

GUSTAVO FINHOLDT

**DESENVOLVIMENTO E AVALIAÇÃO DE UM SISTEMA
AUTOMÁTICO DE ALERTA DE DOENÇAS EM PLANTAS**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2012

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e
Classificação da Biblioteca Central da UFV**

T

F497d
2012

Finholdt, Gustavo, 1978-

Desenvolvimento e avaliação de um sistema automático de
alerta de doenças em plantas / Gustavo Finholdt. – Viçosa,
MG, 2012.

ix, 87f. : il. (algumas col.) ; 29 cm.

Orientador: Everardo Chartuni Mantovani.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.

Inclui bibliografia.

1. Estações meteorológicas. 2. Agricultura - Previsão.
3. Instrumentos e aparelhos científicos. 4. Engenharia
eletrônica. 5. Fitopatologia. I. Universidade Federal de
Viçosa. II. Título.

CDD 22. ed. 551.5

GUSTAVO FINHOLDT

**DESENVOLVIMENTO E AVALIAÇÃO DE UM SISTEMA
AUTOMÁTICO DE ALERTA DE DOENÇAS EM PLANTAS**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

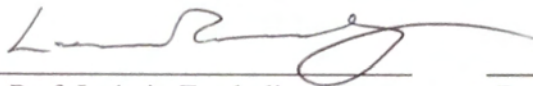
Aprovada: 02 de agosto de 2012.



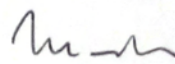
Prof. Denilson Eduardo Rodrigues



Prof. Gregório Guirado Faccioli



Prof. Laércio Zambolim
(CO-ORIENTADOR)



Prof. Paulo Marcos de Barros Monteiro



Prof. Everardo Chartuni Mantovani
(ORIENTADOR)

Ao meu amado filho,
motivo de extrema felicidade,
refúgio dos meus momentos difíceis.

*Que Deus me faça forte e bom o suficiente
para fazer de você um grande homem.*

*À minha querida mãe, que sempre será motivo de boas lembranças,
de amor, de determinação, de fidelidade, de lealdade e de tudo
que seja bom, mas que eu não esteja lembrando no momento.*

Saudades imensuráveis

AGRADECIMENTOS

A Deus, por me possibilitar chegar até onde cheguei; confiando-me tarefas cada vez mais difíceis para meu crescimento pessoal.

À minha amada família, que me proporcionou todo carinho e amor, fortalecendo-me para a difícil transposição dos obstáculos.

À minha querida esposa, por estar ao meu lado nos momentos difíceis.

Ao meu sogro, sogra, prima Madalena e Dê; sem os quais dificilmente eu teria conseguido concluir esta etapa de minha vida.

Ao estimado professor e amigo Everardo Chartuni Mantovani, pelas oportunidades, pelo apoio e ensinamentos, pessoais e profissionais.

À Universidade Federal de Viçosa e ao Departamento de Engenharia Agrícola, pela oportunidade de realizar o curso.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudos.

Aos professores Gilberto Chohaku Sedyama, Laércio Zambolim e Paulo José Hamakawa, pelos ensinamentos pessoais e acadêmicos.

À empresa Irriplus Equipamentos Científicos Ltda., pelo auxílio no desenvolvimento desse projeto; em especial para Jackson, Francisco e Diego, pela amizade e auxílio no desenvolvimento deste projeto.

À Lavoura e Pecuária Igarashi Ltda., pela oportunidade de aperfeiçoamento acadêmico e profissional. E aos seus colaboradores que me trataram como irmão, facilitando ao máximo todos os obstáculos enfrentados; em especial ao Xaxim e ao Rodrigo, que estiveram sempre ao meu lado.

Aos amigos do Grupo de Estudos e Soluções para Agricultura Irrigada (GESAI) pela amizade e pelo companheirismo.

BIOGRAFIA

GUSTAVO FINHOLDT, filho de Carlos Finholdt Júnior e Vera Lúcia do Nascimento Finholdt, nasceu em 03 de dezembro de 1978, na cidade de Uberaba, MG, Brasil.

Em 1994, ingressou no curso de Habilitação Profissional de Técnico em Processamento de Dados, concluindo-o em 1997.

Em 1998, iniciou o curso técnico de Informática Industrial, concluindo-o em 1999.

Nesse mesmo ano, iniciou o curso de Engenharia Elétrica, com ênfase em Automação Industrial, na Universidade de Uberaba, concluindo-o em 2003.

Em 2006, iniciou o mestrado na área de Concentração em Recursos Hídricos e Ambientais do programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa, defendendo a dissertação em julho de 2008.

Em agosto de 2008, ingressou no doutorado na área de Concentração em Recursos Hídricos e Ambientais do programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa, submetendo sua tese à defesa em 02 de agosto de 2012.

SUMÁRIO

RESUMO	viii
ABSTRACT	ix
INTRODUÇÃO GERAL	1
REFERÊNCIAS	5
CAPÍTULO 1: DESENVOLVIMENTO E TESTE DE CONSISTÊNCIA DE UM SENSOR DE MOLHAMENTO FOLIAR.....	9
Introdução	9
Material e Métodos	12
Resultados e Discussão.....	18
Conclusão	21
Referências	22
CAPÍTULO 2: DESENVOLVIMENTO E TESTE DE UM SISTEMA DE ALERTA FITOSSANITÁRIO PARA DOENÇAS EM PLANTAS	25
Introdução	25
Material e Métodos	33
Resultados e Discussão.....	42
Conclusão	50
Referências	51
CAPÍTULO 3: IMPLEMENTAÇÃO DE SISTEMA DE ALERTA PARA A REQUEIMA NAS CULTURAS DA BATATA E TOMATE	56
Introdução	56
Material e Métodos	63
Resultados e Discussão.....	71
Conclusão	82
Referências	83
CONCLUSÃO GERAL.....	87

RESUMO

FINHOLDT, Gustavo, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, agosto de 2012. **Desenvolvimento e avaliação de um sistema automático de alerta de doenças em plantas.** Orientador: Everardo Chartuni Mantovani. Coorientadores: Laércio Zambolim e Gilberto Chohaku Sedyama.

A batata e o tomate estão entre os alimentos mais consumidos no Brasil e suas produtividades são muito afetadas pelas doenças fúngicas, as quais, dependendo das condições climáticas e do tipo de controle realizado em campo, levam à perda de toda uma lavoura em poucos dias. Com isso, tornam-se mais frequentes as pesquisas na área da fitopatologia, com vistas a reduzir o impacto dos fungos sobre tais culturas. O manejo integrado de doenças, juntamente com o avanço da tecnologia na área eletrônica, é uma união determinante no momento de minimizar ou erradicar tal problema. Um dos fatores que afetam a incidência de doença é o molhamento foliar, pois relaciona-se com o desenvolvimento dos patógenos e, apesar dos avanços nas pesquisas, é ainda de difícil determinação com exatidão em condições de campo. Com isso, desenvolveu-se um sensor de molhamento foliar, estudando-se as influências da resistência elétrica que condiciona seu sinal e altera o tempo de vida útil, da camada de tinta protetora sobre a resposta do sensor e, utilização do sensor em duas safras. Estudou-se a variabilidade de 24 sensores em paralelo, criando-se três aquisidoras eletrônicas para registro e análise dos dados, concluindo-se que a resistência elétrica ideal é de 8,2 M Ω para uma menor variabilidade e maior durabilidade dos sensores, e com três camadas de tinta de proteção e tratamento térmico. Sua reutilização entre duas safras não influenciou significativamente sua variabilidade. Utilizando três desses sensores por equipamento, além de um termômetro e um higrômetro, desenvolveu-se uma estação meteorológica automática para alerta de doença em plantas, reduzindo sua complexidade no uso diário, aumentando a confiabilidade de suas leituras e estimativas, facilitando sua aquisição e manutenção, pela simplicidade e operacionalidade. O sistema foi instalado e testado em condições de campo para as culturas da batata e tomate na Chapada Diamantina-BA, estimando a severidade da doença de forma objetiva e operacional. Observou-se a operacionalidade do equipamento, com um manuseio simplificado e dessa forma confiável para as condições do sistema no campo.

ABSTRACT

FINHOLDT, Gustavo, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, August 2012. **Development and evaluation of an automatic warning system for plant diseases.** Adviser: Everardo Chartuni Mantovani. Co-advisers: Laércio Zambolim and Gilberto Chohaku Sedyama.

Potatoes and tomatoes are among the most consumed foods in Brazil and their productivities are very affected by fungal diseases, which, depending on weather conditions and on the type of control performed in the field, lead to loss of an entire crop in a few days. Therefore, researches in the area of phytopathology have become more frequent in order to reduce the impact of fungi on such crops. The integrated management of diseases, along with the advancement of electronics technology, is a crucial union when it comes to minimize or eliminate this problem. One of the factors that affect the incidence of disease is leaf wetness, since it is related to the development of pathogens and, despite advances in research, it is still difficult to determine with accuracy in field conditions. In order to solve this problem, we developed a leaf wetness sensor, by studying the influences of electrical resistance which determines their sign and changes their life cycle, of the protective ink layer on the sensor response, and using the same sensor in two crops. We studied the variability of 24 sensors in parallel, by creating three datalogger to record and analyze data, concluding that the electrical resistance of 8.2 M Ω is ideal for a smaller variability and durability of the sensors, and three layers of paint protection and heat treatment. Reusing the same sensor between two crops did not significantly influence its variability. Using three of these sensors for equipment, besides a thermometer and a hygrometer, we developed an automatic weather station for plants disease warning, reducing their complexity in everyday use, increasing the reliability of their readings and estimates, facilitating their acquisition and maintenance by simplicity and operability. The system was installed and tested in field conditions for crops of potatoes and tomatoes in Chapada Diamantina, Bahia/Brazil, estimating disease severity objectively and operational. We observed the functionality of the equipment, with a simplified handling and, therefore, its reliability for the conditions of the system in the field.

INTRODUÇÃO GERAL

A preocupação com a atual e a futura falta de alimentos no mundo leva o homem a dedicar parte significativa do seu tempo procurando alternativas para aumentar a produtividade dos alimentos produzidos e reduzir as possibilidades de perdas das atuais produções. As culturas da batata e do tomate são importantes componentes da dieta básica dos brasileiros, tendo essas culturas necessidade de alta produtividade para sua viabilidade econômica e para atender a demanda nacional e exportações (BERGAMIN FILHO; KIMATI, 1995).

As culturas da batata e do tomate são muito afetadas pela doença fúngica denominada requeima, causada pelo fungo *Phytophthora infestans*, o qual, dependendo do microclima local e do controle fúngico inadequado, pode chegar a dizimar toda uma lavoura.

Uma maior produção de alimentos pode ser atingida por meio de uma proteção vegetal mais eficiente. Essa proteção, ao controlar as doenças fúngicas, permite que as plantas expressem seu potencial produtivo (VALE *et al.*, 2007; DUARTE *et al.*, 2007a). Porém, nos casos em que não se faz um controle adequado dessas doenças, reduz-se a produtividade da cultura, o que geralmente leva a perdas financeiras, ao endividamento e, talvez, até ao abandono da atividade agrícola. Tal redução pode ser na quantidade ou qualidade dos alimentos produzidos.

Dentre as doenças fúngicas mais importantes da batateira e do tomateiro, destacam-se a pinta-preta, causada pelo fungo *Alternaria grandis* (*A. Solani*), e a requeima, causada pelo *Phytophthora infestans* (VALE *et al.*, 2007).

Quanto maior for a severidade causada pela doença da pinta-preta do tomateiro, menor será a produção de tomates. Em condições meteorológicas favoráveis para a doença, o patógeno reduz a área foliar do tomateiro, forçando o hospedeiro a captar menor quantidade de fotoassimilados para o crescimento, manutenção e futura produção da planta (RIVERA HERNÁNDEZ *et al.*, 2007).

Há inúmeros relatos demonstrando a eficiência dos fungicidas no controle de doenças de plantas. Duarte *et al.* (2007a) relatam um experimento com redução de até 97% da produção quando não são realizados tratamentos fúngicos sistêmico e protetor. Costa *et al.* (2002) observaram, em outro experimento, uma produção de 26,8 t ha⁻¹ no qual se tiveram aplicações de fungicidas, e 8,4 t ha⁻¹ para o tratamento sem controle (testemunha).

Outros relatos de redução na produtividade (com e sem aplicação de fungicida) da batateira em relação à requeima variaram de 6,7 t ha⁻¹ (BOSCO *et al.*, 2009) a 24,8 t ha⁻¹ (TÖFOLI *et al.*, 2005); para o tomateiro, a redução foi de 57,0 t ha⁻¹ (DUARTE *et al.*, 2007a) e 62,1 t ha⁻¹ (DUARTE *et al.*, 2007b).

O problema é que, ao se tentar controlar as doenças fúngicas, geralmente se aplicam agrotóxicos em excesso, criando outros problemas, tais como: contaminação dos alimentos produzidos, riscos à saúde dos consumidores e aplicadores, aumento no custo de produção, poluição ambiental, entre outros (BARRETO *et al.*, 2004; ZAMBOLIM *et al.*, 1990).

De um modo geral, as aplicações de defensivos agrícolas são feitas de forma sistemática, seguindo um calendário de aplicações semanais, em que não se considera a favorabilidade do ambiente à ocorrência de doenças. A favorabilidade é detectada no monitoramento das condições microclimáticas. O fato de se aplicarem fungicidas com base em calendários atrai a maioria dos produtores, pelo fato de se poderem organizar os horários das aplicações, reduzindo o risco de danos à cultura (VALE *et al.*, 1999).

Entretanto há inúmeros relatos de sucesso no controle de doenças pelo critério da favorabilidade do clima, determinando se o ambiente está ou não favorável à ocorrência de doenças. Duarte *et al.* (2007a) verificaram uma diferença na produtividade do tomate de 35,3 t ha⁻¹. Tal diferença foi causada pela alta favorabilidade de ocorrência de doenças que o sistema com base no calendário não detecta. Portanto, verifica-se que, ao se utilizarem sistemas com base em calendários em ambientes altamente favoráveis, pode-se ter uma baixa produtividade. Por outro lado, se forem usados em ambientes com baixa favorabilidade, tem-se um excesso de aplicações de fungicidas.

O manejo integrado de doenças de plantas implica na combinação de métodos que proporcionam o controle racional das doenças. A integração de sistemas que identificam a favorabilidade do desenvolvimento das doenças fúngicas em plantas é fundamental no manejo integrado de doenças em plantas, entre outros fatores (VALE *et al.*, 1999).

Sendo assim, cada vez mais, intensificam-se as pesquisas do uso dos sistemas de previsão de doenças de plantas. Esses sistemas são uma ferramenta utilizada no manejo integrado e auxiliam na tomada de decisão sobre a necessidade ou não de se adotar alguma medida de controle. Porém, não se recomenda utilizar o termo previsão, visto que tal denominação sugere que se conheça o futuro. Recomenda-se utilizar o termo

alerta ou aviso, já que, para o controle das doenças, a tomada de decisão é obtida com base em medidas da temperatura ambiente, da umidade relativa do ar, do molhamento foliar, da cultura, do patógeno ou de uma combinação desses fatores e essas medidas são feitas no passado ou, no máximo, no presente (BARRETO *et al.*, 2004).

Espera-se com a adoção dos sistemas de previsão, alcançar uma menor ocorrência de epidemias severas e um maior lucro, com a redução no número de aplicações e na determinação dos melhores momentos das aplicações e, conseqüentemente, uma maior produtividade com custos mais baixos. Por fim, espera-se alcançar também uma menor poluição ambiental devido à racionalização dos defensivos químicos (BERGAMIN FILHO; AMORIM, 1995).

Segundo Fry (1982), para que um sistema de alerta de doença em planta possa ser caracterizado como acurado e confiável, é necessário que tenha sido desenvolvido com atenção a três fatores importantes: 1) a tecnologia suficiente para detectar as doenças nas plantas; 2) a adequada compreensão que o ambiente e o hospedeiro exercem sobre o desenvolvimento do patógeno e da doença; e 3) o conhecimento sobre a dinâmica da atuação do patógeno sobre a cultura.

Existem vários sistemas de alerta de doenças em plantas, porém, ainda hoje, é restrita a utilização destes pelos agricultores. Sendo assim, Barreto *et al.* (2004) consideram que a confiabilidade, o custo, a importância, a simplicidade e a utilidade são os atributos mais importantes em um sistema de alerta de doenças em plantas. Para que o sistema seja confiável, é necessário que ele tenha sido testado e validado com dados climáticos e biológicos consistentes na região de interesse. Outro atributo importante, em um sistema de alerta de doenças em plantas, é a sua simplicidade, ou seja, quanto menos complexo, maior será sua aceitação pelos agricultores. O atributo importância diz respeito aos danos que a doença causa sobre a cultura, ou seja, quanto maior o dano que uma doença pode causar, maior será sua aceitação (REIS; WORDELL FILHO, 2004).

No monitoramento do microclima, os elementos meteorológicos mais importantes no desenvolvimento de doenças em órgãos aéreos das plantas são a temperatura ambiente, a umidade relativa do ar e a duração de molhamento foliar da planta (REIS; BRESOLIN, 2004; VALE *et al.*, 2004).

O efeito da temperatura ambiente sobre o desenvolvimento da doença em plantas depende da relação entre patógeno-hospedeiro. O desenvolvimento mais rápido da doença geralmente ocorre quando a temperatura é ótima para o patógeno. Porém,

geralmente a temperatura ótima do patógeno nem sempre é a mesma para crescimento e desenvolvimento do hospedeiro. Muito importante também é a influência da água sobre a superfície foliar e brotos, que contribui no estabelecimento e desenvolvimento das doenças fúngicas (REIS; BRESOLIN, 2004).

A requeima é a doença de plantas mais importante em todo o mundo, ocorrendo em praticamente todos os locais onde a batata é cultivada, sendo mais severa quando ocorrem as seguintes condições: temperatura variando de 12 a 20 °C (com o ótimo ao redor de 15 °C), umidade relativa do ar maior que 90% e molhamento foliar superior a 10 horas (neblina, chuva fina, orvalho e ou irrigação frequente). Se essas condições prevalecerem por alguns dias (2 – 4 dias), pode ocorrer epidemia da doença com possibilidade de prejuízo total da produção. Contudo, nos meses mais quentes do ano (ou seja, de outubro a março, no caso do Brasil), a doença também pode surgir na lavoura, desde que as condições climáticas fiquem favoráveis para o desenvolvimento da doença por alguns dias. A irrigação por aspersão também aumenta o período de tempo em que a parte aérea das plantas permanece molhada e, por conseguinte, a severidade da doença (VALE *et al.*, 2000).

A quantificação desses elementos é realizada por meio de estações meteorológicas convencionais ou automáticas, provando-se em análise comparativa de dados uma boa concordância entre seus dados (SENTELHAS *et al.*, 1997; SOUZA; GALVANI; ASSUNÇÃO, 2003; OLIVEIRA; VOLPE, 2003; PEREIRA *et al.*, 2008). Os dados provindos desses equipamentos auxiliam no cálculo da evapotranspiração de referência para a determinação de lâminas de irrigação (SOARES *et al.*, 2001; SILVA *et al.*, 2005; VESCOVE; TURCO, 2005; LIMA; SILVA, 2008; SYPPERRECK *et al.*, 2008; CAVALCANTE JÚNIOR *et al.*, 2011), em pesquisas de fitopatologia com diversas culturas (COSTA *et al.*, 2002; DUARTE *et al.*, 2007a; b; BOSCO *et al.*, 2009), além de outras diversas áreas de pesquisas como: zootecnia, entomologia, meteorologia, entre outras.

Porém, a dependência contínua de um usuário na medição dos sensores das estações meteorológicas convencionais cria uma aversão ao seu uso. Dessa forma, é crescente o uso de equipamentos automáticos que mensuram os elementos meteorológicos e registram seus dados com intervalos de leituras pré-definidos pelo usuário, possibilitando futuras análises. Existem atualmente diversas estações meteorológicas automáticas (EMA), com várias possibilidades de configurações; sendo essas na observação de diferentes elementos meteorológicos, exatidão e resolução de

seus dados, protocolos de comunicação entre outras configurações. Porém, a maior parte desses equipamentos são importados, dificultando assim sua aquisição e manutenção. Com isso, desenvolveu-se uma EMA nacional para possibilitar uma maior aderência a tal tecnologia (FINHOLDT *et al.*, 2011).

Dentre os elementos meteorológicos registrados pelas EMA's, o molhamento foliar e a temperatura ambiente são os que mais se relacionam à severidade das doenças em plantas, sendo o último mencionado, de fácil e exata medição nos equipamentos atuais. Porém; a medição do molhamento foliar geralmente é equivocada devido à influência de vários fatores, tais como: o posicionamento (altura, ângulo, orientação, se está ou não dentro do dossel) de instalação dos sensores, a quantidade de sensores utilizados, se possuem pintura e a forma com que essa foi realizada, o tipo de cultura, o adensamento de plantio, o microclima, entre outros (WEIS *et al.*, 1988; SENTELHAS *et al.*, 2007; SANTOS *et al.*, 2008; ANDRADE *et al.*, 2009; TRENTIN *et al.*, 2009).

Mas, sabendo da importância tão significativa do molhamento foliar para o desenvolvimento da doença, fazem-se necessários maiores estudos nessa área. Com isso, o objetivo deste trabalho foi o desenvolvimento e avaliação de sensores e de um sistema de alerta fitossanitário para requeima, nas culturas do tomate e da batata.

Este trabalho foi dividido em três capítulos:

- Desenvolvimento e teste de consistência de um sensor de molhamento foliar;
- Desenvolvimento e teste de um sistema de alerta fitossanitário para doenças em plantas;
- Implementação de sistema de alerta para a requeima nas culturas da batata e tomate.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, A.G.; PIMENTA, A.A.; GOES, A. Influência do alinhamento de plantio na severidade da mancha-preta-dos-citros, produção e qualidade do suco. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal – SP: v. 31, n. 4, p. 1033-1041, dez-2009.

BARRETO, M.; VALE, F. X. R.; PAUL, P. A.; SCALOPPI, É. A. G.; ANDRADE, D. A. Sistemas de previsão e estações de aviso. In: VALE, F. X. R.; JUNIOR, W. C. J.; ZAMBOLIM, L. **Epidemiologia aplicada ao manejo de doenças de plantas**. Belo Horizonte, MG: Editora Perffil: 531p. 2004.

BERGAMIN FILHO, A.; AMORIM, L. Sistemas de previsão e avisos. In: BERGAMIN FILHO, A.; KIMATI, H.; AMORIM, L. **Manual de fitopatologia**: Princípios e conceitos. São Paulo: Ceres, v.1, 919p. 1995.

BERGAMIN FILHO, A.; KIMATI, H. Importância das doenças de plantas. In: BERGAMIN FILHO, A.; KIMATI, H.; AMORIM, L. **Manual de fitopatologia**: Princípios e conceitos. São Paulo: Ceres, v.1, 919p. 1995.

BOSCO, L. C.; HELDWEIN, A. B.; LUCAS, D. D. P.; TRENTIN, G.; GRIMM, E.; LOOSE, L. H. Sistema de previsão de ocorrência de requeima em clones de batata suscetíveis e resistentes. **Ciência Rural**. Santa Maria: v.39, n.4, p.1024-1031, jul-2009.

CAVALCANTE JÚNIOR, E.G.; OLIVEIRA, A.D.; ALMEIDA, B.M.; ESPÍNOLA SOBRINHO, J. Métodos de estimativa da evapotranspiração de referência para as condições do semiárido Nordeste. **Semina**: Ciências Agrárias, Londrina, v.32, suplemento 1, p. 1699-1708, 2011.

COSTA, R. V.; ZAMBOLIM, L.; VALE, F. X. R.; MIZUBUTI, E. S. G. Previsão da requeima da batateira. **Fitopatologia Brasileira**: v.27, p.349-354, 2002.

DUARTE, H. S. S., ZAMBOLIM, L.; RODRIGUES, F. A. Controle da requeima em tomateiro industrial com fungicidas e silicato de potássio. **Fitopatologia Brasileira**: v. 32, p. 257-260, 2007b.

DUARTE, H. S. S.; ZAMBOLIM, L.; JESUS JUNIOR, W. C. Manejo da requeima do tomateiro industrial empregando sistema de previsão. **Summa Phytopathologica**: v.33, n.4, p.328-334, 2007a.

FINHOLDT, G.; MANTOVANI, E. C.; SEDIYAMA, G. C.; RAMOS, M. M.; VIEIRA, H. S. Desenvolvimento e avaliação de uma estação meteorológica automática para manejo de irrigação. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa: v.19, n.4, jul./ago., p.313-328. 2011.

FRY, W. E. **Principles of plant disease management**. New York: Academic Press. 378p. 1982.

LIMA, E.P.; SILVA, E.L. Temperatura base, coeficientes de cultura e graus-dia para cafeeiro arábica em fase de implantação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**: v.12, n.3, p.266-273, 2008.

OLIVEIRA, A. D.; VOLPE, C. A. Comparação de dados meteorológicos obtidos por estação convencional e automática. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria: v.11, n.2, p.253-260, 2003.

PEREIRA, L.M.P.; CARAMORI, P.H.; RICCE, W.S.; CAVIGLIONE, J.H. Análise comparativa de dados meteorológicos obtidos por estação convencional e automática em Londrina - PR. **Semina**: Ciências Agrárias, Londrina, v.29, n.2, p.299-306, abr./jun. 2008.

REIS, E. M.; BRESOLIN, A. C. R. Fatores climáticos e doenças de plantas. In: REIS; E. M. **Previsão de doenças de plantas**. Passo Fundo. RS. UFP EDITORA: p.21-46 2004.

REIS, E. M.; WORDELL FILHO, J. A. Previsão de doenças de plantas In: REIS; E. M. **Previsão de doenças de plantas**. Passo Fundo. RS. UFP EDITORA: p.65-99, 2004.

RIVERA HERNÁNDEZ, J. F. **Quantificação dos danos causados pela pinta-preta em tomateiro**. Dissertação (Mestrado em Fitopatologia). Universidade Federal de Viçosa, p.35, 2007.

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, Dec. 2008.

SENTELHAS, P. C.; MORAIS, S. O.; PIEDADE, S. M. S.; PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; MARIN, F. R. Análise comparativa de dados meteorológicos obtidos por estação convencional e automática. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.5, n.2, p.215-221, 1997.

