARCÉS, F.R.; REIS, E.E.M. Efeito da concentração de folhas de soja em substratos para a germinação e crescimento do tubo germinativo de *Phakopsora pachyrhizi*. **Tropical Plant Pathology**, v.34 (Suplemento) p.117 (Resumo). 2009.

COSTAMILAN, L.M.; BERTAGNOLLI, P.F.; YORINORI, E.J.T. Perda de rendimento de grãos de soja causada por ferrugem asiática (*Phakopsora pachyrhizi*). **Fitopatologia Brasileira**, v.27 (Suplemento), p.100 (Resumo). 2002.

CROWE, M.J., COAKLEY, S.M, AND EMGE, R.G. Forecasting dew duration at Pendleton, Oregon, using simple weather observations. **Journal of Applied Meteorology**, v.17, p.1482-1487, 1978.

CUNHA, J.P.A.R; PERES, T.C.M. Influência de pontas de pulverização e adjuvante no controle químico da ferrugem asiática da soja. **Acta Scientiarum**. v.32, n.4, p.597-602, 2010.

DALLA MARTA, A., et al. Influence of different sensor positions on leaf wetness duration measurements and their effect on the simulation of *Plasmopara viticola*. **Idojaras**, v.108, p. 253-263, 2004.

DALLA MARTA, A.; MAGAREY, R.D.; ORLANDINI, S. Modelling leaf wetness duration and downy mildew simulation on grapevine in Italy. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.132, p.84- 95, 2005.

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

DEL PONTE, E.M.; ESKER, P.D. Considerações epidemiológicas na avaliação de risco e manejo da ferrugem asiática da soja. In: **XL Congresso Brasileiro de Fitopatologia**, 2007, Maringá. *Fitopatologia Brasileira*, 2007. v. 32. p. 58-60.

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

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

DEL PONTE, E.M.; et al. Giberela do trigo – Aspectos epidemiológicos e modelos de previsão. **Fitopatologia Brasileira**, v.29, n.6, p.587-605, 2004.

DUFAULT, N.S., et al. Removal of wet deposited *Phakopsora pachyrhizi* urediniospores from soybean leaves by subsequent rainfall. **Plant Disease**, v.94, p.336-1340, 2010.

DURIGON, A.; J. VAN LIER, Q. Duração do período de molhamento foliar: Medição e estimativa em feijão sob diferentes tratamentos hídricos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.17, n.2, p.200-207, 2013.

- EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro: EMBRAPA-SPI, 2013. (Centro Nacional de Pesquisa de Solos). ISBN 978-85-7035-198-2
- EMBRAPA SOJA. **Tecnologias de Produção de Soja – Paraná – 2007**. (Embrapa Soja, Sistemas de Produção nº 5). Londrina, 2006.
- FEHR, W.R.; CAVINESS, C.E. **Stages of soybean development**. Ames: Iowa State University of Science and Technology, 1977. 11p. (Special Report, 80).
- FORMENTO, A.N.; SOUZA, J.; CRACOGNA, M. **Sampling uredinospores of *Phakopsora* spp. with spore trap in Argentina**. 2010. Disponível em: <https://www.plantmanagementnetwork.org/infocenter/topic/soybeanrust/symposium/posters/9.pdf> Acessado em 20 maio 2015.
- FRANÇA, M.B. de M. et al. Distributed wireless data acquisition system for prediction of fungal diseases on plantations. **IEEE Transactions On Instrumentations and Measurement**, v.6, 2012.
- FURTADO, G.Q. et al. The Infection of Soybean Leaves by *Phakopsora pachyrhizi* during Conditions of Discontinuous Wetness. **Journal of Phytopathology**, v.159, p.165-170. 2010.
- GARCÉS, F.R. **Efeito de programas de aplicação de fungicidas no progresso da ferrugem, no seu controle e na área foliar da soja**. 2010. Dissertação de Mestrado em Agronomia/Fitopatologia. Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo. 100 p. 2010.
- GARDIANO, C.G. et al. Manejo químico da ferrugem asiática da soja, baseado em diferentes métodos de monitoramento. **Arquivo Instituto Biológico**, v.77, n.3, p.497-504, 2010.
- GILLESPIE, T.J.; HORST, G.L.; YUEN, G.Y. A site-specific sensor for measuring leaf wetness duration within turfgrass canopies. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v.81, p.145-156, 1996.
- GETZ, R.R. **Report on the measurement of leaf wetness**. Report to WMO, Commission for Instruments and methods of Observation. 9p. 1991.
- GILLESPIE, T.J.; DUAN, R.X.A. Comparison of cylindrical and flat plate sensors for surface wetness duration. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.40, p.61-70, 1987.
- GILLESPIE, T.J.; KIDD, G.E. Sensing duration of leaf moisture retention using electrical impedance grids. **Canadian Journal of Plant Science**, v.58, p.179-187, 1978.
- GLEASON, M.L; TAYLOR, S.E; LOUGHIN, T.M; KOEHLER, K.J. Development and validation of an empirical model to estimate duration of dew periods. **Plant disease**, Saint Paul, v. 78, p. 1011-1016, 1994.
- GODOY, C.V. et al. Eficiência do controle da ferrugem asiática da soja em função do momento de aplicação sob condições de epidemia em Londrina, PR. **Tropical Plant Pathology**, Brasília, v. 34, p. 56-61. 2009.