SENTELHAS, P.C.; GILLESPIE, T.J.; SANTOS, E.A. Leaf wetness duration measurement: comparison of cylindrical and flat plate sensors under different field conditons. **Int J Biometeorol**, 51: p.265–273, 2007.

SILVA, V.P.R.; BELO FILHO, A.F.; SILVA, B.B.; CAMPOS, J.H.B.C. Desenvolvimento de um sistema de estimativa da evapotranspiração de referência. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande: v.9, n.4, p.547-553, 2005.

SOARES, W.R.; SEDIYAMA, G.C.; RIBEIRO, A.; COSTA, J.M.N. Dependência do coeficiente de cultura no estágio inicial de desenvolvimento (Kc_{ini}) à lâmina de irrigação e textura do solo. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola Ambiental**. Campina Grande: v.5, n.1, p.23-27, 2001.

SOUZA, I. A.; GALVANI, E.; ASSUNÇÃO, H. F. Estudo comparativo entre elementos meteorológicos monitorados por estações convencional e automática na região de Maringá, Estado do Paraná. **Acta Scientiarum**. Maringá, v.25, n.2, p.203-207, 2003.

SYPERRECK, V.L.G.; KLOSOWSKI, E.S.; GRECO, M.; FURLANETTO, C. Avaliação de desempenho de métodos para estimativas de evapotranspiração de referência para a região de Palotina, estado do Paraná. **Acta Sci. Agron**. Maringá, v.30, supl., p.603-609, 2008.

TÖFOLI, J. G.; DOMINGUES, R. J.; FERREIRA, M. R.; GARCIA JÚNIOR, O. Ação de acibenzolar-s-methyl isolado e em mistura com fungicidas no controle da requeima da batata. **Horticultura Brasileira**. Brasília, v.23, n.3, p.749-753, jul-set, 2005.

TRENTIN, G.; HELDWEIN, A.B.; STRECK, L.; MAASS, G.F.; RADONS, S.Z., TRENTIN, R. Controle da requeima em batata cv. ‘Asterix’ como base para modelos de previsão da doença. **Ciência Rural**. Santa Maria, v.39, n.2, p.393-399, mar-abr, 2009.

VALE, F. X. R.; JESUS JÚNIOR, W. C.; RODRIGUES, F. A.; COSTA, H.; SOUZA, C. A. Manejo de doenças fúngicas em tomateiro. In: SILVA, D. J. H.; VALE, F. X. R. **Tomate: Tecnologia de produção**. Viçosa. MG: UFV, p.159-198, 2007.

VALE, F. X. R.; ZAMBOLIM, L.; COSTA, L. C.; LIBERATO, J. R.; DIAS, A. P. S. Influência do clima no desenvolvimento de doenças de plantas In: VALE, F. X. R.; JUNIOR, W. C. J.; ZAMBOLIM, L. **Epidemiologia aplicada ao manejo de doenças de plantas**. Belo Horizonte. MG: Editora Perffil. 531p. 2004.

VALE, F. X. R.; ZAMBOLIM, L.; PAUL, P. A., COSTA, H. Doenças causadas por fungos em tomate. In: ZAMBOLIM, L.; VALE, F. X. R.; COSTA, H. (Ed). **Controle de doenças de plantas - Hortaliças**.Visconde do Rio Branco: Suprema Gráfica e Editora, v.2, p.173-207, 2000.

VALE, F. X. R.; ZAMBOLIM, L.; PAUL, P. A.; SALUSTIANO, M. E. Manejo da pinta preta do tomateiro In: ed. ZAMBOLIM, L. **Manejo integrado de doenças e pragas**. Viçosa. MG. 47-52p. 1999.

VESCOVE, H.V.; TURCO, J.E.P. Comparação de três métodos de estimativa da evapotranspiração de referência para a região de Araraquara – SP. **Eng. Agríc.**, Jaboticabal, v.25, n.3, p.713-721, set./dez. 2005.

WEIS, A.; LUKENS, D.L.; STEADMAN, J.R. A sensor for the direct measurement of leaf wetness: construction techniques and testing under controlled conditions. **Agricultural and Forest Meteorology**, 43, 241-249, 1988.

ZAMBOLIM, L., VALE, F. X. R., CRUZ FILHO, J. & CHAVES, G.M. Emprego da Calda Viçosa na cultura do tomateiro (*L. esculentum*) para o controle de doenças da parte aérea. Viçosa: UFV. **Informe técnico**. 66. 1990.

CAPÍTULO 1: DESENVOLVIMENTO E TESTE DE CONSISTÊNCIA DE UM SENSOR DE MOLHAMENTO FOLIAR

Introdução

Um dos fatores que mais impactam negativamente sobre a produtividade das plantas são as doenças fúngicas, sendo essas motivo de até zerar a produção de uma lavoura. A redução desse problema pode ser realizada por meio de aplicações de fungicidas, sendo o momento ideal dessas aplicações determinado com base nas condições climáticas do microclima em que a planta se encontra. O molhamento foliar e a temperatura são os elementos que mais se relacionam com a severidade dessas doenças; porém, o molhamento foliar, ainda hoje, é uma variável difícil em sua exata quantificação, tornando-se assim, o foco deste trabalho.

A influência das aplicações de fungicidas sobre a produtividade de algumas culturas é significativa; segundo relatos, reduzindo a produção de batatas de 6,7 t ha⁻¹ (BOSCO *et al.*, 2009) a 24,8 t ha⁻¹ (TÖFOLI *et al.*, 2005); para o tomateiro, a redução pode ser de 57,0 t ha⁻¹ (DUARTE *et al.*, 2007a) e 62,1 t ha⁻¹ (DUARTE *et al.*, 2007b). Outros trabalhos mostram que essa influência se estende para diversas culturas como: feijão (SILVA *et al.*, 2001; COELHO *et al.*, 2003), girassol (LEITE; AMORIM, 2002), café (GARÇON *et al.*, 2004), laranja (REIS *et al.*, 2006), uva (LULU *et al.*, 2008) e tomate (MARCUSO *et al.*, 2009).

Dada a eficiência do controle químico sobre as doenças em plantas juntamente com aversão ao risco da perda de suas lavouras, agricultores de uma forma geral aplicam uma quantidade excessiva de defensivos agrícolas para o controle das doenças causadas por fungos. Tal controle, se realizado de forma inadequada, agride o meio ambiente, intoxica os aplicadores dos produtos químicos, agride as plantas cultivadas (com fitotoxicidade), deixa resíduos nos alimentos produzidos, além de resultar em uma plantação com uma produtividade economicamente inviável (BARRETO *et al.*, 2004; ZAMBOLIM *et al.*, 1990).

Tentando viabilizar sua produtividade, os agricultores costumam optar por métodos de determinação do momento de aplicação de defensivos agrícolas que se

baseiam em calendários, ou em suas intuições. Em sua grande maioria, os agricultores excedem a quantidade necessária dos produtos aplicados, prejudicando, assim, sua produtividade (VALE *et al.*, 1999).

Dessa forma, uma metodologia que resulta em uma otimização do uso dos defensivos agrícolas, definindo o melhor momento de se aplicarem os produtos de controle, está baseada em sistemas de alerta de doenças em plantas. Tais sistemas intensificam as aplicações dos fungicidas quando o ambiente está mais favorável ao desenvolvimento das doenças. Caso contrário, chega-se ao ponto de não haver aplicações sistêmicas, tendo-se assim a maior redução dos fungicidas (BARRETO *et al.*, 2004).

O molhamento foliar e a temperatura ambiente do microclima em que a planta está são mensurados por sensores eletrônicos, que, em conjunto, dão subsídio para a determinação do valor de severidade da doença (VSD), sendo essa determinada e registrada por uma estação meteorológica automática (EMA). Porém, esses equipamentos geralmente são importados e de difícil aquisição e manutenção, criando-se uma aversão ao seu uso. Com isso, criou-se uma EMA com foco principal na irrigação, equipamento esse que mede e registra a precipitação pluviométrica, a velocidade do vento, a irradiância solar, a temperatura e a umidade relativa do ar (FINHOLDT *et al.*, 2011).

Dentre os sensores ligados a uma EMA para controle fitossanitário, o mais sensível a erros em sua exatidão é o de molhamento foliar, sendo seu sinal influenciado principalmente pelo posicionamento de instalação dos sensores (altura, ângulo, orientação, se está ou não dentro do dossel), a quantidade de sensores utilizados, se possuem pintura e a forma com que essa foi realizada, o tipo de cultura, o adensamento de plantio, o microclima, entre outros fatores (WEIS *et al.*, 1988; SENTELHAS *et al.*, 2007; SANTOS *et al.*, 2008; ANDRADE *et al.*, 2009; TRENTIN *et al.*, 2009).

Os sensores de molhamento foliar podem ser categorizados em dispositivos estáticos, mecânicos ou eletrônicos. O dispositivo estático é rudimentar, com baixo custo e geralmente apenas informa se a superfície está molhada ou seca. Os dispositivos mecânicos geralmente são um pouco mais complexos, medindo o molhamento foliar por meio do peso ou do comprimento de algum material, sendo registrado o molhamento foliar em papel, por meio de penas com tinta. Os dispositivos eletrônicos geralmente medem o molhamento foliar por meio da resistência ou capacitância de um determinado

material. Dessa forma, os sensores eletrônicos estão sendo mais amplamente utilizados, pela facilidade de se monitorar, registrar, processar e até mesmo fazer uma análise completa nos dados de molhamento foliar em campo (WMO, 1992).

O sensor eletrônico de molhamento foliar mais utilizado atualmente é o sensor de folha artificial. Como o próprio nome sugere, esse sensor simula uma folha em seu formato e posicionamento. Ele é constituído por uma placa de circuito impresso, feita de fibra de vidro e com eletrodos de cobre. Representando o molhamento foliar real de uma planta, os sensores de duração do período de molhamento foliar (DPM) quantificam o tempo em que a planta fica molhada diariamente, seja por orvalho, irrigação, chuva ou qualquer outro meio que possa molhar as folhas das plantas. Um dos problemas que inviabilizam a implementação dos sistemas de previsão de doença em plantas está na alta variabilidade encontrada entre esses sensores. Muitas vezes, para os mesmos sensores, encontram-se diversos valores de molhamento foliar (SENTELHAS *et al.*, 2004a).

O sensor de molhamento foliar simula uma folha molhada ao armazenar as gotículas de água sobre sua superfície. Conectado a um circuito eletrônico que condiciona seu sinal na forma de tensão, sendo este igual a zero volt's quando o sensor está seco e cinco volt's quando está totalmente molhado, ele subestima as leituras quando não está pintado, devido ao espaçamento das trilhas do sensor que é de um milímetro, sendo esse, o menor diâmetro que uma gotícula pode ter para sensibilizar o circuito eletrônico. Ou seja, ao molhar o sensor com microgotículas com diâmetros menores do que um milímetro, não se fecha contato entre os polos do sensor, enviando assim, sinal de seco para o microcontrolador, que captará e registrará a informação como seco, estando o sensor molhado, subestimando assim as medições por usar um sensor não pintado. Segundo Sentelhas *et al.* (2004a), ao usar sensores pintados com tinta látex branca com tratamento térmico se reduz o coeficiente de variação das leituras dos sensores de molhamento foliar de 67 para 9 %.

O posicionamento de instalação do sensor de molhamento foliar altera significativamente as medições da DPM. Quanto maior é a altura de instalação do sensor, maior será a velocidade do vento, fazendo com que seque as gotículas mais rapidamente e, conseqüentemente, tendo uma DPM menor. Outro fator que influencia a medição da DPM é o ângulo de instalação do sensor que, quanto menor, maior é a quantidade de água que fica armazenada sobre a placa, resultando assim em uma

quantidade maior de água a ser evaporada, e uma maior DPM. Por outro lado, maior será a energia solar absorvida pela placa, aumentando-se a evaporação da água e reduzindo-se assim a DPM. Porém, como geralmente o horário em que o sensor permanece molhado coincide com o horário em que a irradiância solar é muito baixa, resulta assim num maior tempo de molhamento diário quando se tem um menor ângulo de instalação do sensor, conforme encontrado por Sentelhas *et al.* (2004b).

A DPM medida é influenciada pela densidade populacional da cultura e também pelas características morfológicas da superfície das plantas, que pode ser pilosa, glabra ou cerosa (LAIONE; WORDELL FILHO, 2004). Como essas características são diferentes para cada tipo de planta, torna-se importante trabalhar o albedo do sensor, com diferentes cores de pintura, para que ele tenha uma reflexão de radiação solar próxima à da planta.

Recomenda-se posicionar o sensor a uma altura de 30 cm, com um ângulo de 30°, estando sua face voltada para o sul, sendo esse posicionamento recomendado para fins agrometeorológicos como padrão. O posicionamento correto do sensor de molhamento foliar é importante na medição da DPM, representando melhor as observações visuais quando posicionado no topo das culturas. Porém, a DPM pode não ser bem estimada pelo posicionamento padrão quando se trata de culturas que ficam mais úmidas no interior da copa. Nesse caso, recomendando-se utilizar um sensor dentro e outro no topo da planta (SENTELHAS *et al.*, 2005).

A significativa importância da exata medição do molhamento foliar na sustentabilidade do potencial produtivo das plantas, por meio da determinação do momento ideal de aplicação de fungicidas nas lavouras, buscam-se avanços tecnológicos expressivos na correta medição da DPM, sendo essa realizada por meio do estudo de sensores e a forma de suas medições. Dessa forma, objetivou-se o desenvolvimento e estudos com sensores de molhamento foliar que aumentassem a exatidão e a confiabilidade de tal variável.

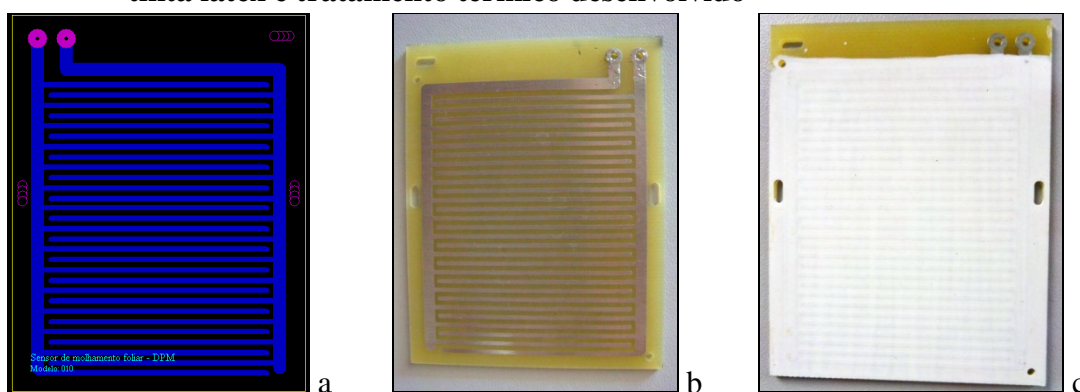
Material e Métodos

O desenvolvimento dos sensores foi realizado no Laboratório de Automação e Irrigação de Precisão do Departamento de Engenharia Agrícola (DEA) da Universidade

Federal de Viçosa (UFV), durante o ano de 2011 até o início dos testes de campo, enquanto os testes em campo foram realizados no campo experimental do Departamento de Fitopatologia da UFV, sendo o primeiro realizado de 20/05 a 08/06/2011, o segundo de 02/07 a 01/08/2011 e o terceiro de 18 a 28/09/2011

Inicialmente, o sensor de molhamento foliar foi idealizado com o seu layout (Figura 1a). Em seguida, confeccionou-se a placa de circuito impresso (PCI) do sensor sob padrão industrial (Figura 1b), priorizando a uniformização dos sensores no tamanho e formato das PCI's e no espaçamento, largura, espessura e comprimento das trilhas de metal, que dificilmente se consegue na confecção artesanal. Sendo essa uma medida tomada a fim de reduzir erros nas medições no futuro.

Figura 1 – Layout (a), placa sem pintura (b) e placa dos sensores (c) de DPM com tinta látex e tratamento térmico desenvolvido

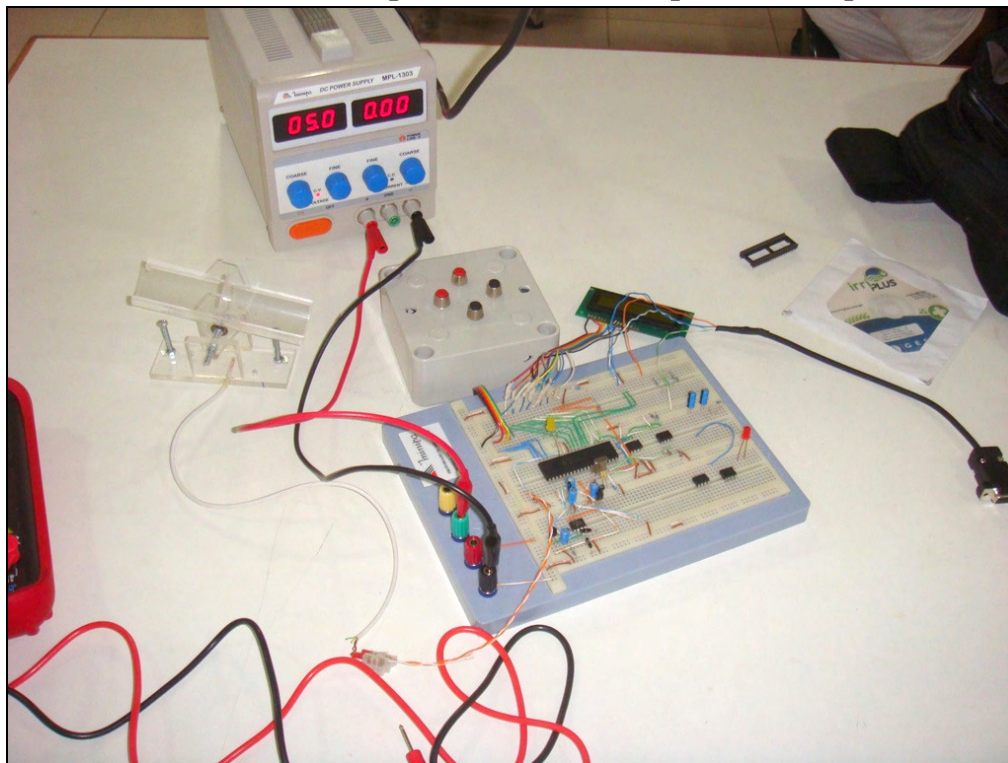


Desenvolveu-se também um sistema de aquisição automática para mensurar e registrar os dados de molhamento foliar. Esse foi projetado para medir oito sensores por minuto, e registrar suas médias em memória não volátil a cada três minutos. O projeto foi realizado de forma que a autonomia elétrica do equipamento fosse de pelo menos um ano. Para isso, fez-se com que ele permaneça sempre em repouso, sendo ligado apenas para medir os sensores e processar seus dados, ou quando o usuário pressiona-se um dos botões para realizar a aquisição dos dados, voltando em seguida ao modo repouso.

Inicialmente, projetou-se o equipamento em matriz de contatos elétricos (Figura 2) pela sua fácil modificação. Após concluído o circuito eletrônico, criou-se o layout da placa em microcomputador do tipo *PC*, aumentando a largura das trilhas de alimentação para não limitar a corrente de elétrons, reduzindo as trilhas de altas frequências para

minimizar a criação de ruídos, criando-se uma malha de terra em torno da PCI evitando-se a entrada de ruídos externos e, posicionando os capacitores com seus polos positivos em um mesmo sentido para facilitar a montagem em larga escala.

Figura 2 – Desenvolvimento das placas de circuito impresso das aquisidoras



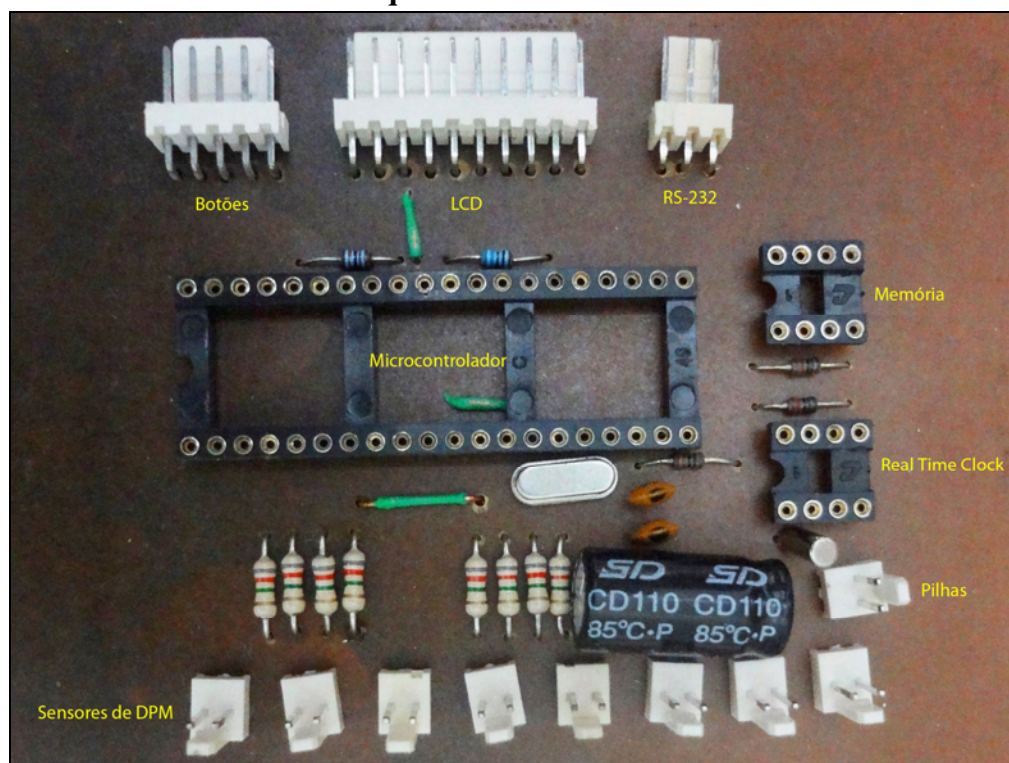
Em seguida, iniciou-se a etapa de corrosão da placa de circuito impresso, passando-se por várias etapas, sendo essas: impressão do layout em papel fotográfico, limpeza da placa de cobre com esponja de aço e álcool, transferência do *toner* da impressão para a placa de cobre, com auxílio de prensa metálica na temperatura de 250 °C pressionando-se por 5 minutos, submersão da placa em água com detergente líquido aquecidos, retirada do papel com a verificação das trilhas aderidas à placa de cobre, submersão da placa em água com percloro de ferro para a corrosão do cobre, verificação da completa remoção do cobre desnecessário para a PCI, limpeza final da placa com detergente e esponja de aço, furação da placa com furadeira de mão com broca de 0,8 milímetros.

Com a PCI corroída, soldaram-se os componentes eletrônicos (Figura 3), sendo os principais: um microcontrolador (*PIC16F877A*, *Microchip*), uma memória (*24LC1025*, *Microchip*), um real time clock (*DS1337*, *Dallas Semiconductor*), um

display de cristal líquido de 16x2 caracteres, quatro botões e dois cristais de quartzo, sendo um de 4 MHz e outro de 32.768 Hz.

Com a PCI da aquisidora pronta, fez-se necessário concluir o software embarcado, ou seja, o programa que controla as operações do equipamento. Para se ter maior possibilidade de observações das variações dos sensores, programou-se o equipamento para ter intervalo entre leituras de um minuto, registrando a média desses dados de três em três minutos em memória do tipo não volátil, armazenando um máximo de um mês de dados, começando a sobrescrever os dados após esse intervalo.

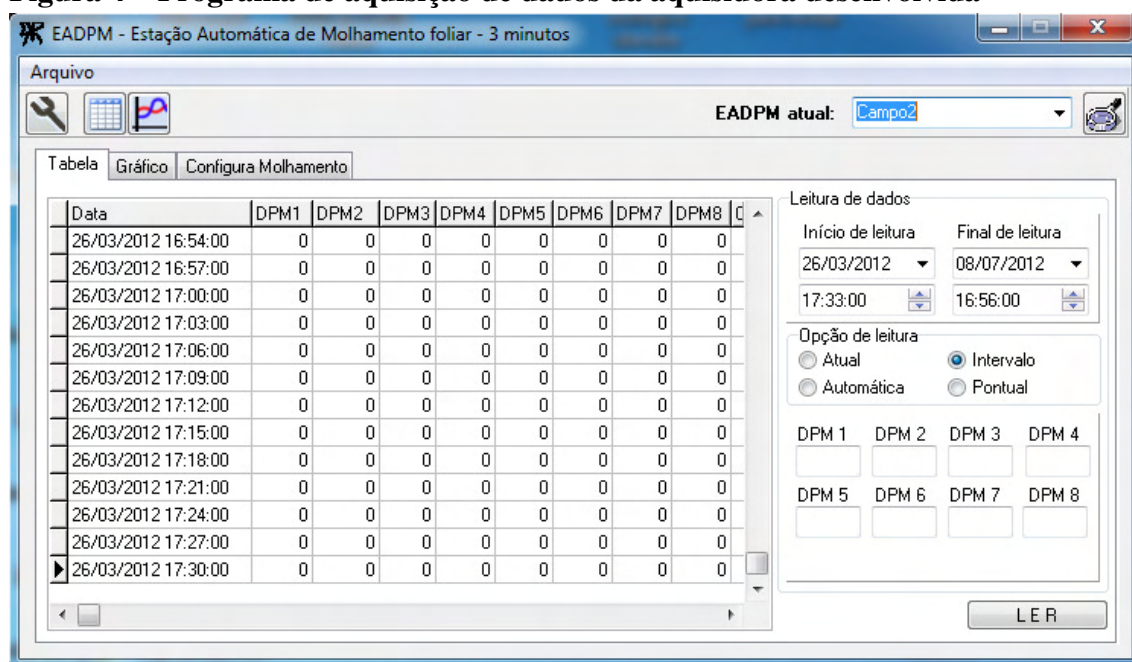
Figura 3 – Placa eletrônica da aquisidora desenvolvida



Com o equipamento pronto, concluiu-se em seguida o programa (Figura 4) para realizar as aquisições dos dados do microcomputador. Tal programa foi responsável por conectar o equipamento ao microcomputador, via protocolo RS-232, com cabo conversor USB/RS232 TTL, para descarregar os dados do equipamento e salvá-los em arquivo de banco de dados do tipo MDB. O programa possibilita a configuração de horário e data do relógio do equipamento, o descarregamento dos dados e a sua visualização em forma de tabela e gráficos, além de possibilitar a exportação dos dados para software de planilha eletrônica.

Nos testes de campo, foi criado inicialmente um suporte (Figura 5) para fixar oito sensores em paralelo, espaçados de quatro centímetros, para que ambos estivessem expostos ao mesmo ambiente, tendo, assim, menores variações de microclima entre eles. Após ter observado o pleno funcionamento do equipamento, criaram-se mais dois equipamentos (Figura 6) para haver uma maior amostragem de sensores e garantir a baixa variabilidade entre eles.

Figura 4 – Programa de aquisição de dados da aquisidora desenvolvida



Buscou-se nos testes iniciais de campo, identificar a resistência elétrica que proporcionasse maior vida útil dos sensores e uma menor variabilidade nas medições, por meio do coeficiente de variação e análise gráfica dos dados. Nos gráficos, foi tido como melhor onde se tinha menor variabilidade, buscando a maior repetibilidade entre os sensores. Já nas placas, buscou-se a resistência que proporcionou menor oxidação dos sensores, levando, assim, a terem uma vida útil mais duradoura.

Em seguida, foram realizados testes em campo com o mesmo posicionamento dos sensores não pintados e com a mesma resistência elétrica no circuito eletrônico para identificar a variabilidade entre os sensores no teste 1. Logo após, executou-se o teste 2 com sensores pintados e tratados termicamente, sendo as resistências elétricas do circuito condicionador de sinais, iguais a, 47 k Ω , 150 k Ω , 470 k Ω , 1 M Ω , 4,7 M Ω e 8,2 M Ω , repetindo-se quatro vezes cada valor. Por último, executou-se o teste 3 da mesma

forma que o teste 2, diferindo apenas no fato de que as placas já estavam oxidadas, para se verificar a possibilidade de se utilizarem sensores já usados.

Figura 5 – Aquisidora e sensores em teste de campo inicial

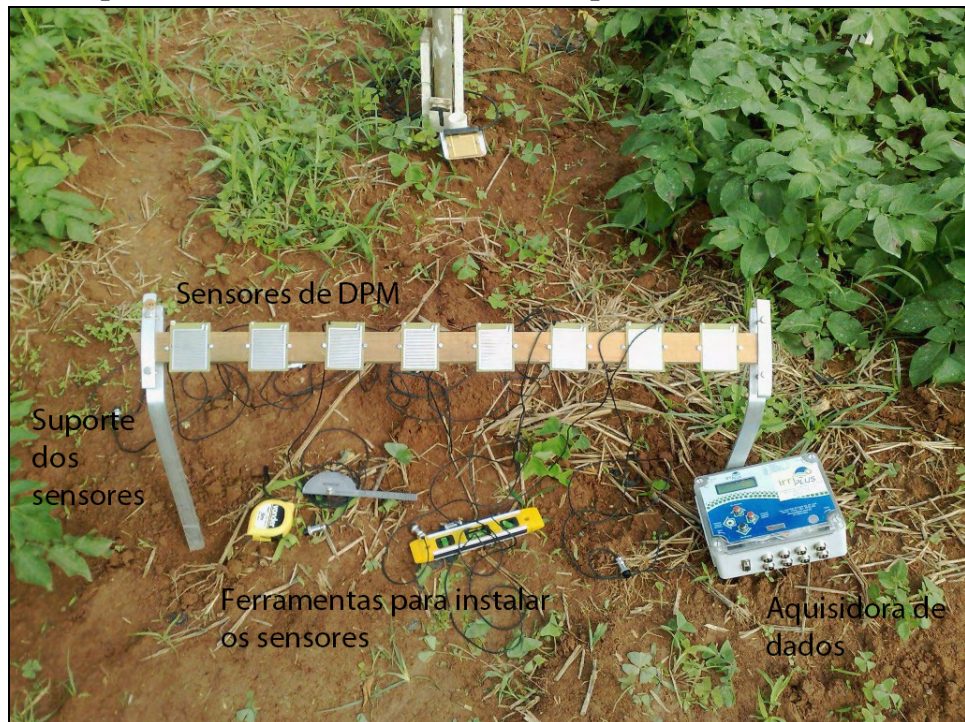


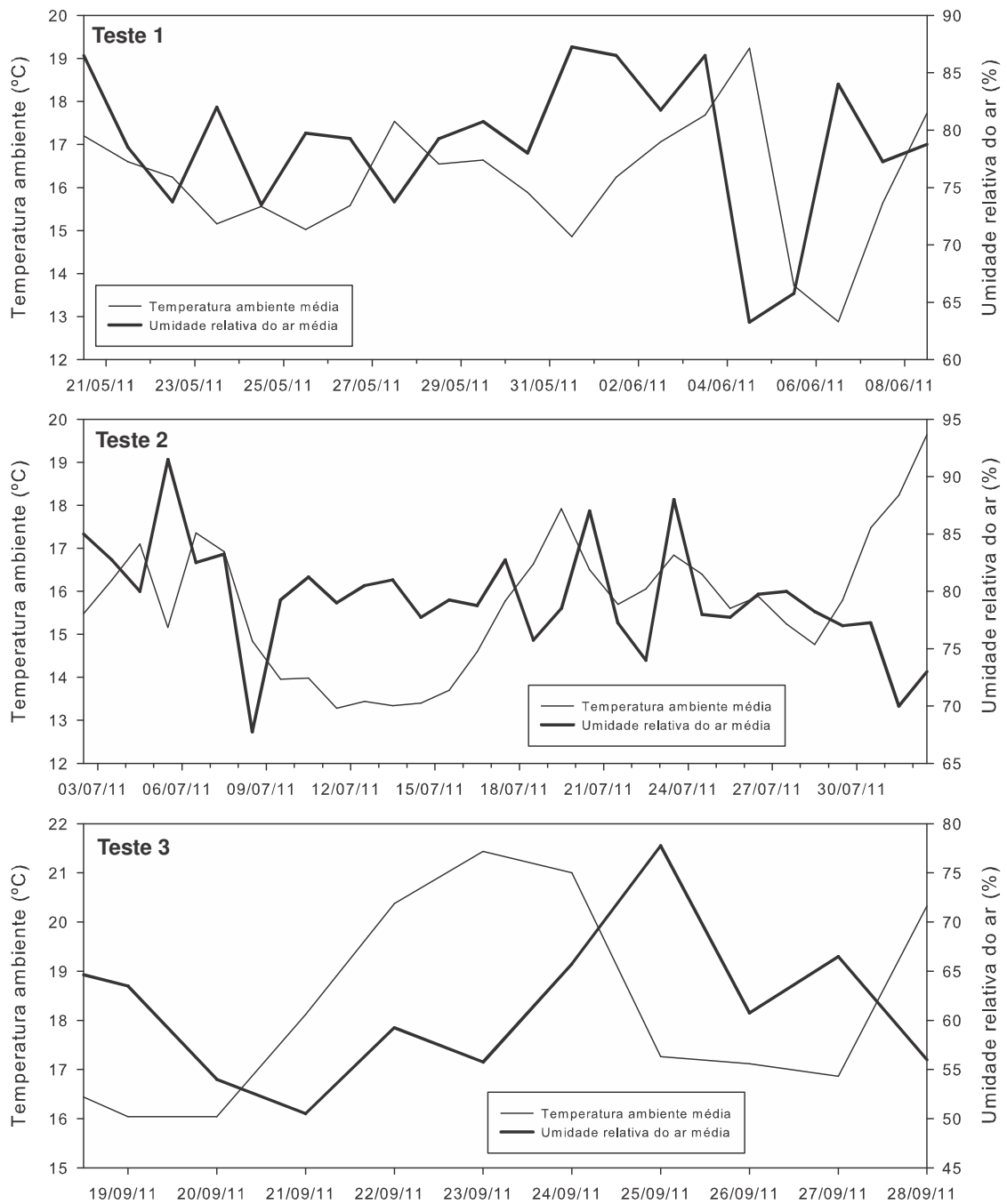
Figura 6 – Aquisidoras e sensores em teste de campo



Resultados e Discussão

Visualizam-se as médias de temperatura ambiente e umidade relativa de todo o período dos três testes na Figura 7. Observa-se que o terceiro teste teve temperaturas mais elevadas com umidades relativas do ar menores do que os testes anteriores.

Figura 7 – Dados médios de temperatura ambiente e umidade relativa do ar de todo o período dos três testes



As informações obtidas com os dados dos sensores de molhamento foliar foram codificadas na Tabela 1 a seguir, mostrando o coeficiente de variação (CV), o desvio padrão e o delta de DPM, em seus valores médios (X) e máximos (Mx). Encontrou-se no Teste 1, um CV médio de 4,7 %, com máximo valor igual a 7,4 %, sendo esses, inferiores aos encontrados no experimento equivalente de Sentelhas *et al.* (2004a), mesmo se considerar apenas os CV dos dias chuvosos que chegaram a ser de aproximadamente 20%.

No teste 2, a pintura com tratamento térmico dos sensores expostos às resistências elétricas de 1 M Ω , 4,7 M Ω e 8,2 M Ω resultou em um CV menor do que no teste 1, que não tinha pintura. Isso se deve à camada de tinta que torna homogênea a distribuição das micro-gotículas sobre o sensor. Nota-se que o máximo CV obtido aqui, de 4,8 %, com as resistências elétricas de 8,2 M Ω , foi inferior ao CV médio encontrado por Sentelhas *et al.* (2004a). Observaram-se também coeficientes de variação acima de 40% para valores menores de resistências elétricas (47 k Ω , 150 k Ω e 470 k Ω). Mostra-se, assim, que não é suficiente preocupar-se apenas com o sensor e sua instalação física, mas também com o circuito eletrônico que se utiliza.

Tabela 1 – Informações obtidas com os dados dos sensores de molhamento foliar.

Teste	Dias	Quantidade de placas	Descrição	CV		Desvio Padrão		Delta DPM	
				X	Mx	X	Mx	X	Mx
1 ¹	20	23	Sem Pintura	4,7	7,4	0,60	1,20	2,4	4,8
2 ²	31	4	Res. 47 k Ω	3,7	16,0	0,4	1,2	0,9	2,8
	31	4	Res. 150 k Ω	4,1	24,5	0,50	2,0	1,1	4,3
	31	4	Res. 470 k Ω	7,4	27,5	0,9	2,9	2,0	6,6
	31	4	Res. 1 M Ω	2,6	13,2	0,35	1,41	0,8	2,9
	31	4	Res. 4,7 M Ω	1,4	9,1	0,23	1,57	0,5	3,6
	31	4	Res. 8,2 M Ω	1,6	4,8	0,26	0,87	0,6	2,1
3 ³	11	4	Res. 47 k Ω	6,1	19,3	0,56	1,72	1,2	3,4
	11	4	Res. 150 k Ω	6,5	41,4	0,63	3,71	1,4	8,3
	11	4	Res. 470 k Ω	5,5	9,7	0,64	1,51	1,5	3,4
	11	4	Res. 1 M Ω	2,8	5,1	0,34	0,66	0,7	1,4
	11	3	Res. 4,7 M Ω	2,3	4,0	0,30	0,57	0,6	1,1
	11	4	Res. 8,2 M Ω	1,9	4,1	0,27	0,74	0,6	1,7

CV – Coeficiente de variação; X – Média; Mx – Máximo; DPM – Duração do período de molhamento foliar.

¹ Sensores de molhamento foliar sem pintura; ² Sensores de molhamento foliar com pintura e variação de resistência no circuito eletrônico; ³ Sensores de molhamento foliar com pintura, oxidados e variação de resistência no circuito eletrônico.

A diferença das leituras dos sensores provenientes de baixas resistências pode ser visualizada nas informações da Tabela 2, que mostram uma DPM média menor,

subestimando, assim, as medições do molhamento foliar para as resistências elétricas menores do que 470 kΩ. Além de resultar em maior variabilidade e subestimação dos dados nas medições, menores resistências elétricas permitem passar uma maior corrente elétrica sobre o sensor quando ele está molhado, acelerando a oxidação do sensor e, conseqüentemente, reduzindo sua vida útil, conforme se pode observar na Figura 8.

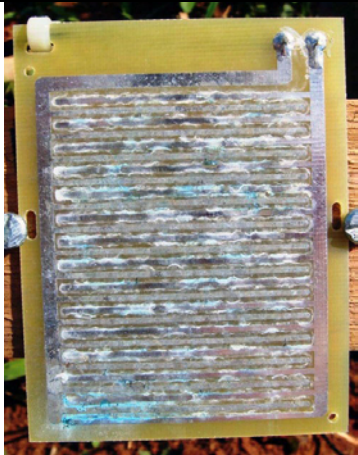



Tabela 2 – Dados médios de molhamento foliar diário para os testes 2 e 3.

Resistência	Teste 2		Teste 3	
	Média (h)	Máxima (h)	Média (h)	Máxima (h)
47 kΩ	12,8	16,5	11,4	17,3
150 kΩ	14,1	16,9	11,9	17,2
470 kΩ	13,1	17,1	11,8	16,3
1 MΩ	14,9	17,5	12,7	17,1
4,7 MΩ	15,7	17,3	13,3	17,5
8,2 MΩ	16	18,8	13,4	17,8

Observa-se, na Tabela 1, que o CV do teste 3 foi semelhante ao do teste 2, tendo maiores diferenças causadas principalmente nos dados dos sensores com resistências elétricas menores do que 470 kΩ. Mostrando-se que, mesmo com sensores já usados, sob as mesmas condições deste trabalho e resistência elétrica igual a 8,2 MΩ, ainda assim os sensores podem ser utilizados para medição de molhamento foliar.

Apesar de haver diferenças de até 2,1 horas entre os dados diários dos sensores de molhamento foliar para os sensores pintados e resistores de 8,2 MΩ, as leituras dos sensores tendem a ser muito próximas quando se considera o somatório de todo intervalo (31 dias) ao invés da variabilidade diária entre os sensores, sendo essa diferença de aproximadamente 15 minutos. A redução na variabilidade das respostas dos sensores ocorre por causa da diferença na distribuição e no volume das gotículas sobre os sensores, sendo essa, diferente para cada sensor e em cada dia. Dessa forma, o sensor que recebe maior volume de água em um dia, pode ser o que recebe menor volume em outro dia, tendendo a anular as diferenças em um tempo infinito.

Figura 8 – Sensores de molhamento foliar pintados e não pintados, submetidos a teste de oxidação por 31 dias

PLACAS	RESISTÊNCIA DO CIRCUITO ELETRÔNICO	
	47 k Ω	8,2 M Ω
Sem pintura		
Com pintura		

Conclusão

Os sensores pintados e tratados termicamente resultaram em um coeficiente de variação menor do que os sensores sem pintura.

As resistências elétricas utilizadas no circuito eletrônico para medição do molhamento foliar que resultaram em menores coeficientes de variação ficaram acima de 4,7 M Ω ; porém, quanto maior a resistência, menor será a corrente elétrica que circula pelos sensores, reduzindo-se a oxidação e aumentando-se a vida útil dos sensores.

Sensores pouco oxidados por intempéries podem ser utilizados para medição de molhamento foliar sem haver diferenças significativas nas medições.

Conclui-se que o sensor de molhamento foliar pintado e conectado à resistência elétrica de 8,2 MΩ foi a melhor condição encontrada neste trabalho.

Referências

ANDRADE, A.G.; PIMENTA, A.A.; GOES, A. Influência do alinhamento de plantio na severidade da mancha-preta-dos-citros, produção e qualidade do suco. **Rev. Bras. Frutic.** Jaboticabal - SP, v. 31, n. 4, p. 1033-1041, Dezembro 2009.

BARRETO, M.; VALE, F.X.R.; PAUL, P.A.; SCALOPPI, É.A.G.; ANDRADE, D.A. Sistemas de previsão e estações de aviso. In: VALE, F.X.R.; JUNIOR, W.C.J.; ZAMBOLIM, L. **Epidemiologia aplicada ao manejo de doenças de plantas**. Belo Horizonte, MG: Editora Perffil. 531p. 2004.

BOSCO, L. C.; HELDWEIN, A. B.; LUCAS, D. D. P.; TRENTIN, G.; GRIMM, E.; LOOSE, L. H. Sistema de previsão de ocorrência de requeima em clones de batata suscetíveis e resistentes. **Ciência Rural**. Santa Maria, v.39, n.4, 1024-1031, p. jul, 2009.

COELHO, R.R., VALE, F.X.R., JESUS JUNIOR, W.C., PAUL, P.A., ZAMBOLIM, L. & BARRETO, R.W. Determinação das condições climáticas que favorecem o desenvolvimento da ferrugem e da mancha angular do feijoeiro. **Fitopatologia Brasileira**, v.28, p. 508-514. 2003.

DUARTE, H. S. S., ZAMBOLIM, L.; RODRIGUES, F. A. Controle da requeima em tomateiro industrial com fungicidas e silicato de potássio. **Fitopatologia Brasileira**, v. 32, p. 257-260, 2007b.

DUARTE, H. S. S.; ZAMBOLIM, L.; JESUS JUNIOR, W. C. Manejo da requeima do tomateiro industrial empregando sistema de previsão. **Summa Phytopathologica**, v.33, n.4, p.328-334, 2007a.

FINHOLDT, G.; MANTOVANI, E. C.; SEDIYAMA, G. C.; RAMOS, M. M.; VIEIRA, H. S. Desenvolvimento e avaliação de uma estação meteorológica automática para manejo de irrigação. **REVENG**, v.19, n.4, julho/agosto, p. 313-328. 2011.

GARÇON, C.L.P., ZAMBOLIM, L., MIZUBUTI, E.S.G., VALE, F.X.R. & COSTA, H. Controle da ferrugem do cafeeiro com base no valor de severidade. **Fitopatologia Brasileira**, v. 29, p. 486-491. 2004.

LAIONE, F.; WORDELL FILHO, J. A. Equipamentos utilizados para medir elementos meteorológicos em sistemas de previsão de doenças de plantas. In: REIS; E. M. **Previsão de doenças de plantas**. Passo Fundo. RS. UFP EDITORA. 101-138p. 2004.

LEITE, R.M.V.B.C. & AMORIM, L. Influência da temperatura e do molhamento foliar no monociclo da mancha de *Alternaria* em girassol. **Fitopatologia Brasileira**, v. 27, p. 193-200. 2002.

LULU, J.; SENTELHAS, P.C.; PEDRO JÚNIOR, M.J.; PEZZOPANE, J.R.M.; BLAIN, G.C. Estimating leaf wetness duration over turfgrass, and in a 'niagara rosada' vineyard, in a subtropical environment. **Sci. Agric.** (Piracicaba, Braz.), v.65, special issue, p.10-17, December 2008.

MARCUZZO, L.L.; FERNANDES, J.M.C; BECKER, W.F. Influência da temperatura e da duração do molhamento foliar na severidade da mancha bacteriana do tomateiro. **Summa Phytopathologica**, v.35, n.3, p.229-230, 2009.

REIS, R.F., GOES, A. & TIMMER, L.W. Effect of temperature, leaf wetness, and rainfall on the production of *Guignardia citricarpa* ascospores and on black spot severity on sweet orange. **Fitopatologia Brasileira**, v. 31, p. 029-034. 2006.

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, December 2008.

SENTELHAS, P. C.; MONTEIRO, J.E.B.A.; GILLESPIE, T.J. Electronic leaf wetness duration sensor: why it should be painted. **International Journal of Biometeorology**, v.48, p.202-205. 2004a.

SENTELHAS, P.C.; GILLESPIE, T.J.; BATZER, J.C.; GLEASON, M.L.; MONTEIRO, J.E.B.A.; PEZZOPANE, J.R.M.; PEDRO JR, M.J. Spatial variability of leaf wetness duration in different crop canopies. **International Journal of Biometeorology**, v.49, p.363-370, 2005.

SENTELHAS, P.C.; GILLESPIE, T.J.; GLEASON, M.L.; MONTEIRO, J.E.B.A.; HELLAND, S.T. Operational exposure of leaf wetness sensors. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.126, p.59-72, 2004b.

SENTELHAS, P.C.; GILLESPIE, T.J.; SANTOS, E.A. Leaf wetness duration measurement: comparison of cylindrical and flat plate sensors under different field conditions. **Int J Biometeorol**, v. 51, p. 265–273, 2007.

SILVA, S.R., RIOS, G.P. & SILVA, S.C. Influência da resistência e do período de molhamento na infecção e desenvolvimento de lesões de ferrugem no feijoeiro. **Fitopatologia Brasileira**, v.26, p.726-731. 2001.

TÖFOLI, J. G.; DOMINGUES, R. J.; FERREIRA, M. R.; GARCIA JÚNIOR, O. Ação de acibenzolar-s-methyl isolado e em mistura com fungicidas no controle da requeima da batata. **Horticultura Brasileira**. Brasília, v.23, n.3, p.749-753, jul-set, 2005.

TRENTIN, G.; HELDWEIN, A.B.; STRECK, L.; MAASS, G.F.; RADONS, S.Z., TRENTIN, R. Controle da requeima em batata cv. 'Asterix' como base para modelos de previsão da doença. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, n.2, p.393-399, mar-abr, 2009.

VALE, F.X.R.; ZAMBOLIM, L.; PAUL, P.A.; SALUSTIANO, M.E. Manejo da pinta preta do tomateiro In: ed. ZAMBOLIM, L. **Manejo integrado de doenças e pragas**. Viçosa. MG. 47-52p. 1999.

WEIS, A.; LUKENS, D.L.; STEADMAN, J.R. A sensor for the direct measurement of leaf wetness: construction techniques and testing under controlled conditions, **Agricultural and Forest Meteorology**, v.43, p. 241-249, 1988.

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION: Report on the Measurement of Leaf Wetness (R.R. Getz). **Agricultural Meteorology Report** No. 38, WMO/TD-No. 478, Geneva, 1992.

ZAMBOLIM, L., VALE, F.X.R., CRUZ FILHO, J. & CHAVES, G.M. Emprego da Calda Viçosa na cultura do tomateiro (*L. esculentum*) para o controle de doenças da parte aérea. Viçosa: UFV. **Informe técnico**. 66. 1990.

CAPÍTULO 2: DESENVOLVIMENTO E TESTE DE UM SISTEMA DE ALERTA FITOSSANITÁRIO PARA DOENÇAS EM PLANTAS

Introdução

A crescente população mundial anseia pela elevação na quantidade e qualidade dos alimentos produzidos, buscando suprir suas necessidades alimentares básicas, físicas e nutritivas. Porém, as doenças fúngicas impossibilitam as plantas de alcançarem o seu potencial produtivo, reduzindo a produção de alimentos e conseqüentemente aumentando sua demanda, impossibilitando, assim, o acesso à alimentação básica da classe menos favorecida da população. No entanto, têm-se realizado diversas pesquisas focando a redução do impacto dessas doenças, com a integração de técnicas e medidas que constituem o manejo integrado de doenças, sendo o controle químico uma das mais utilizadas no controle fitossanitário. Porém, otimiza-se esse controle químico ao se aplicar os fungicidas na forma e no momento ideal, sendo este último determinado com base nos sistemas de alerta de doenças em plantas, auxiliando a tomada de decisão da aplicação dos defensivos agrícolas com base na favorabilidade do ambiente em desenvolver o patógeno. No entanto, esses sistemas dependem de informações meteorológicas provindas de equipamentos automáticos, que geralmente são importados, fato esse que dificulta sua aquisição e manutenção, criando-se uma aversão ao seu uso, tornando-se, assim, o foco deste trabalho.

A suscetibilidade das plantas às doenças fúngicas é explicada por uma complexa relação entre hospedeiro, patógeno e ambiente, bastando que se tenha uma planta (hospedeiro) suscetível, um fungo (patógeno) que se desenvolve naquela planta e o microclima favorável para que possibilite o desenvolvimento da doença. Dessa forma, realizam-se várias pesquisas com o intuito de reduzir o impacto das doenças em diversas culturas, como mostra os trabalhos referentes ao feijão (SILVA *et al.*, 2001; COELHO *et al.*, 2003), girassol (LEITE; AMORIM, 2002), café (GARÇON *et al.*, 2004), laranja (REIS *et al.*, 2006), uva (LULU *et al.*, 2008) e tomate (MARCUSOZZO *et al.*, 2009).

A batata é hoje um dos alimentos mais frequentemente encontrados na mesa do brasileiro, sendo o quarto alimento mais consumido no mundo (FAO, 2008), dada a diversificação de pratos em que é utilizada na culinária, sua fácil digestão e a sua qualidade nutritiva que fornece proteínas de alta qualidade biológica, carboidratos, fibras, vitaminas e minerais (MELO *et al.*, 2011). Com significativa importância no mercado nacional e internacional, fazem-se necessários maiores estudos para aumentar sua produtividade e reduzir suas perdas pré e pós-colheita.

Dentre as perdas pré-colheita, destacam-se aquelas ocorridas em função das pragas e doenças, sendo as doenças subdivididas em fúngicas, bacterianas, viroses e nematoides. Entre essas, a de maior importância neste trabalho são as doenças fúngicas, que são causadas por fungos em plantas com diversas espécies e importâncias para a queda na produtividade da batata, sendo o *Alternaria grandis* (*A. Solani*), causador do “Pinta-preta”, e o *Phytophthora infestans*, causador da “Requeima”. (VALE *et al.*, 2007).

“Requeima” é a doença fúngica com maior importância para a cultura da batata devido a sua agressividade, destruindo toda uma lavoura em poucos dias dependendo do microclima e do controle realizado. Seu desenvolvimento é mais expressivo sob temperaturas entre 12 e 20 °C, com alta umidade relativa do ar e molhamento foliar presente, ocorrendo epidemias severas se tais condições prevalecerem por alguns dias (Zambolim *et al.*, 2011).

Relatos mostram a eficiência do uso de fungicidas no controle de doenças de plantas. Duarte *et al.* (2007a) relatam redução de 97% na produção de batatas quando não se empregaram aplicações de fungicidas sistêmicos e protetores. Outros relatos de redução na produtividade (com e sem aplicação de fungicida) da batateira em relação à requeima variaram de 6,7 t ha⁻¹ (BOSCO *et al.*, 2009) a 24,8 t ha⁻¹ (TÖFOLI *et al.*, 2005); para o tomateiro, a redução foi de 57,0 t ha⁻¹ (DUARTE *et al.*, 2007a) e 62,1 t ha⁻¹ (DUARTE *et al.*, 2007b).