GODOY, C.V. et al. Histórico do vazio sanitário como medida de manejo da ferrugem asiática da soja. **Embrapa Soja**, CP 231, Londrina, Paraná. Abril, 2006.

GODOY, C.V.; KOGA, L.J., CANTERI, M.G. Diagrammatic scale for assessment of soybean rust severity. **Fitopatologia Brasileira**. Brasília, DF, v.31, n.1, p.63-68, jan./fev. 2006.

GODOY, C.V.; CANTERI, M.G. Efeitos protetor, curativo, e erradicante de fungicidas no controle da ferrugem da soja causada por *Phakopsora pachyrhizi*, em casa de vegetação. **Fitopatologia Brasileira**. Brasília, DF, v.29, n.1, p.97-101, 2004.

GUEDES, A.L. et al. Uma plataforma para desenvolvimento de redes de sensores sem fios aplicada à agrometeorologia. In: **Anais do XX Congresso Brasileiro de Automática**. Belo Horizonte, MG, 20 a 24 de Setembro de 2014.

GUEDES, A. L. **Uma plataforma de hardware e software para desenvolvimento de rede de sensores sem fio aplicada à agrometeorologia**. 2013. 76 p. Dissertação (Mestrado) - Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Estadual de Londrina, PR.

GUEDES, A.L. et al. A Distributed and Wireless Data Acquisition System to Fight Against Sugarcane Orange Rust. **Controle & Automação** (Impresso), v.65, p. 1-13, 2013.

GUEDES, A.L. **Uma plataforma de hardware e software para desenvolvimento de rede de sensores sem fio aplicada à agrometeorologia**. 2013. 76 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Estadual de Londrina, PR.

GUYOT, J.; OMANDA, E.N.; PINARD, F. Some epidemiological investigations on *Colletotrichum* leaf disease on rubber tree. **Crop Protection**, Oxford, v.24, n.1, p.65-77, 2005.

HEAGLE, A.S.; MOORE, M.B. Some effects of moderate adult resistance to crown rust of oats. **Phytopathology**, St. Paul, v.60, n.3, p.461- 466, 1970.

HENNING, P. Einige neue japanische Uredineen IV. **Hedwigia Beiblatt**, v.42, p.107-108, 1903.

HIRANO M.; HIKISHIMA, M.; SILVA, A.; XAVIER, S.; CANTERI, M. Validação de escala diagramática para estimativa de desfolha provocada pela ferrugem asiática em soja. **Summa Phytopathologica**, Botucatu, v.36, p.248-250, 2010.

HUBBER, L.; GILLESPIE, T.J. Modeling leaf wetness in relation to plant disease epidemiology. **Annual Review of Phytopathology**, Palo Alto, v. 30, p. 553-577, 1992.

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

IGARASHI, S.; BALAN, M.G. **Ferrugem na Soja**. Direto do Vale. Vale do Paranapanema. v.1, p.1-8. , 6 ago, 2004.

IGARASHI, W.T. et al. Duração e porcentagem de molhamento foliar determinados pelo espaçamento entrelinhas, e influência sobre a ferrugem asiática da soja. **Summa Phytopathologica**, v.40, n.2, p.123-127, 2014.

INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ. **Médias históricas em estações do Paraná.**

Disponível em:

<[http://www.iapar.br/arquivos/Image/monitoramento/Medias\\_Historicas/Londrina.htm](http://www.iapar.br/arquivos/Image/monitoramento/Medias_Historicas/Londrina.htm)>.

Acesso em: 17/07/2015.

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

JAKOB, A. A. E. **Estudo da correlação entre mapas de variabilidade de propriedades do solo e mapas de produtividade para fins de agricultura de precisão.** 1999. 145 f.

Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia agrícola – FEAGRI, Campinas, 1999.

JULIATTI, F.C. Perdas causadas por doenças na cultura da soja, com ênfase na ferrugem asiática. In: **I WORKSHOP DE EPIDEMIOLOGIA DE DOENÇAS DE PLANTAS.** Viçosa, MG, p.81-94. 2004.

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

KILLGORE, E., AND R. HEU. First report of soybean rust in Hawaii. **Plant Disease** 78: 1216. 1994.

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

KIM, K.S. et al. Model to enhance site-specific estimation of leaf wetness duration. **Plant Disease**, Saint Paul, v. 86, n. 2, p. 179-185, 2002.

KITAMURA, E. A. **Inter-relações da variabilidade especial da granulometria do solo e a produtividade do feijoeiro sob plantio direto.** 2004. 109 f. Dissertação (Mestrado em Sistemas de Produção) - UNESP, Ilha Solteira, 2004.

KOCHMAN, J.K. 1979. The effect of temperature on development of soybean rust (*Phakopsora pachyrhizi*). **Australian Journal of Agricultural Research** 30: 273-277. (In: Fiallos, F. R. G. A ferrugem asiática da soja causada por *Phakopsora pachyrhizi* Sydow e Sydow. 2011.

KRUIT et al. **Comparison between four methods to estimate leaf wetness duration caused by dew on grassland.** In: Conferende on Agricultural and Forest Meteorology, Vancouver. American Meteorological Society: Vancouver, Britttish Columbia, Canada. v.26, 2004.

- LAU, Y.F.; GLEASON, M.L.; ZRIBA, N.; TAYLOR, S. E; HINZ, P.N. Effects of coating, deployment angle, and compass orientation on performance of electronic wetness sensors during dew periods. **Plant Disease**, Saint Paul, v.84, p. 192-197, 2000.
- LEVY, C. Epidemiology and chemical control of soybean rust in Southern Africa. **Plant Disease** 89: 669-674. 2005.
- LIM, P.O. et al. Leaf senescence. **Annual review of plant biology**. Palo Alto, v.58, n. 1, p. 115-136, 2007.
- MADEIRA, A.C. et al. A simple cloud-based energy balance model to estimate dew. **Agricultural and Forest Meteorology**, n.111, p.55-63, 2002.
- MAGAREY, R.D. **A theoretical standard for estimation of surface wetness duration in grape**. Ph.D. Dissertation. Cornell University, Ithaca, NY, USA, 1999.
- MARCHETTI, M.A.; MELCHING, J.S.; BROMFIELD, K.R. The effects of temperature and dew period on germination and infection by uredospores of *Phakopsora pachyrhizi*. **Phytopathology**, v.66, p.461-463, 1976.
- MARTA, A.D. et al. Leaf wetness duration in sunflower (*Helianthus annuus*): Analysis of observations, measurements and simulations. **European Journal of Agronomy**, v.26, p.310-316, 2007.
- MAWUENA, G. Preliminary observations on soybean rust incidence in Togo. **Soybean Rust Newsletter** 5: 20–21. 1982.
- MELCHING, J.S. et al. Effects of duration, frequency, and temperature of leaf wetness periods on soybean rust. **Plant Disease**, v.73, p.117-122. 1989.
- MONTEIRO, J.E.B.A. **Microclima e ocorrência de ramulose no algodoeiro em diferentes densidades populacionais**. Piracicaba, 2002. 99p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – PPGFAA/ESALQ/USP. 2002.
- MONTEITH, J.L.; UNSWORTH, M.H. Principles of Environmental Physics. 2nd ed. New York: **Routledge**, 291p. 1990.
- MONTEITH, J.L. Dew: Facts and fallacies. In: RUTTER, A. J., WHITEHEAD, F. H. The water relations of plants. Oxford: **Blackwell Scientific Publications**, p. 37-56. 1963.
- MOREIRA, M. et al. Árvore Eletrônica para Estudo da Duração do Período de Molhamento Foliar. In: VIII Congresso Brasileiro de Agroinformática. **Resumos...** Bento Gonçalves: VIII Congresso Brasileiro de Agroinformática, p. 1-5, 2011.
- MOREL, W.; YORINORI, J. T. Situación de la roya de la soja en el Paraguay. Centro Regional de Investigación Agrícola-CRIA, **Capitan Miranda**. (Boletín Divulgativo, 44). 4 p. 2002.
- NICOLINI, F.; REIS, E.M.; ZOLDAN, S.M.; DANELLI, A.L.D.; ZANATTA, M.; AVOZANI, A.; TONIN, R.B.; GARCÉS, F. R. Efeito de temperaturas na germinação de