Dada a eficiência do controle químico na redução do impacto causado pela “Requeima”, geralmente, aplicam-se fungicidas nas lavouras buscando-se a erradicação do fungo, tendo como principal meio de determinação do momento ideal a intuição ou sistemas baseados em calendários. Ambas as técnicas resultam em excesso de aplicações quando o clima está pouco favorável à requeima, e um déficit quando o

clima está muito favorável, permitindo que o fungo entre nas culturas e reduza a produtividade da plantação (VALE *et al.*, 1999).

Sabendo o quanto a requeima pode ser agressiva em uma plantação, juntamente com a aversão ao risco de perder todo o seu investimento e a falta de conhecimento de técnicas que controlam o avanço da doença, geralmente os agricultores excedem a quantidade necessária de aplicações de fungicidas. Esse excesso prejudica o meio ambiente, intoxica os aplicadores dos produtos químicos, agride as plantas cultivadas (fitotoxidez), deixa resíduos nos alimentos produzidos e aumenta os custos da lavoura; Com isso, ao contrário do que alguns pensam, o excesso de produtos pode resultar em uma menor produtividade nas plantações (BARRETO *et al.*, 2004; ZAMBOLIM *et al.*, 1990; BERGAMIN FILHO; AMORIM, 1995). Dessa forma, busca-se o conhecimento de metodologias que determinem o momento ideal das aplicações dos defensivos agrícolas com base na favorabilidade das condições microclimáticas.

Uma das técnicas mais estudadas no manejo integrado de doenças em plantas são os sistemas de previsão. No entanto, apesar da alusão criada ao futuro, o sistema não prevê, mas, sim, determina o melhor momento de aplicar defensivos com base nos dados meteorológicos referentes ao passado e presente (BARRETO *et al.*, 2004; VALE *et al.*, 1999). Técnicas mais elaboradas de controle da requeima levam em consideração o clima e o patógeno, considerando o triângulo da doença, que requer uma complexa relação entre hospedeiro, patógeno e ambiente favorável para o avanço da doença. Espera-se, com a sua utilização, alcançar uma menor ocorrência de epidemias severas, um maior lucro, uma redução no número de aplicações dos defensivos e, conseqüentemente, uma maior produtividade com custos mais baixos. Por fim, espera-se alcançar também uma menor poluição ambiental devido à racionalização dos defensivos químicos (BERGAMIN FILHO; AMORIM, 1995).

Diversas são as pesquisas realizadas sobre sistemas de previsão de doenças em plantas, utilizando-se nessas várias culturas, tendo como base a determinação dos alertas, vários dos elementos meteorológicos do microclima em que a planta está inserida. A temperatura ambiente e o molhamento foliar são os elementos meteorológicos que mais se relacionam com o desenvolvimento das doenças nas plantas, apesar disso, todos os outros elementos têm sua parcela de significância no desenvolvimento e disseminação das doenças. Diversos são os sistemas de previsão da requeima na cultura da batata, tendo esses sido trabalhados por Hyre (1954), Wallin

(1962), Krauze, Massie e Hyre (1975), McKenzie (1981), Raposo, Wilks e Fry (1984) e Trentin *et al.* (2009).

Entre vários sistemas de previsão de doenças de plantas, o de Wallin (1962) tem sido amplamente utilizado no meio acadêmico para determinar o valor de severidade da doença (VSD), sendo esses valores diários. Para a realização do controle da requeima com base no trabalho de Wallin, acumulam-se seus índices diariamente e ao se atingir múltiplos de um valor estipulado pelo usuário do sistema, se determina a necessidade de aplicação de fungicida na plantação. Seus índices de VSD diários são obtidos com auxílio da tabela 1, sendo essa dependente da duração do período de molhamento foliar (DPM) e da temperatura ambiente média do período em que ocorreu tal molhamento. Observa-se, nessa tabela, que maiores valores de DPM resultam em um VSD também maior. Para a temperatura, observa-se que quanto maior for seu valor, dentro da faixa ótima de desenvolvimento do patógeno, menor será a DPM necessária para se atingir um mesmo valor de VSD.

Tabela 1 - Cálculo dos valores de severidade da doença (VSD), em função da duração do período de molhamento foliar e da temperatura média

Temperatura média (°C)	Duração do período de molhamento foliar (horas)				
	0 – 15	16 – 18	19 – 21	22 – 24	24 +
7,2 – 11,6	0 – 15	16 – 18	19 – 21	22 – 24	24 +
11,7 – 15,0	0 – 12	13 – 15	16 – 18	19 – 21	22 +
15,1 – 26,6	0 – 9	10 – 12	13 – 15	16 – 18	19 +
VSD ¹	0	1	2	3	4

Fonte: Adaptado de Wallin (1962)

¹ Valores de Severidade da Doença variando de zero a quatro para condições climáticas pouco e muito favoráveis à requeima, respectivamente.

Considerando o clima como um dos pilares do triângulo da doença em plantas (hospedeiro, patógeno e ambiente), fazem-se necessários alguns esclarecimentos sobre o tema.

A radiação solar é uma importante fonte de energia no planeta, já que converte água líquida em vapor d'água. Porém, nem toda a energia solar disponível é utilizada para evaporar a água, parte dela aquece a atmosfera e o solo (ALLEN *et al.*, 1998). Parte da radiação solar que atravessa a atmosfera, chega até a superfície terrestre, enquanto outra parte é difundida e (ou) absorvida por moléculas de gás, partículas de aerossol e gotículas de água na atmosfera (WMO, 2006).

A agrometeorologia geralmente mensura o clima no nível do cultivo. A medida da temperatura do ar é feita em abrigos meteorológicos que têm a função de proteger os instrumentos contra a irradiância solar. Esses abrigos são construídos de forma que o fluxo de ar passe quase que livremente pelos sensores.

Embora a quantidade de vapor d'água na atmosfera se mantenha praticamente constante durante o dia, há oscilações na umidade relativa do ar que estão relacionadas com a variação da temperatura ambiente.

A velocidade do vento é de grande importância na agrometeorologia. A água na superfície evapotranspira e satura o ar da atmosfera que está próximo à superfície evaporante. O vento remove a massa de ar saturada e a mistura com o ar seco, aumentando, assim, o poder evaporante da atmosfera (ALLEN *et al.*, 1998).

A precipitação é caracterizada na meteorologia pela queda d'água da atmosfera para a superfície terrestre em forma líquida ou sólida. A precipitação é o fenômeno da natureza responsável por devolver a água que evapotranspirou da superfície. A quantificação da chuva é feita por meio dos pluviômetros e pluviógrafos.

Cada elemento meteorológico tem sua contribuição no molhamento foliar, seja aumentando ou reduzindo-o. Quanto maior for a irradiância solar, a velocidade do vento e a temperatura do ar, maior será a tendência de que as folhas das plantas e a superfície sequem. No entanto, a umidade relativa do ar e a precipitação influenciam o molhamento foliar de forma que, quanto maiores seus valores, mais molhadas ficarão as superfícies das plantas.

O molhamento é a presença de água líquida na superfície das plantas, principalmente nas folhas, as quais são os principais sítios de infecção, podendo esta ocorrer por meio de chuva, irrigação ou orvalho, predispondo a infecção das plantas pelos patógenos. As características morfológicas da superfície das plantas podem ser pilosa, glabra ou cerosa, e, juntamente com o adensamento de plantio, influenciam significativamente o tempo de molhamento foliar da planta (LAIONE; WORDELL FILHO, 2004).

A mensuração do molhamento foliar apresenta dificuldades em sua exata quantificação, sendo essa dependente de sensores eletrônicos de medição indireta, com base em resistências elétricas ou capacitivas. A posição de instalação desses sensores deve obter atenção especial, dado sua alta variabilidade causada pelas diferentes alturas, ângulos de instalação, sentido de instalação, materiais, cores e formatos dos sensores

(SENTELHAS *et al.*, 2004a; 2004c; 2005). Para uma maior exatidão nas medições do molhamento foliar recomenda-se o posicionamento dos sensores dentro do dossel da cultura (LAIONE; WORDELL FILHO, 2004).

A DPM é uma variável facilmente estimada com a utilização de um sensor de umidade relativa do ar, sendo necessário o posicionamento do mesmo dentro do dossel da cultura para uma melhor representabilidade em seus dados. Porém, conforme encontrado por Sentelhas *et al.* (2004b) e Streck (2006), ocorrem subestimativas significativas em sua medições, chegando a erros de até sete horas, e conseqüentemente, em erros de três no VSD diário, conforme observado na tabela 1.

A crescente busca por soluções para agricultura tem avançado muito no quesito facilidades de uso dos equipamentos. Diariamente se desenvolve novos equipamentos e tecnologias, buscando meios de facilitar o uso, aumentar a exatidão e confiabilidade desses equipamentos, além de fazer com que aumente o interesse das pessoas pelos equipamentos e conseqüentemente por sua utilização. Sabendo disso, criam-se programas e técnicas que facilitem a implementação dessas tecnologias no campo, inclusive na irrigação e fitopatologia, aumentando-se a autonomia do homem no campo. Fato esse, que não retira a necessidade de visitas técnicas para a verificação do correto funcionamento dos equipamentos e suas aplicações.

Na irrigação tem-se aumentado a exatidão dos cálculos de lâminas de irrigação, por meio de dados providos de estações meteorológicas automáticas que são utilizados em equações padrões de determinação de evapotranspiração, assim como na atuação de sistemas de irrigação, que são ligados e desligados automaticamente, por meio de softwares que calculam o momento ideal para realizar uma irrigação (SOARES *et al.*, 2001; SILVA *et al.*, 2005; CAVALCANTE JÚNIOR *et al.*, 2011).

O desenvolvimento das doenças fúngicas se dá a uma taxa acelerada quando a temperatura ambiente e o molhamento foliar estão em condições ótimas para o fungo. Daí vem a necessidade de se utilizar uma estação meteorológica automática na fitopatologia. Equipamentos esses que em sua maioria, são importados, o que dificulta sua aquisição e manutenção; além desse fato, os equipamentos importados geralmente têm uma complexidade desnecessária, que dificulta seu uso. Com isso, observa-se a necessidade de novas pesquisas na área de desenvolvimento de equipamentos que meçam e registrem a temperatura do ar e o molhamento foliar.

Desenvolveu-se uma estação meteorológica automática nacional voltada para a realidade do agricultor brasileiro, com baixa complexidade de uso, autossuficiência energética, sensores do tipo *plug-and-play*, além de ter sensores calibrados com técnicas internacionalmente reconhecidas. Encontrou-se, no teste de campo realizado em paralelo com a estação meteorológica automática, modelo MAWS301, da marca Vaisala, o coeficiente de correlação igual a 0,911 no pior caso (FINHOLDT *et al.*, 2011).

Outro equipamento nacional que mensura, registra e processa alguns dados de temperatura ambiente, umidade relativa do ar e molhamento foliar é o Colpam, destinado a auxiliar fitopatologistas e produtores rurais na previsão de doenças em plantas. Seus dados podem ser utilizados para explicar o desenvolvimento das doenças nas plantas, correlacionando a taxa de progresso da epidemia com elementos meteorológicos. (LAIONE; WORDWELL FILHO, 2004). Esse equipamento vem sendo empregado em sistemas de alerta de doenças de plantas, como é o caso de Souza *et al.* (2002) e Becker (2010).

Atualmente, o uso das estações meteorológicas automáticas tem crescido significativamente por sua maior disponibilidade, pela capacidade de armazenamento de dados e pela facilidade de acesso aos dados medidos. Entretanto, sua utilização ainda é restrita, principalmente em função dos seus custos, de aquisição e manutenção, e das dificuldades no manuseio.

Estações meteorológicas automáticas permitem a implantação de programas de gerenciamento de irrigação mais eficientes, reduzindo o consumo de água, energia elétrica, mão de obra, menor ocorrência de doenças em plantas, maior eficiência no uso de produtos fitossanitários, além de tantas outras utilidades em outras áreas. Sendo assim, apesar dos fatores que levam um agricultor a não comprar tal equipamento, deve-se considerar o lado positivo de tal equipamento que, se bem utilizado, otimiza os insumos, a produtividade, a rentabilidade agropecuária e a preservação ambiental.

Uma estação meteorológica automática é um sistema autônomo de mensuração e registro dos dados de fenômenos meteorológicos, sendo esses quantificados por sensores eletrônicos. Os dados provenientes dos sensores são a base para o monitoramento e o controle da maioria dos processos industriais (HALLIDAY *et al.*, 1996; SEDRA; SMITH, 2000). Thomazini e Albuquerque (2007) definem sensor como

um dispositivo sensível a alguma forma de energia, relacionando-a com uma grandeza física.

As grandezas físicas (temperatura do ar, umidade relativa do ar e o molhamento foliar) registradas em sistemas de aquisição de dados são inerentes a alguns fenômenos físicos e, em geral, sua natureza é analógica. Tocci e Widmer (2000) afirmam que uma variável analógica assume valores contínuos e reais, diferentemente dos sinais digitais, que são descontínuos e expressos em uma representação binária. As grandezas analógicas podem ser obtidas por meio de sensores eletrônicos, sendo esses dispositivos que criam um campo elétrico que induzem uma tensão ou uma corrente e reagem a qualquer alteração desse campo elétrico. (ORDONEZ *et al.*, 2005).

Para o correto funcionamento de um equipamento, cria-se uma placa de circuito impresso (PCI) que interliga os componentes elétricos e eletrônicos de forma permanente e eficiente. A PCI contribui na redução de mau contato entre os elementos constituintes da placa, além de facilitar a montagem e produção de equipamentos, reduzindo-se e até substituindo a utilização de fios por trilhas de cobre (OLIVEIRA; ANDRADE, 2006).

Um dos sensores mais utilizados para medição do molhamento foliar é o sensor eletrônico plano que mede resistência elétrica da Campbell. Tal sensor fica com baixa resistência elétrica quando está totalmente molhado e com alta resistência quando está seco, não deixando, assim, passar nenhuma corrente elétrica pelo circuito condicionador de sinais.

Porém, quando o sensor eletrônico de DPM é comercializado, geralmente não é pintado, tendo assim, um maior coeficiente de variação (CV), além de resultar em uma menor confiabilidade de suas medições. Nessa condição, o alto CV é proporcionado pelo distanciamento entre as trilhas elétricas do sensor que, dependendo da uniformidade da distribuição das microgotículas espalhadas sobre o sensor, fecha ou não o circuito, fazendo com que em sensores do mesmo tipo e expostos em um mesmo ambiente, tenham medições de molhado e seco ao mesmo instante. Para reduzir esse problema, faz-se necessária a pintura dos sensores para que haja o espalhamento das microgotículas sobre a placa, sensibilizando o sensor mesmo com gotículas muito pequenas (SENTELHAS *et al.*, 2004a).

Outros fatores que influenciam muito o CV nas medições do molhamento foliar são o posicionamento e a localização de instalação do sensor. Essas, por sua vez, foram

padronizadas por Sentelhas *et al.* (2004c) para fins agrometeorológicos, sendo a altura de 30 cm do solo, ângulo de 30 graus em relação ao solo e face voltada para o sul. Portanto, o microclima de real interesse se encontra dentro e nas imediações do dossel da cultura. É lá que se tem a condição em que o fungo está se desenvolvendo.

Com base no exposto, o objetivo do trabalho é desenvolver um sistema de aquisição de dados e suporte à tomada de decisão para alertas de doenças de plantas com os sensores de temperatura ambiente, umidade relativa do ar e de molhamento foliar. Além disso, esse trabalho objetivou também, comparar algumas metodologias de medições de molhamento foliar para encontrar suas relações, possibilitando o trabalho com quaisquer tabelas de VSD que se tenha interesse.

Material e Métodos

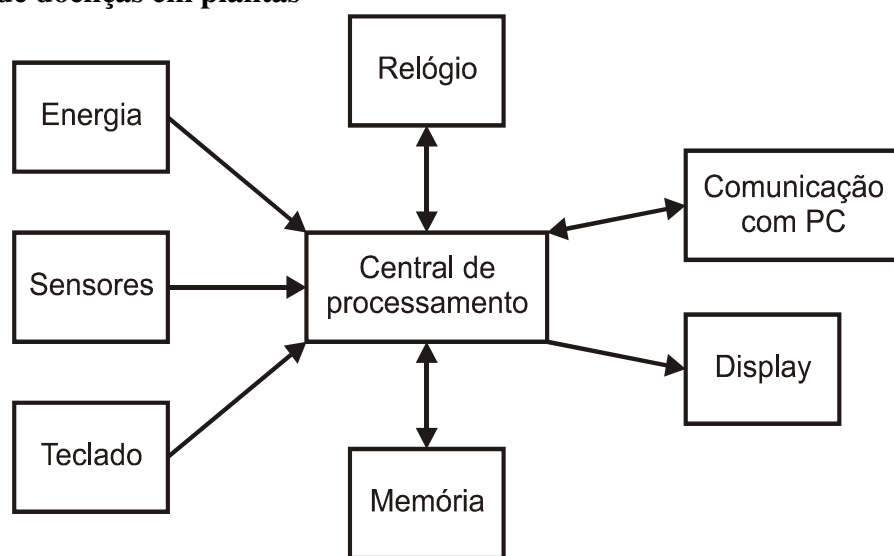
O desenvolvimento da Estação Meteorológica Automática para Alerta de Doença em Plantas (EMAADP) foi realizado durante o ano de 2011, no Laboratório de Automação e Irrigação de Precisão do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa (DEA/UFV) e no laboratório da Irriplus Equipamentos Científicos Ltda., empresa graduada pela Incubadora de Empresas de Base Tecnológica da UFV.

A idealização do sistema foi realizada com auxílio de um diagrama de blocos, sendo esse dividido em oito partes: “Central de Processamento”, “Energia”, “Sensores”, “Teclado”, “Relógio”, “Memória”, “Comunicação com PC” e “Display”, forma essa que ordena melhor as ideias de construção de um dispositivo (Figura 1).

O equipamento é automatizado devido ao bloco “Central de processamento”, que gerencia todas as funções do equipamento, unindo entradas e saídas do sistema. Os blocos secundários são de entrada e saída, sendo esses responsáveis por enviarem ou receberem dados da central de processamento. A “Central de processamento” é composta por dois capacitores, um cristal de quartzo de 4 MHz e pelo microcontrolador *PIC16F877A (Microchip)*, que possui memória interna não volátil que armazena o programa de operações da EMAADP.

Os blocos “Energia”, “Teclado” e “Sensores” são responsáveis pela entrada de dados ou energia na EMAADP. O bloco “Energia” foi composto por três pilhas “D” de 1,5 V, totalizando 4,5 V para suprir a energia necessária do equipamento. O bloco “Teclado” envia para a “Central de processamento” as opções de interesse do usuário, por meio de três botões, sendo ligados diretamente ao microcontrolador sem a necessidade de filtro eletrônico contra ruídos, porque foram colocados no programa.

Figura 1 – Diagrama simplificado da estação meteorológica automática de alerta de doenças em plantas

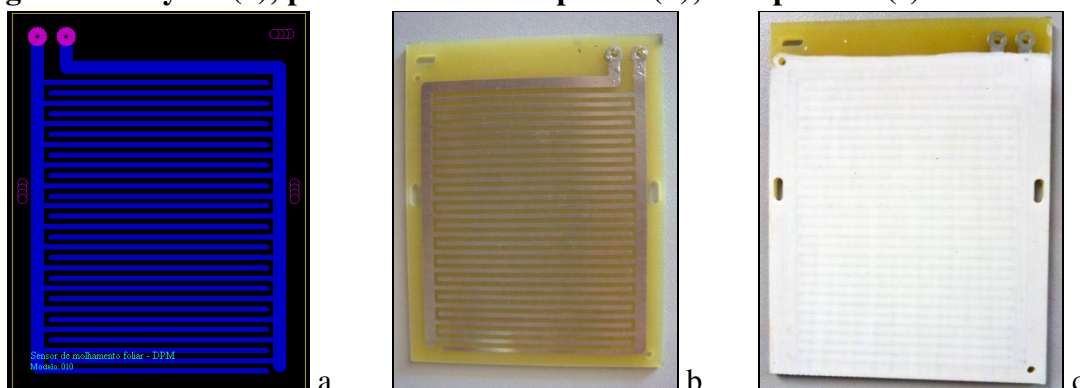


O bloco “Sensores” mensura e converte o molhamento foliar, a temperatura ambiente e a umidade relativa do ar para a faixa de tensão que o microcontrolador realiza as leituras. Os circuitos eletrônicos, o abrigo termométrico e os sensores de temperatura ambiente (*LM35CAZ, National Semiconductor*) e umidade relativa do ar (*HIH-4000-001, Honeywell*), referentes ao termômetro e ao higrômetro, foram iguais aos utilizados por Finholdt *et al.* (2011).

O sensor de molhamento foliar (Figura 2) foi desenvolvido em uma placa de circuito impresso, com tamanho de 5,8 x 7,8 cm, com material de fibra de vidro e trilhas de cobre revestidas por estanho, sendo essa, pintada com três camadas de tinta látex na cor branca com tratamento térmico. As trilhas são dispostas de forma que se tenha um circuito aberto entre as duas extremidades laterais da placa. A conexão do sensor ao equipamento foi realizada por meio de conectores do tipo *plug-and-play*.

Os blocos “Relógio”, “Memória” e “Comunicação com PC” são de entrada e saída. “Relógio” é o bloco responsável por retirar a “Central de processamento” do modo de repouso, para que as leituras dos sensores sejam realizadas, e em seguida as operações de médias e análise dos dados, voltando para repouso em seguida. Esse bloco é composto por um cristal de quartzo de 32.768 Hz e um circuito integrado denominado *Real Time Clock (RTC, DS1337, Dallas Semiconductor)*.

Figura 2 – Layout (a); placa de circuito impresso (b); PCI pintada (c)



“Memória” é o bloco que armazena os dados dos sensores no circuito integrado denominado *24LC1025 (Microchip)*, do tipo *Electrically-Erasable Programmable Read-Only Memory (EEPROM)*. A visualização dos dados é realizada, com a solicitação do usuário, no display do equipamento ou em microcomputador após a aquisição dos dados. Os dados salvos na memória são referentes a três sensores de molhamento foliar, com resolução de oito bits, um sensor de temperatura ambiente e um de umidade relativa do ar, com resolução de dez bits, e a totalização da DPM até o instante em que está sendo salvo, com resolução de oito bits. A capacidade de armazenamento de dados do equipamento é de quatro meses com intervalos de 12 minutos. Ambos os blocos, “Relógio” e “Memória”, utilizam comunicação do tipo serial, via protocolo *Inter-Integrated Circuit (I²C)* para enviar e receber dados do microcontrolador.

“Comunicação com PC” é o bloco que interliga a EMAADP a um microcomputador, via protocolo de comunicação RS-232, para que o usuário configure o equipamento ou realize a leitura dos dados. O cabo de conexão utilizado para conectar o equipamento a um PC deve ser um conversor RS232-TTL/USB.

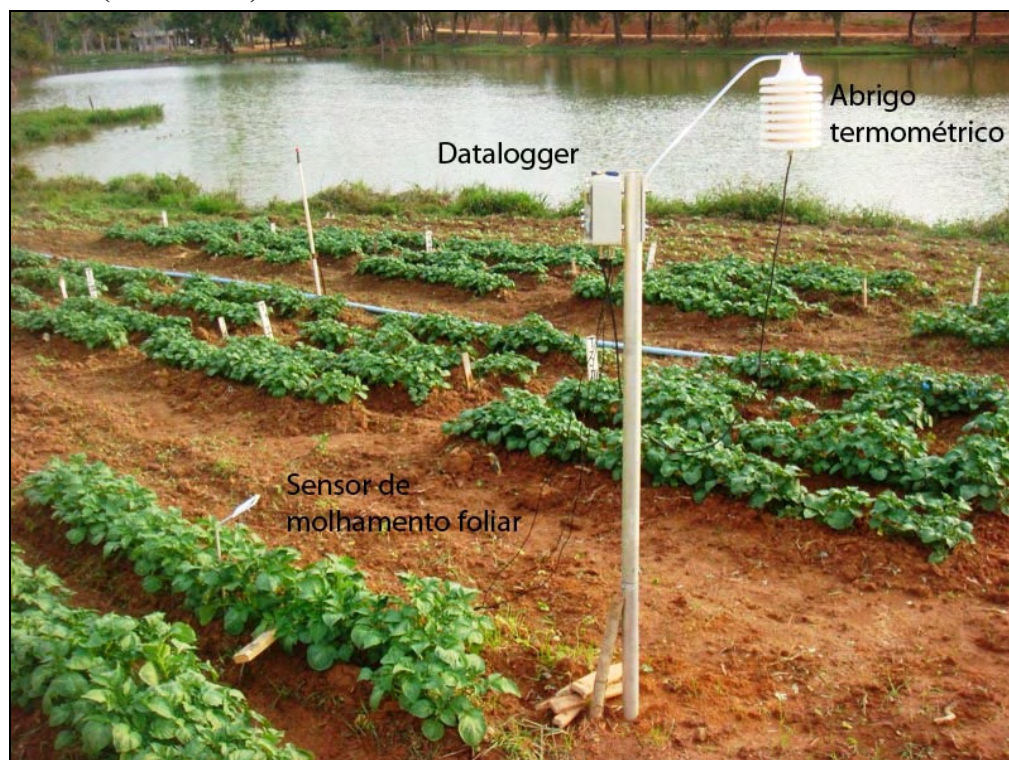
O bloco de saída “Display” é composto por um *LCD* de 16x2 caracteres, que apresenta os dados instantâneos de: três sensores de molhamento foliar, um sensor de temperatura ambiente, um sensor de umidade relativa do ar, a DPM do dia até o momento da leitura, a temperatura ambiente média do período em que os sensores permaneceram molhados, o VSD do dia anterior e o VSD acumulado.

Com o esboço do circuito eletrônico concluído, testou-se o equipamento em matriz de contatos elétricos. Em seguida, o software embarcado do microcontrolador foi gravado para testar a execução do sistema. Verificado o pleno funcionamento do circuito eletrônico, criou-se o layout (Figura 3a) da placa eletrônica seguindo as seguintes diretrizes: aumentou-se a largura das trilhas de alimentação para fornecer a energia necessária, reduziram-se as trilhas com altas frequências para minimizar os ruídos criados, criou-se uma malha de terra em volta da PCI para evitar a entrada de ruídos e posicionaram-se os capacitores de forma que os polos positivos tivessem o mesmo sentido, facilitando assim a montagem em larga escala.

Em seguida, iniciou-se a etapa de corrosão da placa de circuito impresso, passando-se por várias etapas, sendo essas: impressão do layout em papel fotográfico; limpeza da placa de cobre com esponja de aço e álcool; transferência do *toner* da impressão para a placa de cobre, com auxílio de prensa metálica na temperatura de 250 °C, pressionando-se por 5 minutos; submersão da placa em água com detergente líquido aquecidos; retirada do papel com a verificação das trilhas aderidas à placa de cobre; submersão da placa em água com percloroato de ferro para a corrosão do cobre; verificação da completa remoção do cobre desnecessário para a PCI; limpeza final da placa com detergente e esponja de aço; e furação da placa com furadeira de mão com broca de 0,8 milímetros. Com a PCI pronta (Figura 3b), soldaram-se os componentes na placa com estanho e finalizou-se o desenvolvimento do equipamento com a gravação do software embarcado no microcontrolador.

Em seguida, montou-se a caixa da EMAADP (Figura 4), vedando-se todos os orifícios para evitar a entrada de umidade. Priorizou-se a inserção de conectores que propiciem uma fácil conexão dos sensores ao equipamento para reduzir custos e facilitar a manutenção do equipamento. Com a constante exposição do equipamento (Figura 5) à chuva, ao vento, à irradiância solar, entre outros fenômenos da natureza, utilizou-se apenas aço inox, alumínio, polipropileno, acrílico, PVC e outros materiais resistentes à oxidação em sua estrutura física.

Figura 5 – Estação Meteorológica Automática de Alerta de Doenças em Plantas (EMAADP)

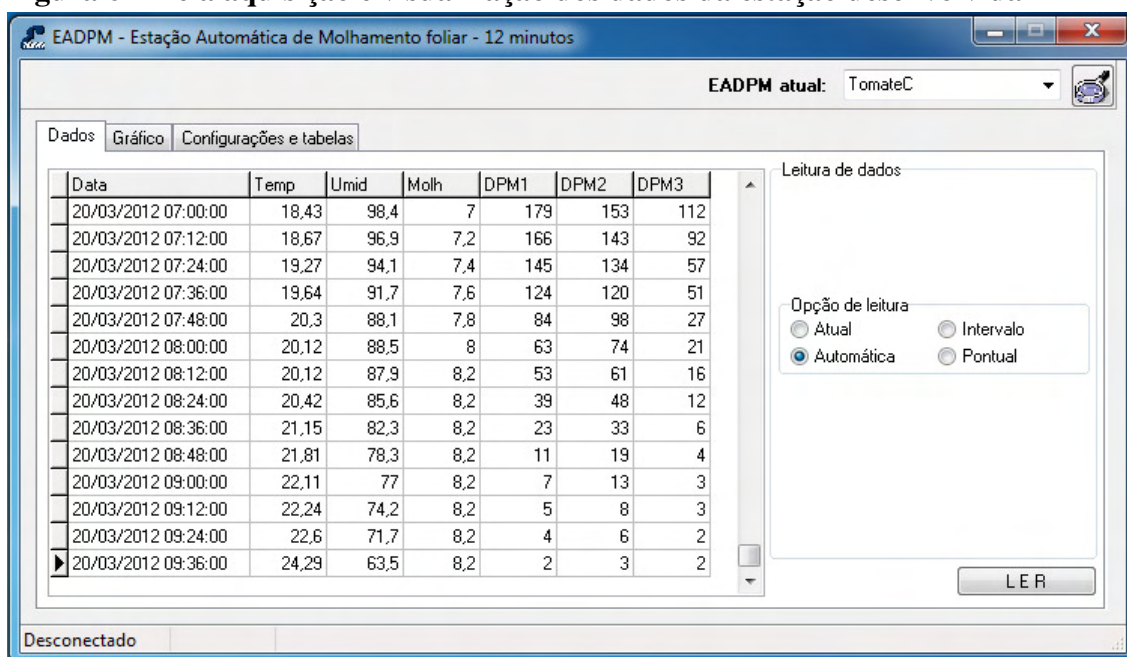


Para a comunicação do equipamento com o microcomputador, foi criado um programa (Figura 6) para realizar a aquisição dos dados registrados na EMAADP, salvando-os em arquivo banco de dados com extensão “MDB”. Os dados registrados no PC são visualizados no modo de tabela ou gráfico. O usuário visualiza o gráfico desejado e (ou) exporta os dados para uma planilha eletrônica de microcomputador *PC*, bastando, para isso, estabelecer o período de interesse. Visando facilitar a comunicação do equipamento com o microcomputador, foram inseridas rotinas no software de forma que o próprio programa procura a porta de comunicação e identifica o equipamento. Após identificado, automaticamente o programa verifica se o relógio do equipamento está desatualizado e, se estiver, possibilita ao usuário a atualização dele. Em seguida, verifica se há novos dados a serem baixados e pergunta ao usuário se deseja baixá-los, caso haja dados.

Possibilitando maior flexibilidade ao equipamento, a EMAADP foi programada para calcular a DPM da forma que o usuário achar necessário, bastando, para isso, configurá-la entre três modos (Figura 7), sendo eles: DPM, DPM sobreposto ou umidade relativa. O modo DPM calcula a tempo de molhamento diário observando

apenas uma placa de molhamento foliar, sendo computado como molhado quando a placa estiver com valores acima do limiar configurado pelo usuário. O modo sobreposto funciona da mesma forma que o anterior, porém, compara o molhamento foliar em três placas, possibilitando ao usuário medir a DPM com base em três pontos do dossel da cultura (em baixo, dentro e acima). Por ultimo, a DPM pode ser computada com base na umidade relativa do ar, sendo considerado como molhado quando a umidade relativa estiver acima de um limiar determinado pelo usuário.

Figura 6 – Tela aquisição e visualização dos dados da estação desenvolvida



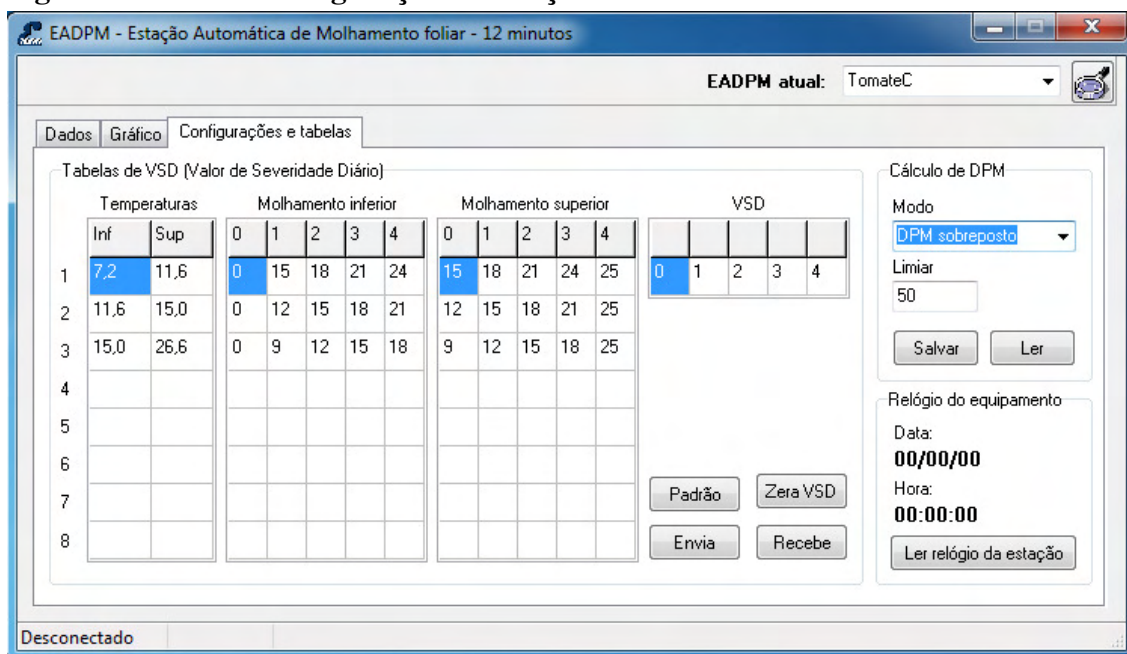
Projeto-se o equipamento de forma que se aumente a quantidade de doenças e culturas estudadas com ele, podendo, assim, ser utilizado em quaisquer pesquisas, desde que se use o molhamento foliar, a temperatura e a umidade relativa do ar com base em tabelas de VSD pré-estabelecidas (Figura 7). O VSD é determinado pela EMAADP na virada do dia (de 23:59 para 00:00). O equipamento calcula a DPM diária e a temperatura média do período molhado, compara esses valores com os dados da tabela já configurada e determina qual o índice de VSD do dia anterior. Após determinado, o índice é somado em uma variável de VSD acumulado, cuja variável é utilizada para determinar as pulverizações. É por meio dessa variável que o agricultor irá decidir se irá pulverizar ou não. Geralmente os múltiplos de oito são utilizados para a pulverização em tomate, em locais com ambiente com alto índice de inóculos.

A junção de operações realizadas para equacionar o sinal de um sensor, criando uma relação direta entre o sensor-teste e o sensor-padrão, é chamada de calibração. Com as equações de calibração, os sensores representam adequadamente as variações dos fenômenos meteorológicos.

Realizaram-se os procedimentos de calibração para a verificação do correto funcionamento do higrômetro e do termômetro, mesmo tendo sido utilizados componentes já calibrados e com equações de suas medições. As técnicas utilizadas na calibração são recomendadas pela Organização Meteorológica Mundial (WMO, 2006) e já realizadas por Finholdt *et al.* (2011).

O procedimento-padrão de calibração para o higrômetro foi realizado com base em soluções salinas saturadas, que garantem o percentual de umidade relativa do ar constante dentro de um recipiente. Utilizaram-se sete valores pré-determinados de umidade relativa, sendo esses: 11,3%, 30,6%, 32,8%, 54,0%, 75,2%, 90,0% e 97,1%. Esperou-se dois dias após preparar a solução e lacrar o recipiente para realizar a leitura nos sensores com pequenas oscilações nas medições.

Figura 7 – Tela de configuração da estação desenvolvida



Os testes com as placas de molhamento foliar foram relatados no primeiro capítulo, tendo sido colocadas várias placas em paralelo expostas ao mesmo ambiente

para verificar a diferença de resposta entre elas, tendo geralmente diferença entre elas de no máximo 3% ao serem expostas sob mesmas condições.

Instalou-se a EMAADP no campo experimental (Figura 8) do Departamento de Fitopatologia da Universidade Federal de Viçosa, ao lado de uma estação meteorológica automática comercial para comparar o funcionamento do equipamento desenvolvido por meio dos dados obtidos de ambos. Sendo o período de aquisição dos dados de 20/08/2011 a 02/10/2011.

Seguindo a recomendação da WMO (2006), o termômetro e o higrômetro foram posicionados a uma altura de 1,5 m para fins agrometeorológicos. Na medição do molhamento foliar, foram comparadas duas formas de se determinar a DPM: medir e estimar. A medição se baseou em sensores eletrônicos do tipo planos, comparando pintados e não pintados. O sensor não pintado foi o da Campbell, tido como referência de utilização em grande parte dos trabalhos de fitopatologia. Os sensores pintados foram desenvolvidos no primeiro capítulo; entre eles, dois foram colocados a um terço da altura e um sobre o dossel da batata.

Figura 8 – Instalação da estação desenvolvida no campo experimental



A estimativa da DPM foi realizada pela metodologia da umidade relativa maior que 90%; sendo essa determinada pelo somatório de momentos em que a umidade relativa do ar é maior do que 90%.

Depois de instalado em campo, o equipamento registra os dados meteorológicos em sua memória. Durante esse período, verificou-se o funcionamento da EMAADP periodicamente através de leituras em seu visor e por meio das aquisições de dados com microcomputador, podendo verificar um correto funcionamento.

Após o período experimental, foi realizada a aquisição dos dados da estação desenvolvida e da estação comercial, para comparar a diferença entre elas. Comparou-se em planilha eletrônica o coeficiente de variação dos sensores, diário e por período, para verificar possíveis subestimações dos métodos.

Resultados e Discussão

Durante os 44 dias do experimento, a estação desenvolvida mediu e registrou dados de temperatura ambiente, umidade relativa do ar e molhamento foliar, estando a temperatura ambiente entre 5,0 e 32,3 graus, com média em 17,9 graus, e umidade relativa do ar entre 29 e 98%, com média em 69%, conforme mostra a Figura 9.

Na medição do molhamento foliar, obtiveram-se sete conjuntos de dados distintos, estando seus extremos e médias expostos na Tabela 2.

A utilização do equipamento em campo, por outros usuários, resultou em melhorias na forma de expor os dados no visor do equipamento e no programa de aquisição de dados do microcomputador. Inicialmente, visualizava-se no visor do equipamento, apenas os valores dos dados, sem unidades ou palavras que informassem ao usuário o que era tal informação. Com a dificuldade na utilização do equipamento, vista em campo, modificou-se o software embarcado do equipamento e do microcomputador para facilitar seu uso.

O auxílio na tomada de decisão do momento de aplicar os fungicidas é realizado com base no VSD acumulado, sendo essa informação mostrada na tela inicial do equipamento, facilitando, assim, seu uso diário em campo. Porém, se necessário, o VSD

do dia anterior, o VSD de controle, a temperatura e a umidade relativa do ar e o molhamento foliar dos três sensores podem ser visualizados nas telas seguintes.

Figura 9 – Médias diárias de temperatura e umidade relativa do ar do experimento

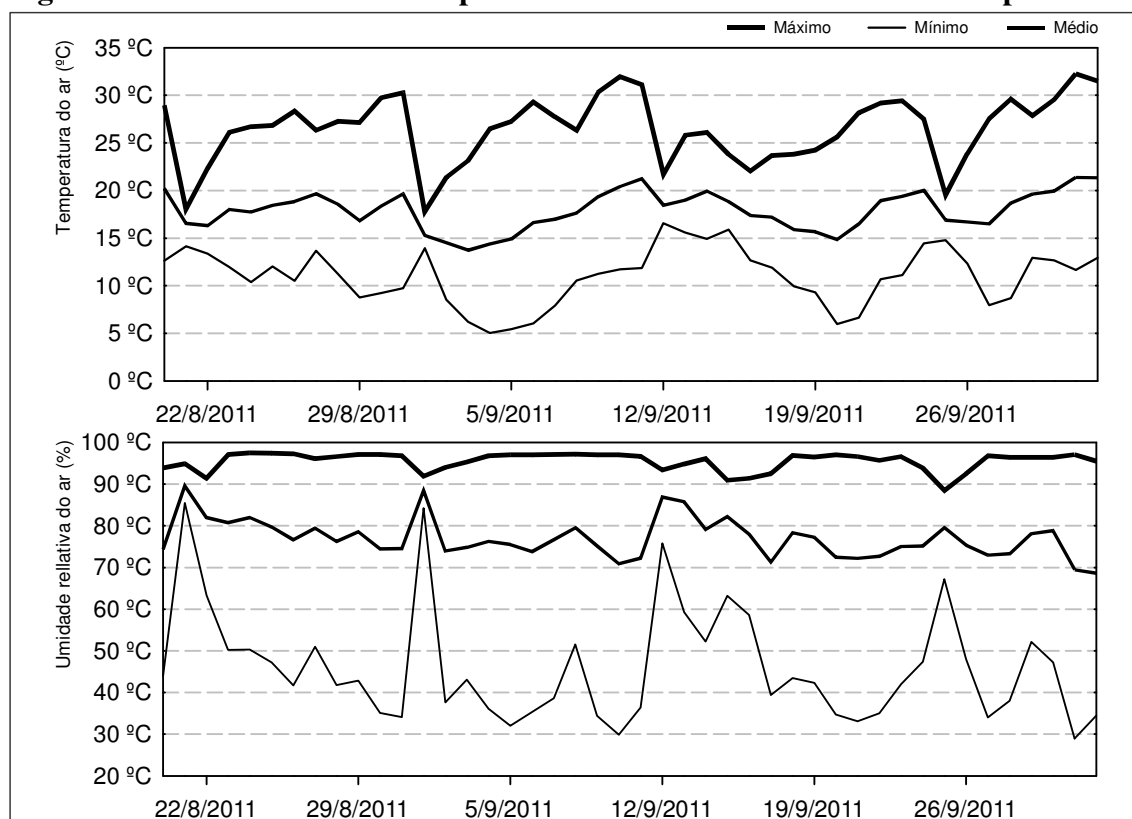


Tabela 2 – Médias de temperatura ambiente, umidade relativa do ar e molhamento foliar do experimento

	Temp (°C)	UR (%)	DPM (h)						
			Pintados ¹				Não pintado Campbell ⁵	UR ≥	
			Base ² 1	Base ² 2	Topo ³	Sobreposto ⁴		90%	58,5%
Máximo	32,3	98	24,0	24,0	24,0	24,0	18,5	14,3	24,0
Média	17,9	69	18,0	17,5	15,5	19,0	12,7	8,1	19,0
Mínimo	5,0	29	9,8	7,6	6,6	9,8	2,0	0,0	14,8

¹ Sensores desenvolvidos no experimento, sendo esses pintados; ² Sensor exposto na base do dossel da cultura, entre as folhas;

³ Sensor exposto sobre o dossel da cultura; ⁴ Dados obtidos por meio da sobreposição dos momentos em que um dos sensores desenvolvidos estavam molhados; ⁵ Sensor comercial, tido como referência de uso em trabalhos de fitopatologia, sem pintura.

Para facilitar a aquisição dos dados do equipamento, a localização da porta serial e a determinação do período dos dados a serem descarregados são realizadas de forma automática, tendo por base que essa era uma função tida como muito complicada pelos usuários. Para isso, basta conectar o cabo entre o equipamento e o PC e abrir o programa; assim, o próprio sistema já determina quais dados ainda não foram

descarregados e os atualiza no banco de dados, possibilitando ao usuário visualizar os dados na forma de tabela, gráfico ou mesmo exportá-los para uma planilha eletrônica.

A resolução dos dados dos sensores de molhamento foliar foi configurada para oito bits, resultando em valores entre 0 e 255. Os dados resultantes dessas medições com valores menores do que o limiar configurado pelo usuário indicam que o sensor está seco. Por outro lado, os valores iguais ou maiores indicam sensor molhado.

Alguns dos dados instantâneos de molhamento foliar registrados na memória do equipamento foram plotados nas Figuras 10a, b e c. Com base nessas figuras, verifica-se a subestimação nos dados de molhamento foliar que alguns métodos resultam. Chamou-se de subestimação, porque se considerou que a referência de molhamento foliar nesse trabalho foi o método “sobreposto”, sendo assim considerado, por mostrar medidas mais próximas da realidade da planta. O método que mais subestimou o molhamento foliar se baseia na umidade relativa do ar, sendo os dados apenas uma estimativa de tal variável; em seguida, a medição com sensores de molhamento foliar não pintados; logo após, os sensores pintados e instalados acima do topo do dossel da batata; e, por fim, os sensores pintados e instalados no interior do dossel da cultura da batata.

Observa-se nas Figuras 10a, 10b e 10c, a subestimação do molhamento foliar causado pelo método da umidade relativa do ar maior que 90%, que se mostra inferior as leituras dos sensores eletrônicos de DPM. Chegando a casos extremos, como no dia 25/09/2011, da Figura 10c, que não indicou molhamento foliar em todo o dia.

O comportamento dos dados obtidos com o sensor de molhamento foliar não pintado é independente a cada dia, podendo este ser iniciado juntamente com os sensores pintados se a taxa de orvalho instantânea for expressiva no início do molhamento, ou seja; devido a grande quantidade de orvalho que entra em um curto intervalo de tempo, molha-se no mesmo instante, tanto os sensores pintados como os não pintados (Figura 10a). Desde que estejam expostos à mesma condição, como é o caso dos sensores “Topo” e “Não pintado”, em que ambos estão posicionados acima do dossel da cultura da batata. Porém, se a taxa de orvalho instantânea for baixa, os sensores com pintura identificarão o molhamento antes dos sensores não pintados (Figura 10b), isso, devido às micro-gotículas que são percebidas nos sensores pintados, enquanto nos sensores não pintados, leva-se um tempo até que as micro-gotículas atinjam o diâmetro mínimo de um milímetro para serem identificadas pelo sensor.

Observa-se o mesmo comportamento nos períodos de secagem dos sensores de molhamento foliar, “Topo” e “Não pintado” (Figura 10), sendo identificada primeiramente nos sensores não pintados. Isso ocorre sempre, devido ao tamanho das gotas que estão expostas sobre as placas, que ao secarem, vão reduzindo de tamanho, até que atinjam um milímetro, e assim, nos sensores não pintados, devido ao espaçamento das trilhas, já é tido como seco, enquanto nos sensores com pintura, só são tidos como secos, quando não existe nenhuma micro gotícula. Com isso, afirma-se que a subestimação dos dados causada pelos sensores não pintados, acontece principalmente por causa do período de secagem, mas, se a taxa de orvalho instantânea for baixa, o início do molhamento também pode aumentar a subestimativa dos dados.

O molhamento inicial do sensor “Não pintado” juntamente com o sensor “Topo”, nem sempre será seguido pelos sensores que estão dentro do dossel da cultura da batata. Isso, porque, leva-se um tempo até que o orvalho da atmosfera sature o microclima abaixo das folhas da planta, atingindo assim os sensores inferiores. Por isso, nota-se na Figura 10a, que, apesar dos sensores que estão acima do dossel terem sido molhados no mesmo instante, os sensores “Base 1” e “Base 2”, só identificaram molhamento após uma hora. Mas, dependendo da umidade absoluta do microclima dentro do dossel, e da taxa de queda da temperatura ambiente, identifica-se o início do molhamento foliar dentro do dossel (sensores “Base 1” e “Base 2”) anterior ao sensor “Não pintado”.

Outro motivo de subestimação dos dados dos sensores não pintados ocorre quando se está próximo do limite entre o diâmetro das gotículas de um milímetro. Sendo que, com pequenas variações na temperatura ambiente e conseqüentemente na umidade relativa do ar, tem-se um aumento ou redução no diâmetro das micro-gotículas, oscilando as medições entre seco e molhado, conforme mostrado na Figura 10b, fato esse que não ocorre com os sensores pintados. Mostrando assim a importância de se ter sensores pintados e tratados termicamente, na quantificação do molhamento foliar.

Observa-se na Figura 10, a influência do posicionamento do sensor sobre o molhamento foliar, sendo essa dependente de vários fatores, como a umidade absoluta do micro clima, a temperatura ambiente, o tipo de cultura, o adensamento de plantio, o fechamento do dossel da cultura entre outros fatores. Quanto mais fechado estiver o dossel, maior será a inércia de molhamento foliar provindo da atmosfera, ou seja, maior será o tempo que levará para o molhamento da atmosfera chegar aos sensores dentro do

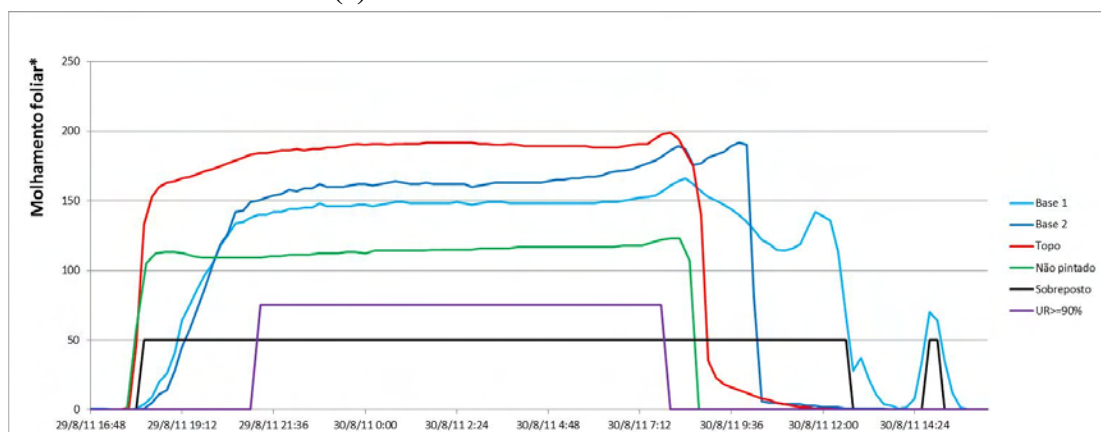
dossel. Esse posicionamento influencia também a secagem dos sensores que estão dentro do dossel, fazendo com que um sensor tenha uma secagem mais rápida ou mais lenta do que o outro. Em ambas as Figuras 10a e 10c, o sensor “Base 2” secou anteriormente ao “Base 1”, porém; na Figura 10b, os sensores secaram no mesmo instante.

A desuniformidade na distribuição das gotas d’água, juntamente com os diferentes tamanhos, formatos e posicionamentos das folhas no dossel das plantas, resultam em diferentes volumes de água acumulado sobre cada folha das plantas, aumentando a variabilidade no molhamento foliar do dossel. Essa diferença no posicionamento do sensor no espaço, mesmo que ambos estejam dentro do mesmo dossel, pode fazer com que uma gota d’água de uma folha caia sobre um sensor e no outro não, causando uma diferença significativa no tempo de molhamento foliar entre os dois sensores, como é o caso da Figura 10a, no dia 30/08/2011 às 14:24, que claramente se vê um acréscimo no molhamento foliar do sensor “Base 1”.