uredosporos de *Phakopsora pachyrhizi*. **Tropical Plant Pathology**, v.35 (Suplemento): S143 (Resumo). 2010.

OHM, J.W.; SHANER, G.E. Three components of slow leaf-rusting at different growth stages in wheat. **Phytopathology**, St. Paul, v.66, n.11, p.1356-1360, 1976.

OLIVEIRA, A.C.B. de; GODOY, C.V.; MARTINS, M.C. Avaliação da tolerância de cultivares de soja à ferrugem asiática da soja no Oeste da Bahia. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 30, v.6, p. 658-662, 2005.

PAPASTAMATI, K.; MCCARTNEY, H.A.; VAN DEN BOSCH, F. Modelling leaf wetness duration during the rosette stage of oilseed rape. **Agricultural and Forest Meteorology**. v.123, p.69-78, 2004.

PARLAVELIET, J.E. Identification and evaluation of quantitative resistance. In: Leonard, K.J.; Fry, W.E. (Ed.). **Plant disease epidemiology**. Dordrecht: Kluwer, p. 215-248. 1989.

PARLAVELIET, J.E. Components of resistance that reduce the rate of epidemic development. **Annual Review of Phytopathology**, Palo Alto, v.17, p.203-22, 1979.

PELUZIO, J.M.; BARROS, H.B.; ROCHA, R.N.C.; SILVA, R.R.; NASCIMENTO, I. R. Influencia do desfolhamento artificial no rendimento de grãos e componentes de produção da soja [*Glycine max* (L.) Merrill]. **Ciência e agrotecnologia**, Lavras. v.26, n.6, p.1197- 1203, 2002.

PEREIRA, A.R.; ANGELOCCI, L.R.; SENTELHAS, P.C. **Agrometeorologia: fundamentos e aplicações práticas**. Guaíba: Agropecuária, 478p. 2002.

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

PRETORIUS, Z.A.; KLOPPERS, F.J; FREDERICK, R.D. First report of soybean rust in South Africa. **Plant Disease** v.85(12):1288. 2001.

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

REIS, E.M.; BRESOLIN, A.C.R; CARMONA, E.M. **Doenças da soja I: Ferrugem asiática**. Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo. 2006.

REIS, E.M., SARTORI, A.F.; CAMARA, R.K. Modelo climático para a previsão da ferrugem da soja. **Summa Phytopathologica**, v.30, p.290-292, 2004.

REIS, E.M.; BRESOLIN, A.C.R. Ferrugem da soja: revisão e aspectos técnicos. Em: Reis, E. M. (Ed.). **Doenças na Cultura da Soja. Aldeia Norte**, Passo Fundo. p. 55-70. 2004.

REIS, E.M.; CASA, R.T.; MICHEL, C. Ocorrência de epidemia da ferrugem da soja no Rio Grande do Sul na safra 2001/2002. **Fitopatologia Brasileira**, v.27 (Suplemento): S198 (Resumo). 2002.

RIBEIRO, A.L.P.; COSTA, E.C. Desfolhamento em estádios de desenvolvimento da soja, cultivar BR 16, no rendimento de grãos. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.30, n.5, p.767-771, 2000.