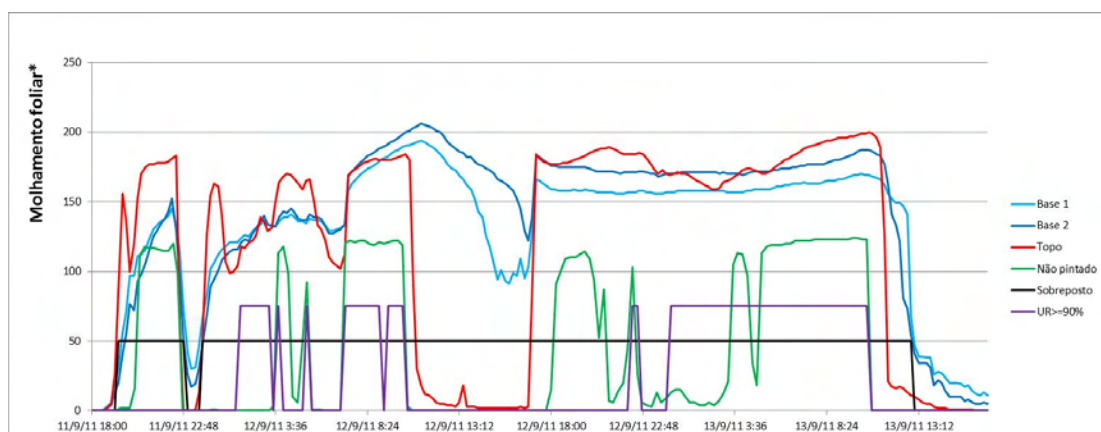
Utilizar três sensores aleatoriamente posicionados no dossel da planta possibilita a visualização de como está ocorrendo o molhamento foliar, explicando assim a causa da alta variabilidade na leitura da DPM. Mostra-se na Figura 10, a importância de utilizar o método “Sobreposto” na medição do molhamento foliar, obtendo-se dados com maior uniformidade devido a uma menor influência da variabilidade do molhamento foliar, causado pelas diferentes posições dos sensores. Isso, por se utilizar uma variável que acumula os dados dos três sensores, mostrando-se a condição mais severa de molhamento foliar.

Com base nas afirmações anteriores, entende-se porque a variabilidade na DPM é tão grande, dependendo do método e do sensor utilizado na medição ou estimativa do molhamento foliar. Confirma-se na Tabela 3, a ordem de subestimativa dos métodos, considerando “Sobreposto” a forma mais correta de mensurar a DPM. Observa-se nessa tabela, que o percentual de subestimativa varia diariamente para cada método e cada dia, mostrando assim, que utilizar dados de um método que subestima as medições, multiplicados por constantes para ter-se a medição correta resultará em erros significativos na DPM.

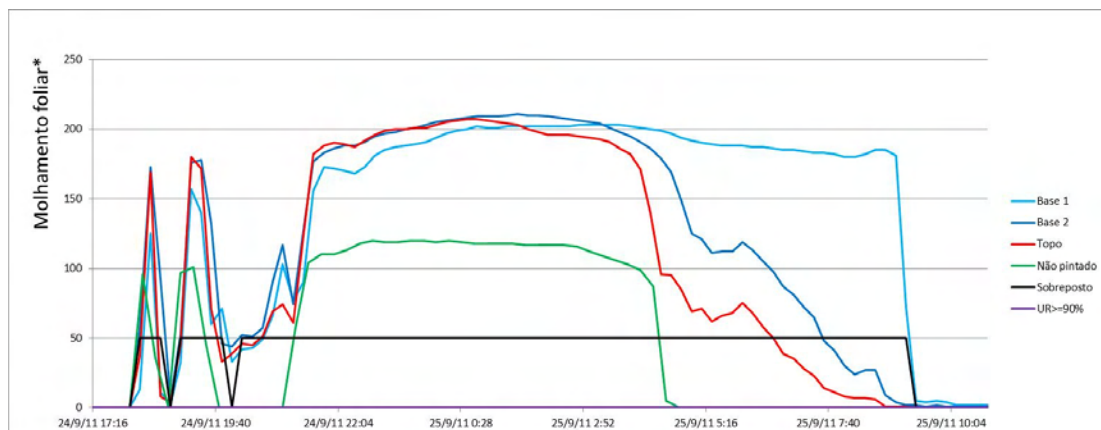
Figura 10 – Dados de molhamento foliar, 29-30/08/2011 (a), 11-13/09/2011 (b) e 24-25/09/2011 (c)



a



b



c

* Medição do sensor de molhamento foliar com resolução de oito bits (2^8), faixa de 0 à 255. Onde, os dados são considerados como seco quando a medição instantânea estiver inferior ao limiar (nesse trabalho = 50) configurado pelo usuário, e molhado quando for igual ou superior.

“Base 1” e “Base 2” – Sensores de molhamento foliar pintados e instalados dentro do dossel da cultura da batata.

“Topo” – Sensor de molhamento foliar pintado e instalado acima do dossel da cultura da batata.

“Não pintado” – Sensor de molhamento foliar não pintado e instalado acima do dossel da cultura da batata.

“Sobreposto” – Determinação de molhamento foliar com base nos três sensores de molhamento foliar.

“UR \geq 90%” – Estimativa de molhamento foliar baseado no método de umidade relativa do ar superior a 90%.

Tabela 3 – Duração do período de molhamento foliar para o período dos gráficos da figura 10.

	Duração do período de molhamento foliar (h)					
	Base1	Base2	Topo	Não pintado	Sobreposto	UR
Grafico 10a	18,0 (5%)	15,0 (21 %)	14,8 (22 %)	14,8 (22 %)	19,0	10,8 (43 %)
Grafico 10b	40,6 (0 %)	40,2 (1 %)	33,2 (19 %)	16,3 (60 %)	40,8	16,3 (60 %)
Grafico 10c	13,6 (8 %)	12,8 (14 %)	10,8 (27 %)	8,0 (46 %)	14,8	0,0 (100 %)

* Visualiza-se entre os parênteses, o percentual de subestimativa para o método “Sobreposto”.

Visualiza-se na Figura 11, a diferença entre os dados de molhamento foliar, medidos e estimados por alguns métodos e sensores. O método “UR \geq 90%” subestimou a DPM do período experimental em 57%, comparando com o método “Sobreposto” (tido como referência neste trabalho). Porém, observa-se uma redução significativa nessa subestimativa ao se comparar os dados entre os métodos “UR \geq 90%” e “Não pintado”, obtendo-se um percentual de 35%. Relatos mostram médias de subestimativas da DPM de 6, 19 e 37 %, com r^2 de 0,9 e 0,79 nos dois primeiros trabalhos, que resultaram em erros nas estimativas diárias de molhamento foliar de até 4,75 e 7 horas (SENTELHAS *et al.*, 2004b; STRECK, 2006; KRUIT *et al.*, 2008). Observa-se que Sentelhas *et al.* (2004b) instalaram os sensores de molhamento foliar a uma altura de 1,7 metros do solo, ou seja, 1,3 metros acima do posicionamento utilizado nesse trabalho, posicionamento esse, sobre o dossel da cultura, que reduz ainda mais as subestimativas.

Com isso, apesar de as subestimativas médias relatadas passarem a impressão de que são uma boa alternativa no cálculo do VSD, uma subestimativa diária de sete horas na DPM resulta um erro de 3 no VSD diário. Erro esse, que pode dificultar o controle futuro da doença na plantação, principalmente por saber que um erro de subestimativa em medições de sensores, geralmente não é um fato isolado de apenas um dia. Podendo espaçar as aplicações fúngicas, facilitando assim a entrada, desenvolvimento e proliferação do fungo na plantação. As subestimativas da DPM determinada pelo método “UR \geq 90%” reduziu em 96% o VSD total (Figura 12), comparando com o VSD determinado com dados do método “Sobreposto”.

Observou-se uma diferença de 18% (121 horas) ao comparar o total das DPM’s obtidas nas medições dos sensores “Topo” (pintado) e “Não pintado”, resultando em uma diferença entre os VSD’s e, conseqüentemente, no número de aplicações fúngicas de 38%. Segundo Sentelhas *et al.* (2004a), sensores pintados reduzem o coeficiente de

variação das medições de molhamento foliar, de 64 para 9 %, encontrando-se aí uma justificativa de tal subestimativa. Aumentando ainda mais a diferença da DPM ao comparar os dados do sensor “Não pintado” com o método “Sobreposto”; subestimando a DPM nos 44 dias em 33%, percentual esse que reduziu a quantidade de aplicações de fungicidas em 59%. Tal redução pode causar um maior desenvolvimento dos patógenos em lavouras, considerando que essa redução foi causada pela deficiência do sensor “Não pintado” em não identificar microgotículas de água.

A DPM do período experimental, referente ao sensor “Topo”, foi menor do que as medidas nos sensores “Base 1” e “Base 2”, em 13 e 10 %, respectivamente; conforme encontrado também por Sentelhas *et al.* (2005) na cultura do café, e por Trentin (2006) na cultura da batata. Porém, a quantidade de orvalho acumulada sobre a superfície das plantas é maior no topo do que na base do dossel (WILSON *et al.*, 1999), fato esse que induz a pensar que o topo do dossel permaneça mais tempo molhado. Porém, apesar da quantidade de água influenciar na DPM, o que aumenta a permanência da planta molhada na base da cultura da batata, é o tempo de exposição às micro gotículas de água, que mesmo sendo menor, ainda assim, está molhada; e para que seque, é necessário secar o topo, e posteriormente, o meio. Isso ocorre na cultura da batata devido ao formato do dossel e adensamento das plantas, que impossibilita uma ventilação lateral, que possibilitaria uma secagem inicialmente na base do dossel.

Realizou-se também uma comparação entre as DPM determinadas pelos métodos “Sobreposto” e “ $UR \geq 90\%$ ”, procurando-se o limiar de umidade relativa que resultaria em uma DPM igual ao método sobreposto, sendo esse valor de 58,5%. Segundo Kruit *et al.* (2008), o limiar de umidade relativa do ar que resulta em uma correta estimativa da DPM é o percentual de 70%, passando a superestimar as medições com valores abaixo desse percentual, superestimando em 20% com o limiar de UR igual a 60%. Limiares esses, muito abaixo do encontrado por Almeida e Machado (2009) na cultura do cacau, que resultou em 97%.

Figura 11 – Acumulado de molhamento foliar do período experimental

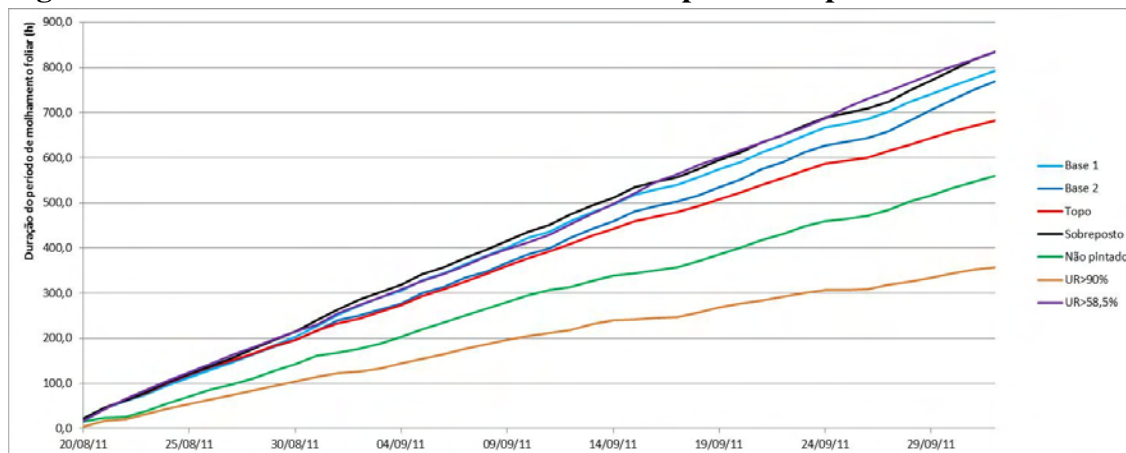
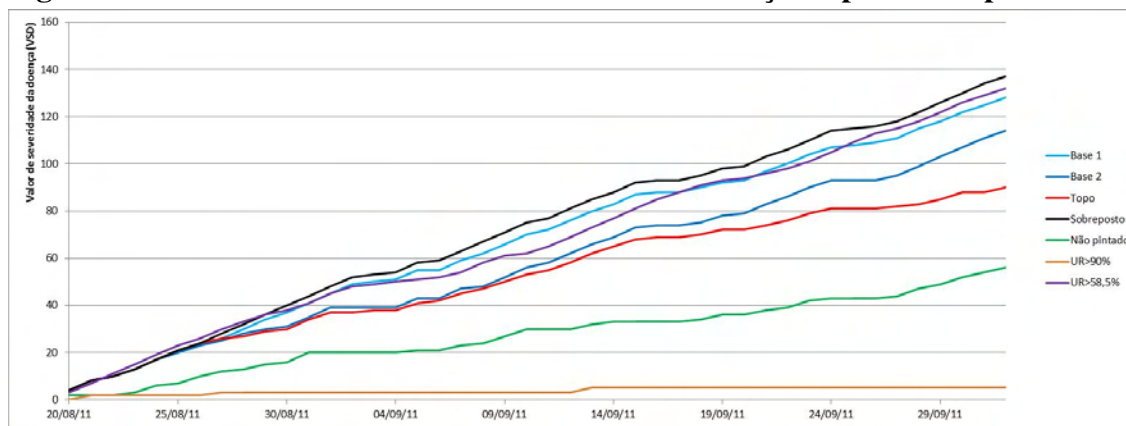


Figura 12 – Acumulado do valor de severidade da doença do período experimental



Conclusão

O equipamento desenvolvido se mostrou uma ferramenta eficiente na medição e registro dos dados de molhamento foliar, temperatura e umidade relativa do ar, elementos esses fortemente relacionados ao desenvolvimento da doença conhecida popularmente por requeima ou mela, causada pelo fungo *Phytophthora infestans*.

O equipamento se mostrou uma ferramenta fácil de ser utilizada no auxílio do controle da requeima pelos dados mostrados em seu próprio visor, possibilitando aos usuários avançados um melhor detalhamento pela aquisição dos dados realizada por meio de um PC conectado ao equipamento para futuras análises do histórico, a partir dos dados que são registrados em sua memória.

O método de umidade relativa do ar maior que 90% subestima significativamente o molhamento foliar e o cálculo de VSD.

Os dados de molhamento foliar medidos por sensores planos não pintados são significativamente maiores do que os dados obtidos pelo método de umidade relativa maior que 90%.

Os sensores pintados identificam microgotículas que não são registradas nos sensores sem pintura, resultando, assim, em leituras com maiores valores de DPM nos casos dos sensores pintados.

No microclima estudado, os sensores expostos no meio do dossel apresentaram maiores exposições ao molhamento foliar, resultando, assim, em um microclima mais severo para o desenvolvimento da doença.

Referências

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements. **Rome: FAO**. v. 56, 300p. (Irrigation and Drainage paper), 1998.

ALMEIDA, H.A.; MACHADO, R.C.R. Estimativa da duração do período de molhamento por orvalho em um ecossistema cacau. **R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, v.13, n.6, p.724–728, 2009.

BARRETO, M.; VALE, F. X. R.; PAUL, P. A.; SCALOPPI, É. A. G.; ANDRADE, D. A. Sistemas de previsão e estações de aviso. In: VALE, F. X. R.; JUNIOR, W. C. J.; ZAMBOLIM, L. **Epidemiologia aplicada ao manejo de doenças de plantas**. Belo Horizonte, MG: Editora Perfil, 531p, 2004.

BECKER, W.F. Validação dos sistemas de alerta MacHardy e Colpam 40[®] para previsão da requeima do tomateiro em Caçador, SC. **Summa Phytopathologica**, v.36, n.3, p.210-215, 2010.

BERGAMIN FILHO, A.; AMORIM, L. Sistemas de previsão e avisos. In: BERGAMIN FILHO, A.; KIMATI, H.; AMORIM, L. **Manual de fitopatologia: Princípios e conceitos**. São Paulo: Ceres, v.1, 919p, 1995.

BOSCO, L. C.; HELDWEIN, A. B.; LUCAS, D. D. P.; TRENTIN, G.; GRIMM, E.; LOOSE, L. H. Sistema de previsão de ocorrência de requeima em clones de batata suscetíveis e resistentes. **Ciência Rural**. Santa Maria, v.39, n.4, 1024-1031, p. jul, 2009.

CAVALCANTE JÚNIOR, E.G.; OLIVEIRA, A.D.; ALMEIDA, B.M.; ESPÍNOLA SOBRINHO, J. Métodos de estimativa da evapotranspiração de referência para as condições do semiárido Nordeste. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 32, suplemento 1, p. 1699-1708, 2011.

COELHO, R.R., VALE, F.X.R., JESUS JUNIOR, W.C., PAUL, P.A., ZAMBOLIM, L. & BARRETO, R.W. Determinação das condições climáticas que favorecem o desenvolvimento da ferrugem e da mancha angular do feijoeiro. **Fitopatologia Brasileira**, v28, p.508-514. 2003.

COSTA, R. V.; ZAMBOLIM, L.; VALE, F. X. R.; MIZUBUTI, E. S. G. Previsão da requeima da batateira. **Fitopatologia Brasileira**, v27, p. 349-354, p. 2002.

DUARTE, H. S. S., ZAMBOLIM, L.; RODRIGUES, F. A. Controle da requeima em tomateiro industrial com fungicidas e silicato de potássio. **Fitopatologia Brasileira**, v. 32, p. 257-260, 2007b.

DUARTE, H. S. S.; ZAMBOLIM, L.; JESUS JUNIOR, W. C. Manejo da requeima do tomateiro industrial empregando sistema de previsão. **Summa Phytopathologica**, v.33, n.4, p.328-334, 2007a.

FAO. **Las papas, la nutrición y la alimentación**. Disponível em: <<http://www.potato2008.org/es/lapapa/hojas.html>>. Acesso em: 25 nov. 2008.

FINHOLDT, G.; MANTOVANI, E. C.; SEDIYAMA, G. C.; RAMOS, M. M.; VIEIRA, H. S. Desenvolvimento e avaliação de uma estação meteorológica automática para manejo de irrigação. **REVENG**, v.19, n.4, julho/agosto, p. 313-328. 2011.

GARÇON, C.L.P., ZAMBOLIM, L., MIZUBUTI, E.S.G., VALE, F.X.R. & COSTA, H. Controle da ferrugem do cafeeiro com base no valor de severidade. **Fitopatologia Brasileira**, v.29, p.486-491. 2004.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentos de física**. 2. ed. Rio de Janeiro; LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 292p, 1996.

HYRE, R.A. Progress in forecasting late blight of potato and tomato. **Plant Disease Reporter**, v. 38, p. 245-253, 1954.

KRAUZE, R.A.; MASSIE, L.B.; HYRE, R.A. Blitecast: A computerized forecast of potato late blight. **Plant Disease Reporter**, v. 59, p. 95-98, 1975.

KRUIT, R.J.W.; JACOBS, A.F.G.; HOLTSLAG, A.A.M. Measurements and estimates of leaf wetness over agricultural grassland for dry deposition modeling of trace gases. **Atmospheric Environment**, v.42, p.5304–5316, 2008.

LAIONE, F.; WORDELL FILHO, J. A. Equipamentos utilizados para medir elementos meteorológicos em sistemas de previsão de doenças de plantas. In: REIS, E. M. **Previsão de doenças de plantas**. Passo Fundo. RS. UFP EDITORA. 101-138p. 2004.

LEITE, R.M.V.B.C. & AMORIM, L. Influência da temperatura e do molhamento foliar no monociclo da mancha de *Alternaria* em girassol. **Fitopatologia Brasileira**, v.27, p.193-200. 2002.

LULU, J.; SENTELHAS, P.C.; PEDRO JÚNIOR, M.J.; PEZZOPANE, J.R.M.; BLAIN, G.C. Estimating leaf wetness duration over turfgrass, and in a 'niagara rosada' vineyard, in a subtropical environment. **Sci. Agric.** (Piracicaba, Braz.), v.65, special issue, p.10-17, December 2008.

MARCUZZO, L.L.; FERNANDES, J.M.C; BECKER, W.F. Influência da temperatura e da duração do molhamento foliar na severidade da mancha bacteriana do tomateiro. **Summa Phytopathologica**, v.35, n.3, p.229-230, 2009.

McKENZIE, D.R. Scheduling fungicide applications for potato late blight with Blitecast. **Plant Disease**, v. 65, p. 394-399, 1981.

MELO, P.C.T.; ROSSI, F.; MELO, M.F.F.T.; MELO, R.A. Valor nutricional da batata, in ZAMBOLIM, L. **Produção integrada da batata**. v.1, 1 ed. Viçosa MG, Departamento de Fitopatologia. 223-250p. 2011.

OLIVEIRA, A. S.; ANDRADE, F. S. **Sistemas embarcados: hardware e o firmware na prática**. 1. ed. [S.l.]: Érika, 2006. 316p.

ORDONEZ, E. D. M.; PENTEADO, C. G.; SILVA, A.C.R. **Microcontroladores e FPGAs – Aplicações em automação**. São Paulo: Novatec, 384p, 2005.

RAPOSO, R.; WILKS, D.S.; FRY, W.E. Evaluation of potato late blight forecasts modified to include weather forecast: A simulation analysis. **Phytopathology**, v. 74, p. 1145-1147, 1984.

REIS, R.F., GOES, A. & TIMMER, L.W. Effect of temperature, leaf wetness, and rainfall on the production of *Guignardia citricarpa* ascospores and on black spot severity on sweet orange. **Fitopatologia Brasileira**, v.31, p.029-034. 2006.

SEDRA, A. S.; SMITH, K. **Microeletrônica**. 4. ed. [S.l.]: Makron Books, 2000.

SENTELHAS, P. C.; MONTEIRO, J.E.B.A.; GILLESPIE, T.J. Electronic leaf wetness duration sensor: why it should be painted. **International Journal of Biometeorology**, v.48, p.202-205. 2004a.

SENTELHAS, P.C.; GILLESPIE, T.J.; BATZER, J.C.; GLEASON, M.L.; MONTEIRO, J.E.B.A.; PEZZOPANE, J.R.M.; PEDRO JR, M.J. Spatial variability of leaf wetness duration in different crop canopies. **International Journal of Biometeorology**, v.49, p.363-370, 2005.

SENTELHAS, P.C.; GILLESPIE, T.J.; GLEASON, M.L.; MONTEIRO, J.E.B.A.; HELLAND, S.T. Operational exposure of leaf wetness sensors. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.126, p.59-72, 2004c.

SENTELHAS, P.C.; GILLESPIE, T.J.; MONTEIRO, J.E.B.A.; ROWLANDSON, T. Estimating leaf wetness duration on a cotton crop from meteorological data. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**. Santa Maria, v. 12, n.2, p. 235-245, 2004b.

SILVA, S.R., RIOS, G.P. & SILVA, S.C. Influência da resistência e do período de molhamento na infecção e desenvolvimento de lesões de ferrugem no feijoeiro. **Fitopatologia Brasileira**, v.26, p.726-731. 2001.

SILVA, V.P.R.; BELO FILHO, A.F.; SILVA, B.B.; CAMPOS, J.H.B.C. Desenvolvimento de um sistema de estimativa da evapotranspiração de referência. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.9, n.4, p.547-553, 2005.

SOARES, W.R.; SEDIYAMA, G.C., RIBEIRO, A.; COSTA, J.M.N. Dependência do coeficiente de cultura no estágio inicial de desenvolvimento (Kc_{ini}) à lâmina de irrigação e textura do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.5, n.1, p.23-27, 2001.

SOUZA, R. T.; FORCELINI, C.A.; REIS, E. M.; CALVETE, E. O. Validação de dois sistemas de previsão para a queima das folhas da cenoura. **Fitopatologia Brasileira**, v.27(1). Jan-fev 2002.

STRECK, Luciano. **Determinação da duração do período de molhamento foliar em cultivos de batata**. 107p. Tese (Doutorado em Agronomia). Universidade Federal de Santa Maria. 2006.

THOMAZINI, D.; ALBUQUERQUE, P.U.B. **Sensores industriais: fundamentos e aplicações**. 3. ed. SP Érika, 220p, 2007.

TOCCI, R.J.; WIDMER, N.S. **Sistemas digitais: princípios e aplicações**. 7. ed. SP, LTC, 588p, 2000.

TÖFOLI, J. G.; DOMINGUES, R. J.; FERREIRA, M. R.; GARCIA JÚNIOR, O. Ação de acibenzolar-s-methyl isolado e em mistura com fungicidas no controle da requeima da batata. **Horticultura Brasileira**. Brasília, v.23, n.3, p.749-753, jul-set, 2005.

TRENTIN, G. **Avaliação de sistemas de previsão de ocorrência de Phytophthora infestans em batata**. 100p. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Universidade Federal de Santa Maria. 2006.

TRENTIN, G.; HELDWEIN, A.B.; STRECK, L.; MAASS, G.F.; RADONS, S.Z., TRENTIN, R. Controle da requeima em batata cv. 'Asterix' como base para modelos de previsão da doença. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, n.2, p.393-399, mar-abr, 2009.

VALE, F. X. R.; JESUS JÚNIOR, W. C.; RODRIGUES, F. A.; COSTA, H.; SOUZA, C. A. Manejo de doenças fúngicas em tomateiro. In: SILVA, D. J. H.; VALE, F. X. R. **Tomate: Tecnologia de produção**. Viçosa. MG: UFV, 159-198, p. 2007.

VALE, F. X. R.; ZAMBOLIM, L.; PAUL, P. A.; SALUSTIANO, M. E. Manejo da pinta preta do tomateiro In: ed. ZAMBOLIM, L. **Manejo integrado de doenças e pragas**. Viçosa. MG. 47-52p. 1999.

WALLIN, J.R. Summary of recent progress in predicting late blight epidemics in United States and Canada, **American Potato Journal**, v. 39, p. 306-312, 1962.

WILSON, T.B.; BLAND, W.L.; NORMAN, J.M. Measurement and simulation of dew accumulation and drying in a potato canopy. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.93, p. 111-119, 1999.

WMO. **Guide to meteorological instruments and methods of observation**. 8 draft seventh edition. (World Meteorological Organization), 2006.

ZAMBOLIM, L., VALE, F.X.R., CRUZ FILHO, J. & CHAVES, G.M. Emprego da Calda Viçosa na cultura do tomateiro (*L. esculentum*) para o controle de doenças da parte aérea. Viçosa: UFV. Informe técnico. 66. 1990.

ZAMBOLIM, L.; DUARTE, H. S. S.; ZAMBOLIM, E. M. Medidas integradas de controle das doenças fúngicas da batata. In: ZAMBOLIM, L. **Produção integrada da batata**. Viçosa, MG: UFV, p. 411-438. 2011.

CAPÍTULO 3: IMPLEMENTAÇÃO DE SISTEMA DE ALERTA PARA A REQUEIMA NAS CULTURAS DA BATATA E TOMATE

Introdução

A crescente população mundial traz a necessidade de uma maior produção de alimentos, buscando suprir suas necessidades básicas alimentares. Porém, alguns fatores que levam às perdas de pré e pós-colheita impossibilitam as plantas de expressarem o seu real potencial produtivo, sendo as doenças fúngicas um dos fatores significativos nessas perdas de pré-colheita. Dentre essas doenças, a requeima (*Phytophthora infestans*) se destaca pelo seu impacto na produção, que, dependendo das condições climáticas e do controle fitossanitário, chega a destruir toda uma lavoura em poucos dias (VALE *et al.*, 2007; COSTA *et al.*, 2002). No entanto, pesquisas com sistemas de previsão mostram sua eficiência em determinar o momento ideal das aplicações de fungicidas, aumentando assim a possibilidade de controle da doença nas culturas da batata e do tomate (DUARTE *et al.*, 2007a). Esses sistemas se baseiam na favorabilidade do ambiente em propiciar condições ótimas para o desenvolvimento do patógeno, em consequência aplicações de fungicidas sistêmicos são espaçadas em condições menos favoráveis. No entanto, esses sistemas dependem de informações meteorológicas provindas de equipamentos automáticos e sensores com boa exatidão; além disso, são muito caros e demandam manutenções periódicas, o que dificulta seu uso em larga escala.

O tomate e a batata são frequentemente encontrados na mesa dos brasileiros, sendo as duas hortaliças mais importantes no Brasil em termos de área de cultivo. O interesse dos consumidores pelo tomate acontece graças as suas funções nutritivas com baixas calorias, sendo rico em sais minerais (sendo os principais, sódio, potássio, cálcio, fósforo e ferro) e vitaminas, A e C. Além de ser considerado um alimento funcional que possui antioxidantes que protegem o organismo contra o câncer de próstata entre outros benefícios (MATTEDI *et al.*, 2007).

A batata é o quarto alimento mais consumido no mundo (FAO, 2008), dado a diversificação de pratos em que a utiliza na culinária, sua fácil digestão e a sua

qualidade nutritiva que fornece carboidratos, fibras, vitaminas e minerais (MELO *et al.*, 2011). Com significativa importância no mercado nacional e internacional, se faz necessário maiores estudos para aumentar a produtividade e reduzir as perdas pré e pós colheita das culturas da batata e do tomate causados pela requeima, como já realizado em diversas culturas, como mostra os trabalhos em feijão (SILVA *et al.*, 2001; COELHO *et al.*, 2003), girassol (LEITE; AMORIM, 2002), café (GARÇON *et al.*, 2004), laranja (REIS *et al.*, 2006), uva (LULU *et al.*, 2008) e tomate (MARCUSO *et al.*, 2009).

Dentre as doenças mais severas, destaca-se no tomateiro a pinta-preta, causada pelo fungo *Alternaria grandis* (*Alternaria solani*), e a requeima, causada pelo *Phytophthora infestans* (VALE *et al.*, 2007); entretanto a requeima é a mais severa. A requeima é causada por um fungo cuja temperatura para manifestação ótima está entre 12 e 20 °C. Sua proliferação é mais rápida em locais frios, mas pode ocorrer também em locais regularmente quentes se as noites forem frias (VALE *et al.*, 2000).

O inóculo do fungo (esporângios) é transportado pelo vento em longas distâncias, podendo atingir culturas do tomate e da batata mesmo que estejam longe de pontos de foco de doença. Ou seja, a doença proporcionada pelo patógeno fará com que a planta não expresse seu real potencial produtivo (DUARTE *et al.*, 2007a). Quanto maior a severidade da doença, menor será a área foliar da planta, e, conseqüentemente, menor será a área de captação de fotoassimilados para o crescimento, manutenção e futura produção (RIVERA HERNÁNDEZ *et al.*; 2007).

O que se recomenda para o controle da doença é a aplicação de fungicidas. Há o relato de uma redução de 97% na produção de tomates, quando não se aplicou fungicidas protetores e sistêmicos (DUARTE *et al.*, 2007a). Inúmeros são os relatos de redução na produção causadas pela requeima, na batata (COSTA *et al.*, 2002; BOSCO *et al.*, 2009; TÖFOLI *et al.*, 2005), e no tomate (DUARTE *et al.*, 2007a; DUARTE *et al.*, 2007b).

No manejo integrado das doenças, uma das medidas que tem se mostrado muito eficiente é o uso de fungicidas sistêmicos e protetores. Os protetores formam uma barreira na superfície dos tecidos das plantas antes mesmo do fungo penetrar, e os sistêmicos atuam tanto preventivamente como após a sua entrada nos tecidos. Porém, deve-se tomar cuidado, tendo em vista que, uma vez que o patógeno já infectou a planta, torna-se mais difícil de erradicá-lo (ZAMBOLIM *et al.*, 2011).

Em busca de melhorias na sua produtividade, muitos agricultores optam por métodos de determinação do melhor momento de aplicação de defensivos agrícolas que se baseiam em calendários ou em suas intuições (VALE *et al.*, 1999).

O problema dos sistemas baseados em calendários é que não detectam quando as condições climáticas estão mais ou menos favoráveis ao desenvolvimento da doença, fazendo com que se tenham desperdícios nas aplicações quando as condições estiverem pouco favoráveis, ou déficit nas aplicações quando as condições estiverem muito favoráveis à requeima, possibilitando, assim, maior disseminação do patógeno na lavoura (PAUL, 1999).

Considerando a eficácia das aplicações de fungicidas no controle da requeima e a aversão ao risco que os agricultores têm, muitos usam indiscriminadamente defensivos, aplicando sem nenhum critério, em casos extremos, a cada dois dias. Dessa forma, o excesso das aplicações prejudica o meio ambiente, intoxica os aplicadores dos produtos químicos, agride as plantas cultivadas (fitotoxidez), deixa resíduos nos alimentos produzidos, aumenta os custos das aplicações desnecessárias e, ao contrário do que alguns pensam, o excesso de produtos pode resultar em uma menor produtividade das plantações (BARRETO *et al.*, 2004; ZAMBOLIM *et al.*, 1990; BERGAMIN FILHO; AMORIM, 1995).

Dessa forma, busca-se otimizar as aplicações dos fungicidas com o uso de uma das técnicas do manejo integrado de doenças, sendo o sistema de previsão de doenças embasado no monitoramento das condições climáticas, de forma que, se tais condições tornarem-se favoráveis ao desenvolvimento da doença, o usuário verificará a necessidade de aplicação dos defensivos; caso contrário, ele não necessitará fazer uso dos fungicidas sistêmicos (ZAMBOLIM *et al.*, 2011). Apesar de ter o nome de previsão, o sistema não informa sobre o futuro, mas sim, o momento mais provável de ocorrer a doença (BARRETO *et al.*, 2004). Tais sistemas têm por base os dados de molhamento foliar e temperatura ambiente média, que, em conjunto, dão subsídio para a determinação do valor de severidade da doença (VSD) (WALLIN, 1962; REIS; BRESOLIN, 2004; VALE *et al.*, 2004).

O VSD é um índice diário que se determina o quão severo está o ambiente para o desenvolvimento do patógeno, tendo por base a duração do período de molhamento foliar (DPM) e a temperatura média do período em que ocorreu molhamento. Em seguida, acumula-se tal índice diariamente, até que se alcance múltiplos do VSD

desejado, ao atingir, pulveriza-se a lavoura e inicia nova contagem. A nova contagem inicia-se caso o ambiente permaneça com o VSD igual a zero por dez dias consecutivos (COSTA *et al.*, 2002; WALLIN, 1962).

Apesar de os sistemas de previsão de doença basearem-se apenas na DPM e na temperatura média, todos os outros elementos meteorológicos influenciam nessas duas medições, aumentando ou reduzindo seus valores. Quanto maior for a irradiância solar maior será o aquecimento no ambiente em que a planta está inserida. Com o aumento da velocidade do vento tem-se uma secagem mais rápida da água na superfície das plantas, e uma maior disseminação dos fungos pelo ar. Com a chuva tem-se aumento na DPM e disseminação dos fungos por meio dos respingos das gotas d'água que incidem sobre uma área infectada, e, em seguida, em uma planta saudável. A umidade relativa do ar auxilia na secagem das superfícies se suas medições estiverem baixas, dificultando a secagem quando próxima de 100%. Além do clima, outros fatores influenciam muito no molhamento foliar, e conseqüentemente na DPM, tais como: tipo de cultura, adensamento de plantio, sentido de fileiras das culturas, entre outros.

A duração do período do molhamento foliar da cultura e a temperatura ambiente média são os elementos meteorológicos que mais se relacionam com a severidade da doença, não havendo nenhum molhamento foliar ou se a temperatura estiver acima ou abaixo da faixa de desenvolvimento do patógeno, o fungo dificilmente irá infectar e/ou desenvolver a doença (LAIONE; WORDELL FILHO, 2004).

A DPM pode ser estimada pelo número de horas com umidade relativa do ar superior a 90% (NHUR \geq 90%), o de Depressão do Ponto de Orvalho (DPO), o Modelo da Árvore de Classificação e Regressão (CART) e o modelo de Resistência Aerodinâmica (RES), que serão explicados segundo os métodos utilizados por Sentelhas *et al.* (2004).

O modelo NHUR \geq 90% estima a DPM com base na umidade relativa do ar a 1,5 m do solo, sendo o valor limite de 90% de UR o mais utilizado na determinação. Para tal método, mede-se a UR e verifica-se entre as medições qual o tempo que o ambiente permaneceu com a umidade relativa acima de 90%.

O modelo DPO baseia-se na diferença entre a temperatura do ar (T) e a temperatura do ponto de orvalho (Td). A DPM é estimada pelo período em que a diferença das temperaturas permanece acima de 2,0 °C na deposição de orvalho, e 3,8

°C no secamento da superfície, sendo esses valores os mais satisfatórios segundo Sentelhas *et al.* (2004).

O modelo CART adaptado para dados coletados de 15 em 15 minutos, com início 12:15 h do dia n e fim 12:00 h do dia $n+1$, utiliza a DPO, a velocidade do vento à 10 m de altura do solo e a umidade relativa do ar a 1,5 m de altura do solo para a estimativa da DPM. Por meio de uma árvore de classificação binária e duas equações, verifica-se a existência de molhamento foliar em intervalos de 15 minutos durante o dia.

O modelo RES estima a DPM em sistemas de alerta fitossanitários com auxílio da equação de Penman-Monteith (PM). Sendo uma de suas principais vantagens o fato de não ter que medir a temperatura na altura da cultura. Uma resistência aerodinâmica adicional contabiliza a camada de ar entre a altura considerada e o topo da cultura, possibilitando-se a estimativa da DPM em diferentes alturas. Para calcular a DPM por meio de PM, é necessário ter-se dados de temperatura ambiente, umidade relativa do ar, velocidade do vento a dois metros de altura e o saldo de radiação.

Para determinar a DPM por meio da equação de PM é necessário calcular o fluxo de calor latente (LE); sendo que, quando esse é positivo está ocorrendo condensação de vapor d'água do ambiente sobre as plantas, e quando negativo, está ocorrendo evaporação da água das superfícies. Determinado o LE, quando esse valor é positivo, acumula-se em uma variável e o subtrai quando negativo. Ao se iniciar a condensação de vapor d'água (LE+) inicia-se também o acúmulo da DPM, e ao zerar a variável acumulada do LE encerra-se a contagem da DPM.

Apesar da boa performance (SENTELHAS *et al.*, 2004), por terem subestimativa de apenas 6% no modelo $NHUR \geq 90\%$, e superestimativas de 2, 6 e 7 %, nos modelos DPO, CART e RES, respectivamente, tem-se uma precisão nas estimativas que possibilitam erros máximos diários de 4,75 h no melhor caso, chegando a erros de até 9,75 h para o modelo RES. Porém, um erro diário na DPM superior a nove horas pode resultar em um erro de 4 no índice de VSD, sendo esse o máximo de severidade considerado por Wallin (1962). Dessa forma, apesar das estimativas médias apresentarem bons resultados, seus erros diários possibilitam a disseminação, infecção e desenvolvimento dos sintomas da requeima. Considerando os erros encontrados em estimativas da DPM, visualiza-se a necessidade de medir tal variável, para aumentar a precisão e exatidão dos dados obtidos por meio desta.

Dado a importância da aplicação dos dados de molhamento foliar e os erros obtidos em suas estimativas, considera-se aqui, a necessidade de um melhor desenvolvimento de técnicas que meçam a DPM com exatidão e precisão. Alguns desses métodos já utilizados na medição da DPM são: observações visuais, observações com aspergígrafo, observações com orvalhógrafo, e medição com sensores eletrônicos.

As observações visuais são utilizadas como medida de referência para comparação com dados de DPM, mas possibilitam erros nos dados devido à necessidade de passagem do homem por entre as linhas de cultura, influenciando-se assim o ambiente, pelo acréscimo de temperatura cedida pelo corpo humano, com algumas alterações também na velocidade do vento, umidade relativa do ar e radiação solar. Além dessas modificações no ambiente, tem-se também a dificuldade na visualização das microgotículas, que até mesmo com auxílio de lupas, dificilmente visualiza-se a situação real de molhamento das plantas.

Têm-se também os métodos de medição da DPM com base em aspergígrafo e orvalhógrafo, que no caso do aspergígrafo é dependente das observações humanas para a sua totalização, enquanto no caso do orvalhógrafo, possibilitam-se medidas automáticas da DPM, dependendo apenas de uma balança eletrônica com registro automático dos dados. O aspergígrafo se baseia na medição do comprimento de fios sensíveis à umidade, que se contraem ou expandem com a variação do percentual de umidade em que ele se encontra. O orvalhógrafo se baseia na medição da massa que se encontra sobre uma balança de precisão, registrando-se todos os momentos que ocorreram medições superiores a uma determinada tara.

O método de medição do molhamento foliar com maior expectativa de bons resultados se baseia em sensores eletrônicos de medição indireta da resistência elétrica ou capacitiva de um determinado material, que se correlaciona com o molhamento foliar real da planta. Dessa forma, os sensores eletrônicos estão sendo mais amplamente utilizados, pela facilidade de se monitorar, registrar, processar e até mesmo fazer uma análise completa nos dados de molhamento foliar em campo (WMO, 1992).

Dentre os sensores ligados a uma estação meteorológica automática (EMA) para controle fitossanitário, o mais sensível a erros em sua exatidão é o de molhamento foliar, sendo seu sinal influenciado principalmente pelo posicionamento de instalação dos sensores (altura, ângulo, orientação, se está ou não dentro do dossel), a quantidade de sensores utilizados, se possuem pintura e a forma com que essa foi realizada, o tipo

de cultura, o adensamento de plantio, o microclima, entre outros fatores (WEIS *et al.*, 1988; SENTELHAS *et al.*, 2007; SANTOS *et al.*, 2008; ANDRADE *et al.*; TRENTIN *et al.*, 2009).

Os elementos meteorológicos são facilmente medidos e registrados em estações meteorológicas automáticas, equipamentos esses que registram seus dados com intervalos de tempo pré-definidos, possibilitando futuras análises para quaisquer áreas de conhecimento. Porém, a maioria desses equipamentos são importados, dificultando assim sua aquisição e manutenção, pelos custos que geralmente não são baixos. Tendo isso em vista, Finholdt *et al.* (2011) desenvolveram uma estação meteorológica automática inteiramente nacional, com os cinco sensores utilizados no cálculo de evapotranspiração de referência, e comprovaram sua eficiência.

Na mesma linha de pesquisa, outro equipamento nacional que, inclusive, é utilizado neste trabalho é a estação meteorológica automática com foco em estudos de doenças em plantas (desenvolvida no capítulo 2). Esse equipamento, por sua vez, mensura o molhamento foliar de três sensores, a temperatura e a umidade relativa do ar, registrando a média dos dados desses sensores com frequência de 12 minutos, processando seus dados diariamente para calcular o VSD e possibilitando ao usuário fazer as leituras dos dados dos sensores ou dos índices de VSD pelo visor do equipamento ou por meio de um microcomputador com protocolo RS-232.

Considerando que o equipamento tem o foco inicial em pesquisas, foi implementada a possibilidade de o usuário modificar o modo de calcular a DPM por meio da umidade relativa do ar ou pela medição de um ou três sensores de molhamento foliar. Outra opção importante do equipamento está na configuração das tabelas de VSD, que possibilitam ao usuário trabalhar com qualquer doença.

Dessa forma, contando com uma estação meteorológica automática nacional voltada para o estudo de doenças em plantas, de simples utilização, aliada a três sensores que mensuram o molhamento foliar em todo o dossel da cultura, objetiva-se, neste trabalho, encontrar a forma mais significativa e confiável de mensurar a DPM nas culturas da batata e do tomate, verificando a aplicabilidade dessa tecnologia no campo, além de fazer comparações entre as aplicações de fungicidas.

Material e Métodos

O trabalho foi dividido em dois experimentos na Chapada Diamantina, na Bahia, com altitude de 1100 metros. No experimento “B”, cultivou-se a cultura batata no pivô 22 da Fazenda Guaíra (Figura 1), no município de Mucugê, enquanto no experimento “T”, cultivou-se a cultura do tomate na Fazenda São Pedro, sendo ambas as fazendas de propriedade da Lavoura e Pecuária Igarashi Ltda.

Instalou-se o experimento “B” entre a terceira e a quarta torre de um pivô central, em um talhão circular com raio de 500 metros, tendo sido dividido em quatro quadrantes, com carregadores para passagem de tratores de pulverização, onde se teve condições climáticas mais favoráveis para a requeima e maior uniformidade da distribuição das gotas da irrigação.

Figura 1 – Estações meteorológicas instaladas na Fazenda Guaíra com a cultura da batata, no município de Ibicoara-BA



O solo da área do experimento “B” era constituído por um percentual superior a 80% de areia, 18% de argila e cerca de 2% de silte, sendo caracterizado do tipo arenoso. Para reduzir a quantidade de pragas e doenças no solo, cultivou-se braquiária durante

quatro anos no talhão do experimento, seguindo as recomendações de manejo integrado de doenças.

O solo do experimento da batata foi preparado empregando trincha para triturar o material vegetal. Em seguida, foi feita análise do solo para cálculo de calagem e fosfatagem. A incorporação da matéria orgânica ao solo foi realizada com as seguintes técnicas: gradagem pesada e intermediária, aração com arado de aiveca e subsolagem.

Realizou-se o plantio manual com os tubérculos da batata da variedade Ágata, suscetível à requeima. A adubação da base foi realizada juntamente com o plantio, sendo o 4-14-8 colocado juntamente com as sementes, com espaçamento entre plantas de 33 centímetros e 0,8 metros entre linhas, no dia 11/11/2011. As plantas emergiram no dia 19/11/2011.

Instalou-se a Estação Meteorológica Automática para Alerta de Doença (EMAADP), desenvolvida no capítulo 2, após o plantio da batata para captação e análise prévia dos dados dos elementos meteorológicos da área. Demarcaram-se as parcelas experimentais após a brotação, realizando a amontoa após 18 dias.

O controle de pragas e doenças (pinta-preta) foi realizado empregando os defensivos apropriados e registrados para a batata. O sistema de irrigação no experimento “B” foi do tipo pivô central, com distância de 50 metros entre torres, sendo as lâminas de irrigação determinadas via software Irriger.

Os tratamentos do experimento “B” foram baseados nos dados de sistema de previsão de doenças e no sistema convencional, empregando-se fungicidas sistêmicos e protetores. O experimento constou ainda de testemunha absoluta e testemunha da empresa Igarashi, em que se aplicaram fungicidas sistêmicos e protetores (Tabela 1). Utilizaram-se fungicidas com os seguintes princípios ativos: dimetomorfe como sistêmico, cimoxanil de profundidade, e clorotalonil, mancozebe e metiram como protetores. Foi aplicado o micro foliar FH Café (Heringer), juntamente com o fungicida Clorotalonil, nos tratamentos três, cinco, seis e sete. As pulverizações foram realizadas com pulverizador costal elétrico de 18 litros de capacidade, com bico de pulverização do tipo cone vazio.

O delineamento experimental “B” em blocos casualizados (Figura 2), com oito tratamentos e dois blocos, foi realizado no período de 19/11/2011 a 06/02/2012, sendo cada parcela constituída por três linhas paralelas de cinco metros, contendo 45 plantas.

Figura 3 – Estação meteorológica instalada na Fazenda São Pedro com a cultura do tomate, no município de Mucugê-BA



Em seguida está a caracterização do experimento “T”. O talhão da plantação em que se inseriu o experimento “T” foi delimitado de forma retangular, tendo sido dividido em oito quadras de 375 x 100 m. Separando as quadras, havia carregadores de cinco metros de largura. O experimento foi inserido no centro da segunda quadra mais baixa para que tivesse a situação mais propícia para a requeima. O talhão foi dividido em dois lotes de transplante, com 15 dias de intervalo entre si, estando o experimento no segundo lote, realizado no dia 17/11/2011.

O solo predominantemente do experimento “T” era do tipo arenoso, composto por 80% de areia, 18% de argila e 2% de silte, sendo preparado com as seguintes técnicas agrícolas: trincha para triturar o material vegetal; calagem para corrigir o pH do solo com calcário; dreno; e multimix para incorporar adubo NPK e micros. O sistema de irrigação foi do tipo gotejo, tendo as mangueiras 100 metros de comprimento, com espaçamento entre gotejo de 30 cm, e vazão aproximada de 1,6 litros por hora por gotejo. As lâminas de irrigação foram determinadas via software Irriger.

O híbrido de tomate utilizado no experimento foi o Siluete, suscetível à requeima. As mudas foram transplantadas com espaçamento entre plantas de 60 cm,

sendo essa distância estabelecida com marcador manual; a distância entre linhas foi de 1,5 m. Vinte dias após o transplântio, realizou-se a amontoa e, em seguida, o piqueteamento. Conforme as plantas cresciam, colocavam-se fitilhos nos piquetes para sustentá-las em pé.

Aplicaram-se herbicidas em todo o talhão três dias antes do transplântio para o controle das ervas daninhas; durante o experimento aplicaram-se herbicidas com pulverizadores costais apenas onde havia reboleiras de plantas daninhas. No controle de pragas, foram utilizados vários inseticidas com foco principal em mosca branca, trips e minadora. Durante todo o ciclo da cultura, utilizou-se o sistema de fertirrigação para adubação das plantas no experimento do tomate.

O delineamento experimental na área “T” foi em blocos casualizados (Figura 4) com cinco tratamentos e quatro blocos, no período de 17/11/2011 a 23/03/2012. Cada parcela foi constituída por uma linha de dez plantas. Em torno do experimento, foram realizadas aplicações de fungicidas para o controle das doenças.

Tabela 2 – Tratamentos para o controle da requeima do tomateiro

TRATAMENTO	ESQUEMA DE PULVERIZAÇÃO
1 - Testemunha	Sem aplicações de fungicidas para requeima
2 - Testemunha Igarashi	Igarashi
3 – Calendário	Alternar (clorotalonil – cimoxanil – dimetomorfe – cimoxanil – dimetomorfe – clorotalonil – dimetomorfe – cimoxanil - clorotalonil – metiram – mancozebe – clorotalonil – metiram – mancozebe – clorotalonil – metiram)
4 - Cimoxanil – clorotalonil	Alternar semanalmente
5 - Cimoxanil – clorotalonil	Alternar semanalmente ¹
6 - VSD 8	Protetor ^{1,2} semanalmente – Sistemico ³ com VSD 8
7 - VSD 11	Protetor ^{1,2} semanalmente – Sistemico ³ com VSD 11
8 - VSD 8 sistemico	Sistemico ³ com VSD 8

¹ Adicionado micro foliar juntamente com clorotalonil; ² Protetor: Clorotalonil; ³ Sistemico: Dimetomorfe

Os tratamentos do experimento “T” foram realizados com aplicações de fungicidas sistêmicos e protetores, de acordo com o sistema de previsão e com o sistema convencional de controle da requeima (Tabela 2). Foram utilizados fungicidas com os seguintes princípios ativos: dimetomorfe (como sistêmico), cimoxanil (de profundidade) e clorotalonil, mancozebe e metiram (como protetores). Foi aplicado o micro foliar FH Café (Heringer), juntamente com o fungicida Clorotalonil, nos tratamentos três, cinco,

seis e sete. As pulverizações foram realizadas com pulverizador costal elétrico de 18 litros de capacidade, com bico de pulverização do tipo leque.

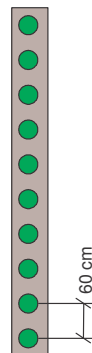
Figura 4 – Disposição das parcelas em campo na cultura do tomate. Os números representam os tratamentos e as letras os blocos.