RITCHIE, S.W.; HANWAY, J.J.; THOMPSON, H.E.; BENSON, G.O. **How a soybean plant develops**. Ames, Iowa State University of Science and Technology: Cooperative Extension Service, 20p. (Special Report, 53). 1994.

ROSEMBERG, N.J.; BLAD, B.L.; VERMA, S.B. **Microclimate**: the biological environment. New York: John Wiley, 495p. 1983.

ROSSI, R. L. First report of *Phakopsora pachyrhizi*, the causal organism of Soybean Rust in the province of Misiones, Argentina. **Plant Disease** 87:102. 2003.

SANTOS, E.A.; SENTELHAS, P.C.; PEZZOPANE, J.E.M.; ANGELOCCI, L.R.; MONTEIRO, J.E.B.A. Spatial variability of leaf wetness duration in Cotton, coffee and banana crop canopies. **Sci. Agric.** (Piracicaba, Braz.), v.65, special issue, p.18-25, 2008.

SCHMITZ, H.F.; GRANT R.H. Precipitation and dew in a soybean canopy: Spatial variations in leaf wetness and implications for *Phakopsora pachyrhizi* infection. **Agricultural and Forest Meteorology**. V. 149 p.1621–1627, 2009.

SENTELHAS, P.C. et al. Spatial variability of leaf wetness duration in different crop canopies. **International Journal of Biometeorology**, New York, v. 49, p.363-370, 2005.

SENTELHAS P.C.; MONTEIRO, J.; GILLESPIE, T. “Electronic leaf wetness duration sensor: why it should be painted,” **International Journal of Biometeorology**, vol. 48, pp. 202–205, 2004. [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.1007/s00484-004-0200-z>

SENTELHAS, P.C. **Duração do período de molhamento foliar: aspectos operacionais de sua medida, variabilidade especial em diferentes culturas e sua estimativa a partir do modelo de Penman-Monteith**. 2004. 161 p. Tese (Livre-Docência) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.

SENTELHAS, P.C. **Ocorrência de helmintosporiose e de oídio na cultura do trigo sob diferentes condições microclimáticas**. Dissertação de Mestrado, ESALQ/USP. 103p. 1992.

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

SZTEJNBERG, A.; WAHL, I. Mechanisms and stability of slow stem rusting resistance in *Avena sterilis*. **Phytopathology**, St. Paul, v.66, n.1, p.74-80, 1976.

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

TSUKAHARA, R.Y. **Sistema de suporte à tomada de decisão para o manejo fitossanitário nos Campos Gerais do Paraná**, 2004. Dissertação. 113p. (Mestrado em Agronomia), Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2004.

URBEN, A.F.; MENDES, M.A.S. Ocorrência de *Phakopsora pachyrhizi* Sydow em Soja Procedente da Bahia. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, DF, v.28, p.233, ago. 2003.

UTIAMADA, C.A. Doenças da cultura da soja. **Correio Agrícola**, São Paulo, SP, n.02, p.04-05, jul./dez. 2003.

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

VALE, F.X.R; JESUS JUNIOR, W.C; ZAMBOLIM, L.Z. **Epidemiologia aplicada ao manejo de doenças de plantas**. Belo Horizonte: Perfil, 2004.

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

WALLIN, J.R. Agrometeorological aspects of dew. **Agricultural Meteorology**, v.42, p.85-102, 1967.

WHAL, I.; WILCOXSON, R.D.; ROWELL, J.B. Slow rusting of wheat with stem rust detected in the glasshouse. **Plant Disease**, St. Paul, v.64, n.1, p.54-56, 1980.

WITTICH, K.P. Some remarks on the dew duration on top of an orchard. **Agricultural and Forest meteorology**, Amsterdam, v. 51, p. 145-158, 1990.

YAMAOKA, Y., FUJIWARA, Y., KAKISHIMA, M., KATSUYA, K., YAMADA, K. & HAGIWARA, H. Pathogenic races of *Phakopsora pachyrhizi* on soybean and wild host plants collected in Japan. **Journal of General Plant Pathology**, Tóquio, v.68, n.1, p. 52-56, 2002.

YORINORI, J.T. A ferrugem “Asiática” da soja no continente americano: evolução, importância econômica e estratégias de controle. In JULIATTI, F.C.; POLIZEL, A.C. HAMAWAKI, O.T. (Org.) In: **WORKSHOP BARSILEIRO SOBRE A FERRUGEM ASIÁTICA**, 1., 2005, Uberlândia. Coletânea. Uberlândia: EDUFU, 2005. p.21-37.

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

YORINORI, J.T.; MOREL, P.W.; FREDERICK, R.D.; COSTAMILIAN, L.M.; BERTAGNOLLI, P.F. Epidemia de ferrugem da soja (*Phakopsora pachyrhizi*) no Brasil e no Paraguai, em 2001 e 2002. **Fitopatologia Brasileira**, v.27, (Suplemento): S178 (Resumo). 2002a.

YORINORI, J. T.; PAIVA, W.M.; FREDERICK, R.D.; FERNANDEZ, P.F.T. Ferrugem da soja (*Phakopsora pachyrhizi*) no Brasil e no Paraguai, nas safras 2001/01 e 2001/02. **Anais: Congresso Brasileiro de Soja 2002**, v.94 (Resumo). 2002b.

YORINORI, J.T.; PAIVA, W.M. Peste vermelha. **Revista Cultivar**, Pelotas, RS, n. 41, p.16-18, jul. 2002.

YORINORI, J.T.; YORINORI, M.A.; GODOY, C.V. Seleção de cultivares de soja resistentes à ferrugem “asiática” (*Phakopsora pachyrhizi*). In: XXX Reunião Sul de Soja da Região Sul, 30., 2002, **Cruz Alta**. Anais. Cruz Alta, Embrapa, 2002. p.94.

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

**ANEXOS**

## ANEXO A

## Safrá 2011/2012

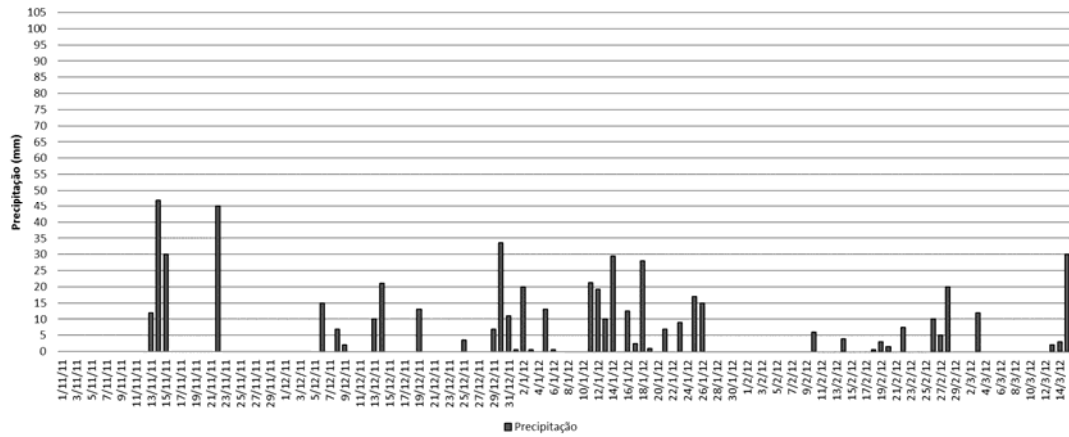


Figura 6.1 – Precipitação pluviométrica na safra 2011/2012.

## Safrá 2012/2013

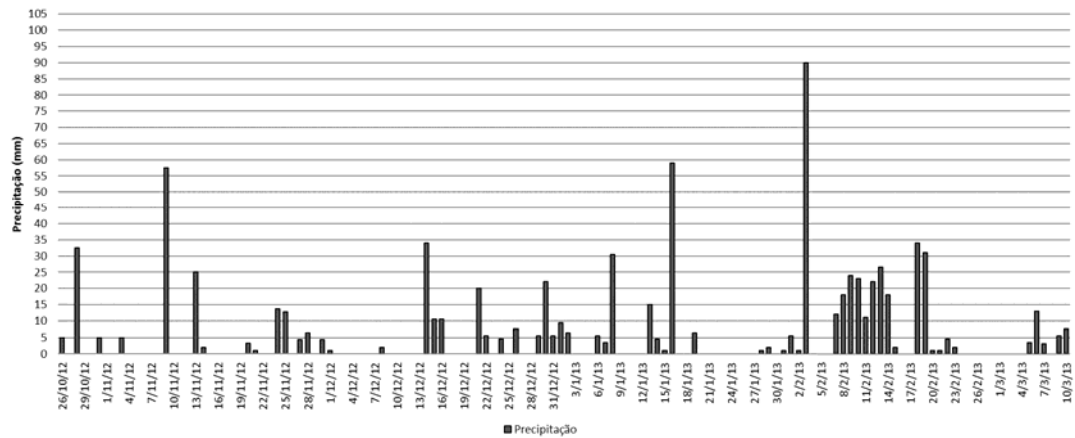


Figura 6.2 – Precipitação pluviométrica na safra 2012/2013.

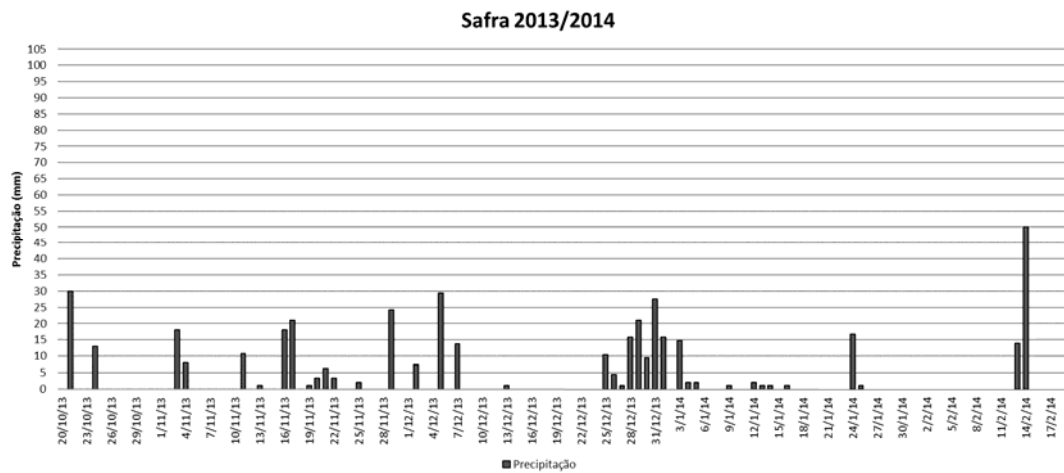


Figura 6.3 – Precipitação pluviométrica na safrá 2013/2014.

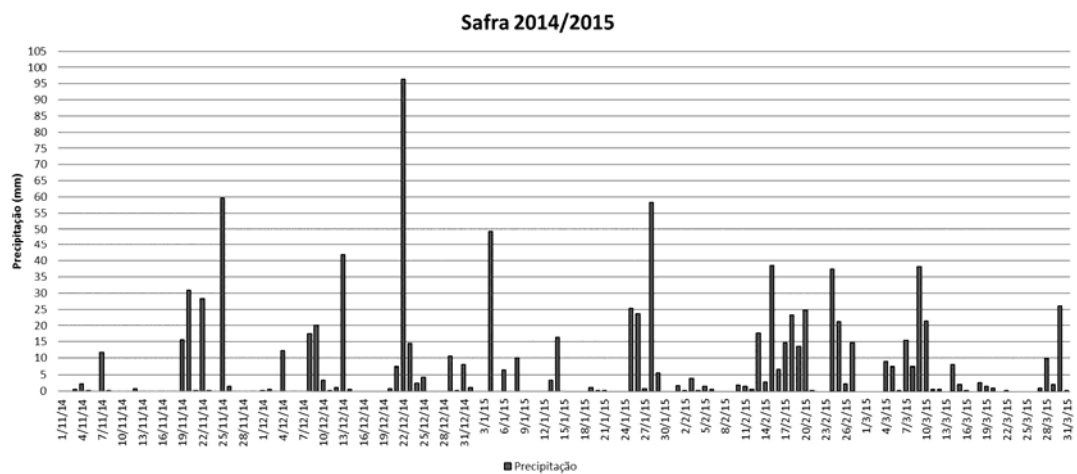


Figura 6.4 – Precipitação pluviométrica na safrá 2014/2015.