Bordadura = Tratamento Igarashi	Bordadura = Tratamento Igarashi	Bordadura = Tratamento Igarashi	Bordadura = Tratamento Igarashi	Bordadura = Tratamento Igarashi	Bordadura = Tratamento Igarashi
Bordadura = Tratamento Igarashi	A ₈	B ₆	C ₂	D ₇	Bordadura = Tratamento Igarashi
Bordadura = Tratamento Igarashi	A ₅	B ₄	C ₃	D ₁	Bordadura = Tratamento Igarashi
Bordadura = Tratamento Igarashi	A ₆	B ₈	C ₇	D ₂	Bordadura = Tratamento Igarashi
Bordadura = Tratamento Igarashi	A ₄	B ₅	C ₁	D ₃	Bordadura = Tratamento Igarashi
Bordadura = Tratamento Igarashi	A ₁	B ₂	C ₈	D ₄	Bordadura = Tratamento Igarashi
Bordadura = Tratamento Igarashi	A ₃	B ₇	C ₅	D ₆	Bordadura = Tratamento Igarashi
Bordadura = Tratamento Igarashi	A ₂	B ₁	C ₆	D ₅	Bordadura = Tratamento Igarashi
Bordadura = Tratamento Igarashi	A ₇	B ₃	C ₄	D ₈	Bordadura = Tratamento Igarashi
Bordadura = Tratamento Igarashi	Bordadura = Tratamento Igarashi	Bordadura = Tratamento Igarashi	Bordadura = Tratamento Igarashi	Bordadura = Tratamento Igarashi	Bordadura = Tratamento Igarashi

Estação Meteorológica Automática de Aleria de Doenças em Plantas

- Tratamento 1 - testemunha
- Tratamento 2 - Igarashi
- Tratamento 3 - 7 em 7 dias
- Tratamento 4 - 7 em 7 dias
- Tratamento 5 - 7 em 7 dias
- Tratamento 6 - VSD8
- Tratamento 7 - VSD11
- Tratamento 8 - VSD8

- A - Bloco 1
- B - Bloco 2
- C - Bloco 3
- D - Bloco 4



A análise dos dados registrados na EMAADP determina o VSD diário, indicando maior ou menor favorabilidade do ambiente em desenvolver a requeima na cultura. O equipamento registra os dados médios de três sensores de molhamento foliar, um termômetro e um higrômetro, em memória do tipo não volátil, com intervalo de 12 minutos. Nesse intervalo, o equipamento determina se ocorreu molhamento foliar e, se tiver ocorrido, acumula a duração do período de molhamento foliar do dia e a temperatura média de todos os momentos em que se considerou molhado para determinar o VSD na virada do dia.

Configurou-se o equipamento no modo “DPM Sobreposto” para calcular o molhamento foliar com base nos três sensores de molhamento foliar, sendo esses expostos na base, meio e topo do dossel na cultura da batata (Figura 5a) e na cultura do tomate (Figura 5b). Inicialmente, colocaram-se os três sensores numa mesma altura (próximos ao solo), e, conforme a planta ia crescendo, ia subindo os sensores do meio e do topo do dossel, sempre mantendo o sensor do topo acima do dossel e o sensor do meio do dossel a uma altura média da planta, sendo que, ambos os sensores, da base e do meio, ficaram cobertos pelas folhas da planta.

Figura 5 – Disposição dos sensores no dossel da cultura da batata^a e na cultura do tomate^b



As tabelas de determinação de VSD no equipamento foram configuradas com base nos estudos de Wallin (1962), sendo essas expostas na Tabela 3. O VSD varia de zero a quatro, tendo baixa ou alta favorabilidade à requeima, respectivamente, dependendo das condições climáticas em que os sensores estiverem expostos.

No experimento da batata, as pulverizações com base no VSD acumulado foram realizadas de formas distintas, conforme especificado nos tratamentos. Pulverizavam-se

as parcelas referentes aos tratamentos cinco e sete sempre que atingido múltiplos de dez no VSD acumulado e, no tratamento seis, quando atingia múltiplos de 13 (Tabela 1). A identificação desses valores era realizada no visor do equipamento em campo, sendo essas ações monitoradas para verificação de erros. No experimento com tomate, realizou-se no tratamento 8 aplicações de fungicidas sistêmicos sempre que atingia múltiplos de 8, conforme Tabela 2.

Tabela 3 - Cálculo dos valores de severidade da doença (VSD), em função da duração do período de molhamento foliar e da temperatura média

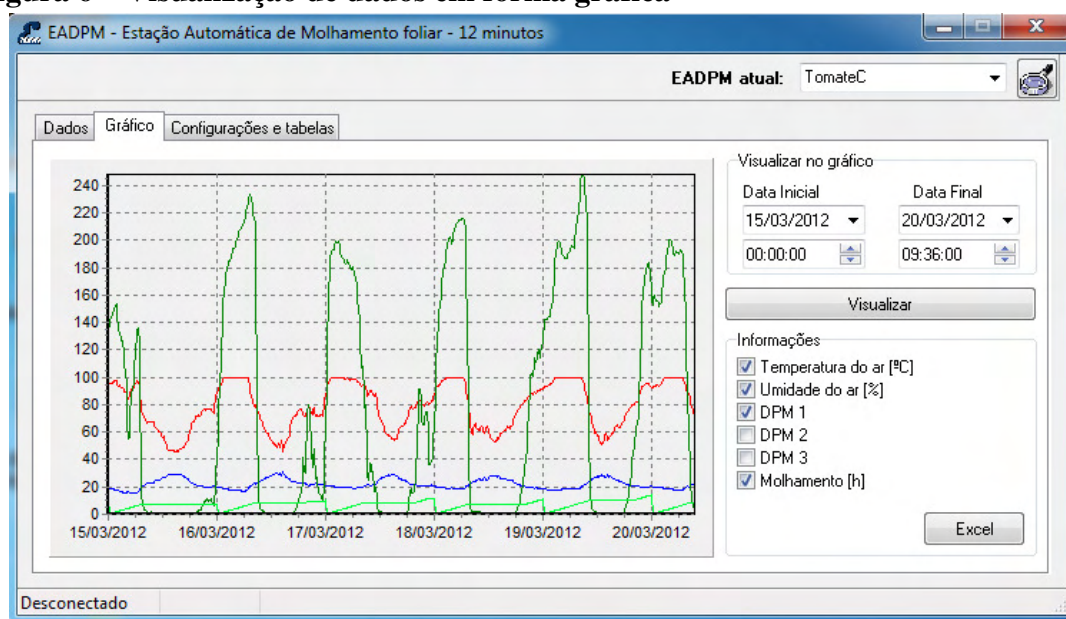
Temperatura média (°C)	Duração do período de molhamento foliar (horas)				
	0 – 15	16 – 18	19 – 21	22 – 24	24 +
7,2 – 11,6	0 – 15	16 – 18	19 – 21	22 – 24	24 +
11,7 – 15,0	0 – 12	13 – 15	16 – 18	19 – 21	22 +
15,1 – 26,6	0 – 9	10 – 12	13 – 15	16 – 18	19 +
VSD ¹	0	1	2	3	4

Fonte: Adaptado de Wallin (1962)

¹ Valores de Severidade da Doença variando de zero a quatro para condições climáticas pouco e muito favoráveis à requeima, respectivamente.

Realizou-se o acompanhamento das condições climáticas com base nos dados registrados na memória do equipamento, após a aquisição dos dados, que foi realizada por meio de um software (Figura 6) instalado em notebook, conectado à EMAADP por meio de um cabo conversor RS232/USB TTL. Esses dados foram exportados para planilha eletrônica para comparação de valores de DPM, calculada para cada sensor de molhamento foliar e para o sensor de umidade relativa do ar.

Figura 6 – Visualização de dados em forma gráfica



Aplicou-se herbicida sobre a lavoura de batata para finalizar o crescimento após terem atingido o tamanho desejado. Após sete dias, realizou-se a colheita e a pesagem (Figura 7) das parcelas manualmente em um só dia.

Comparou-se os dados de produtividade de cada tratamento pelo teste Tukey a 5% de probabilidade no programa estatístico R.

Figura 7 – Colheita e pesagem das batatas



Resultados e Discussão

A temperatura ambiente medida no período de duração do experimento “T” esteve entre 13,35 °C e 30,94 °C, a umidade relativa do ar entre 28,2 % e 100 %, o molhamento foliar entre 6,2 e 24 horas, visualizados na Figura 9. Enquanto no experimento “B” a temperatura ambiente ficou entre 12,5 a 32,6 °C, a umidade relativa do ar entre 32 e 100 %, com molhamento foliar de 7,8 a 24 horas (Figura 8).

Figura 8 – Dados médios de temperatura ambiente, umidade relativa do ar, molhamento foliar e VSD (Valor de Severidade da Doença) da cultura da batata

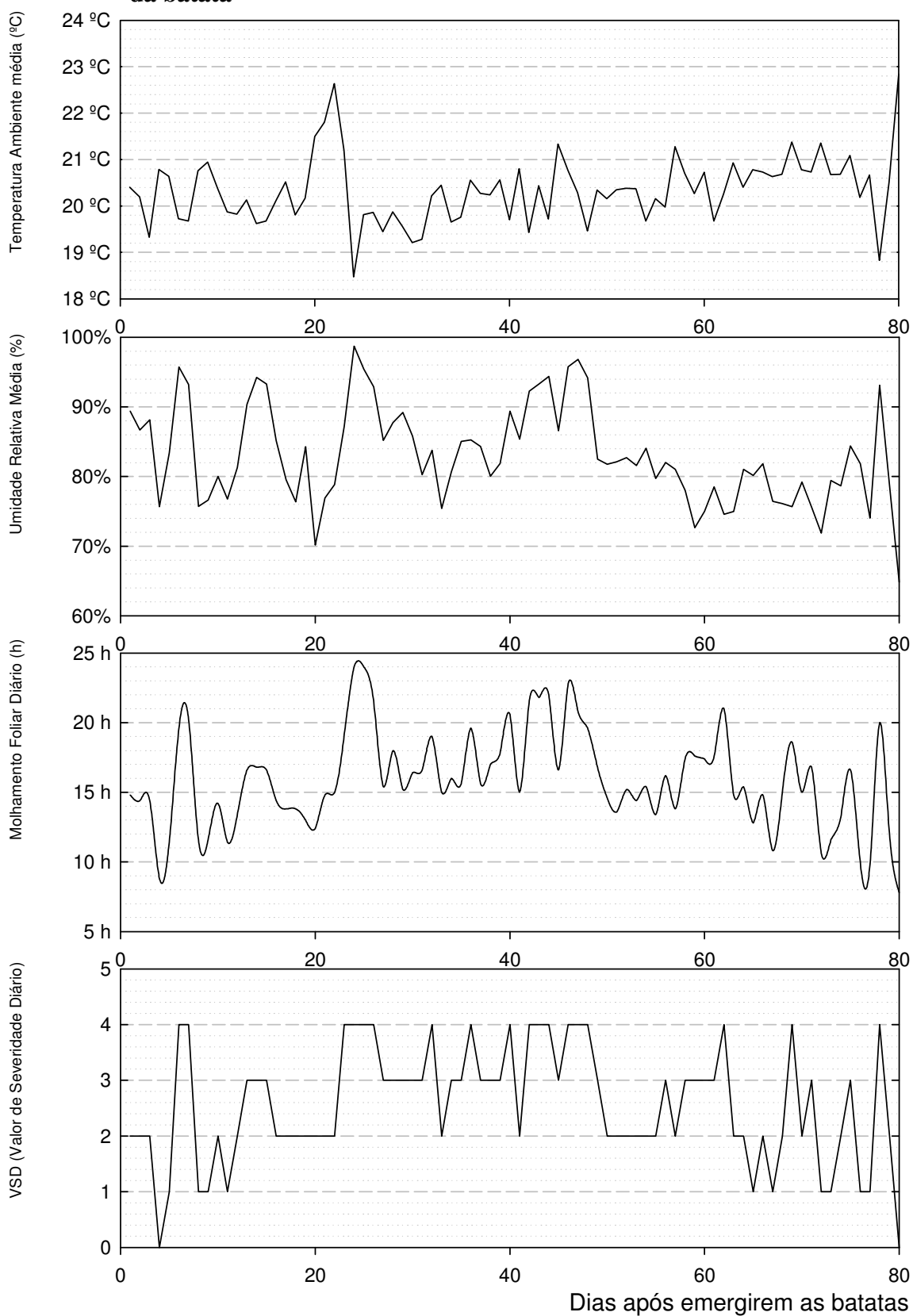
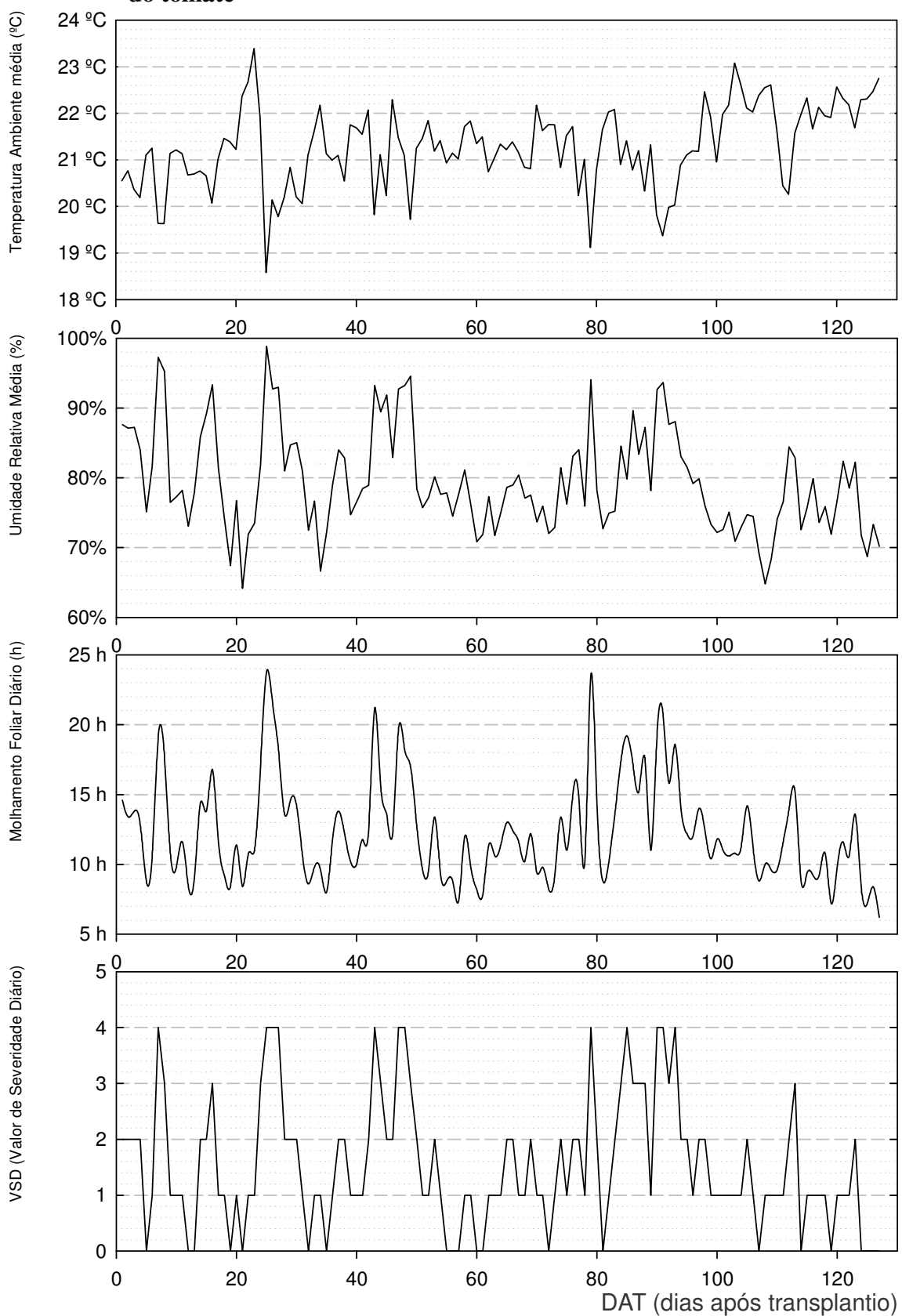
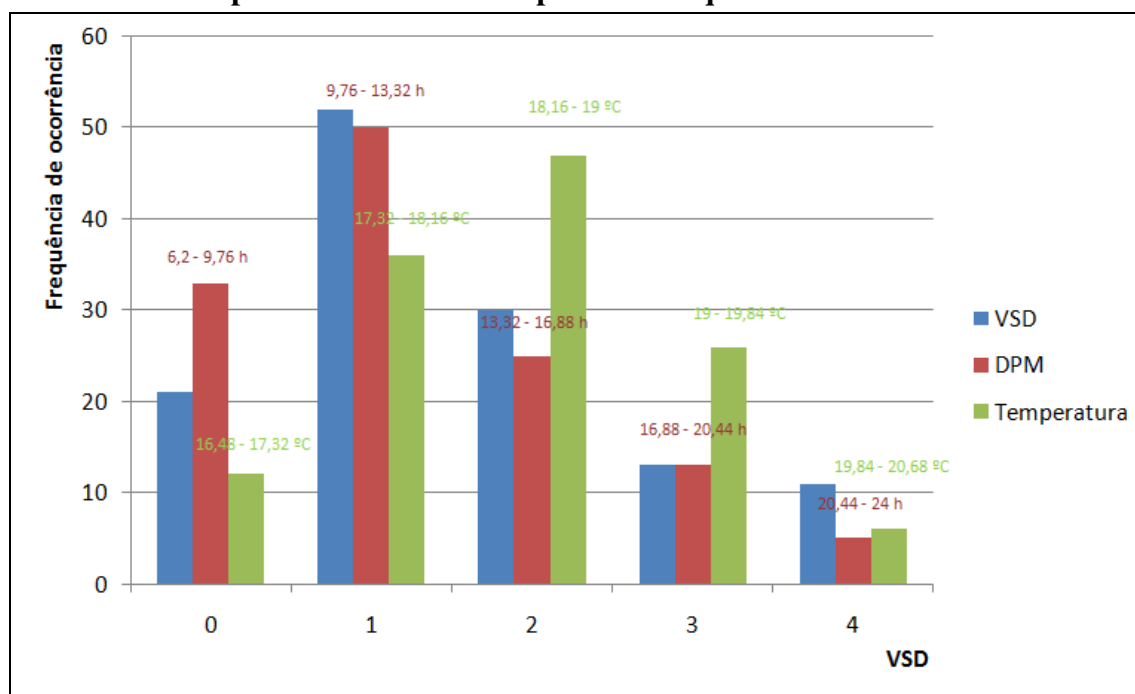


Figura 9 – Dados médios de temperatura ambiente, umidade relativa do ar, molhamento foliar e VSD (Valor de Severidade da Doença) da cultura do tomate



Considerando a tabela de Wallin (1962), a maior parte da faixa da temperatura ambiente em ambos os experimentos ficou na faixa em que o fungo se desenvolve; excetuando-se nas temperaturas acima de 26,6 °C. Porém, considerando somente o período em que as plantas estavam molhadas, a temperatura ambiente sempre esteve dentro da faixa de desenvolvimento da doença, conforme se observa nas Figuras 8 e 9, demonstrando que o molhamento foliar fosse determinante do VSD. Com isso, observa-se, na Figura 10, uma relação direta entre a frequência de ocorrência de VSD e as faixas de frequência de dias de molhamento.

Figura 10 – Frequência de ocorrência diária de eventos de VSD (valor de severidade de doença), DPM (período de molhamento foliar) e temperatura ambiente do período em que o sensor estava molhado

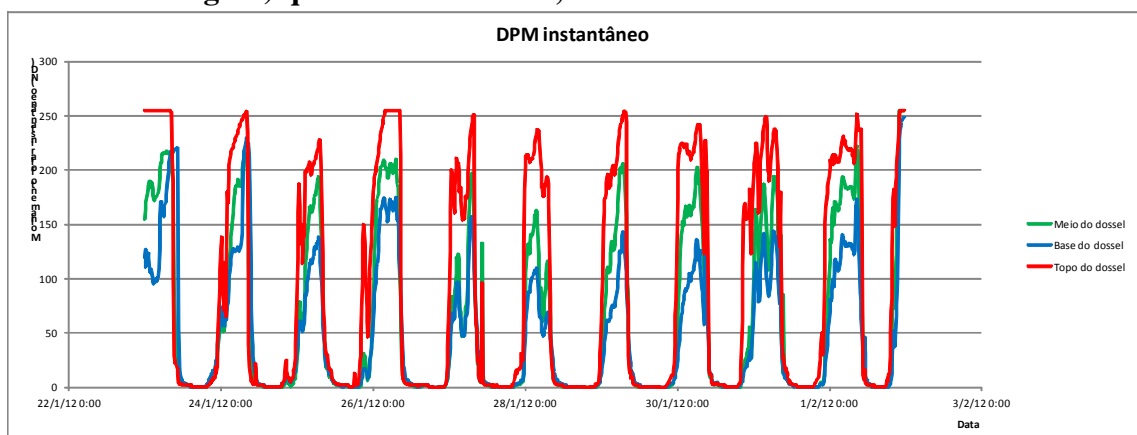


O modo de determinação do molhamento foliar escolhido para o experimento foi o “DPM – Sobreposto”. Tal método mede o micro-clima na base, meio e topo do dossel e determina o período de molhamento foliar mais próximo do real da cultura. O valor de limiar trabalhado no experimento foi 50, sendo considerado como molhado acima desse valor, e seco quando estivesse abaixo. Com essa configuração da estação meteorológica, obteve-se a temperatura ambiente média com máximo, médio e mínimo valor do período em que as plantas do experimento “B” estavam molhadas foi de 20,61, 18,26 e 16,27°C; respectivamente, enquanto no experimento do tomate foi de 20,68 °C, 18,42

°C e 16,48 °C. Observou-se que a DPM média no experimento da batata resultou em 03:35 h a mais do que no tomate, mostrando-se assim a diferença entre os sistemas, batata com irrigação do tipo pivô central e tomate com irrigação do tipo gotejo. No caso da batata, o dossel é fechado, dificultando a circulação de ar entre as plantas, e conseqüentemente a secagem das plantas próximas ao solo. Com relação ao sistema de irrigação, a escolha do tipo gotejo resulta em tempo de molhamento foliar menor do que no pivô central, porém, deve-se observar a viabilidade técnica e econômica para tal implantação.

Na Figura 11 encontram-se a comparação das respostas dos sensores nas diferentes posições no dossel da cultura do tomate. No experimento “T”, o sensor do topo do dossel teve um molhamento foliar mais intenso do que os outros. O sensor que estava mais próximo ao solo teve um molhamento foliar menor do que o sensor que estava no meio do dossel, afirmando-se com isso, que, nesse período e sob esse micro clima, o molhamento foliar está vindo da atmosfera para as plantas. Esse fato foi encontrado também por Sentelhas (2004), mas somente nos períodos mais secos; por outro lado, em condições de clima chuvoso, a tendência se inverte, fazendo com que a DPM seja maior na base do dossel.

Figura 11 – Dados de molhamento foliar dos três sensores de DPM, instalados na base, no meio e no topo do dossel da cultura do tomate. ND (número digital) que varia de 0 à 255, sendo 0 sensor seco e 255 sensor molhado



Observa-se no experimento “T”, que apesar de ter sido mostrado que o molhamento foliar na base do dossel do tomateiro é menor do que a DPM em outras posições do dossel, tal fato não ocorreu no período inicial do experimento (Figura 12). O sensor próximo ao solo resultou em DPM maior no início do período, acumulando-se

o VSD mais rapidamente até o dia 40 (DAT). Em seguida, até o dia 100, o sensor que apresentou maior acúmulo de VSD foi o do topo do dossel, devido ao fato de estar recebendo maior quantidade de orvalho e do microclima estar com baixa umidade relativa; por fim, o sensor do meio do dossel passou a ter um acúmulo de VSD maior do que a base e menor do que o topo do dossel do tomate.

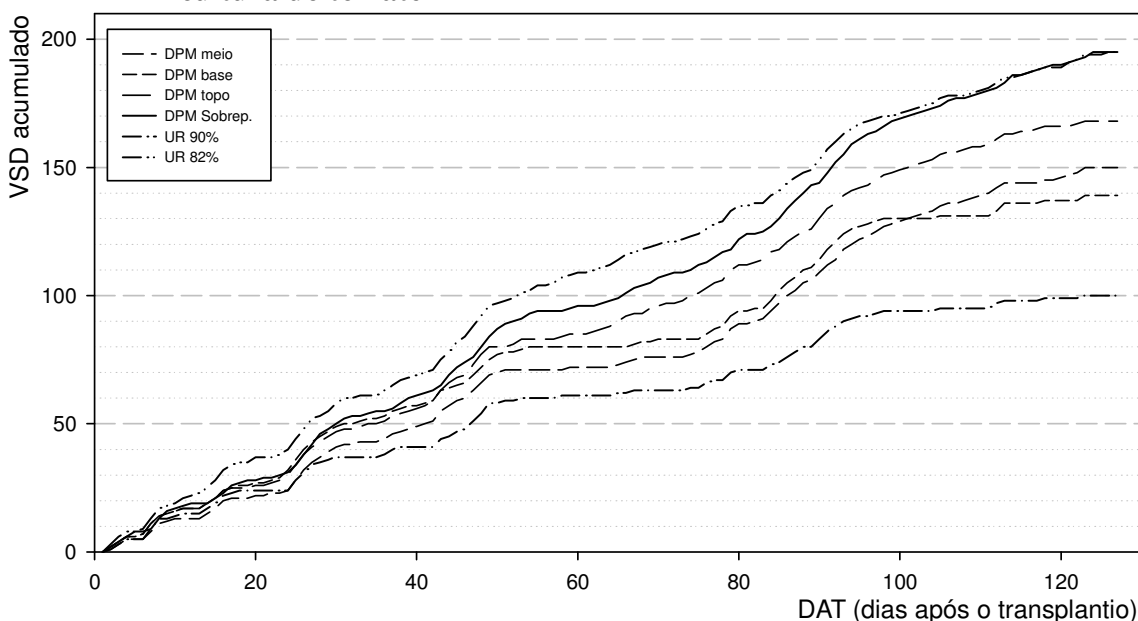
Por outro lado, observa-se na Figura 13, referente ao experimento “B”, uma situação inversa à encontrada na cultura do tomate, resultando em um maior VSD na base do dossel da cultura da batata. Observa-se no gráfico, que, do primeiro dia até o dia 30, os VSD's acumulados, com base na DPM medida nos sensores, foram praticamente os mesmos, período esse que o dossel da cultura da batata ainda não tinha fechado e criado diferentes micro climas para cada sensor. Após esse período, nota-se uma diferenciação no acúmulo do VSD com base em cada um dos sensores, sendo o sensor “Base” o que mais se mostrou favorável ao desenvolvimento da doença na cultura da batata, enquanto o sensor “Topo” mostrou-se menos favorável. Tal fato ocorreu principalmente devido ao fechamento do dossel, que cria um microclima diferenciado abaixo das folhas da planta, aumentando o tempo em que as plantas ficam molhadas abaixo das folhas.

Dessa forma, o local ideal para colocar apenas um sensor de molhamento foliar, para quantificar a DPM, na cultura da batata sob as condições do experimento, é na base do dossel e na cultura do tomate, o ideal é no topo. Porém, apesar do sensor que está na base do dossel da cultura da batata permanecer molhado por mais tempo, o sensor no topo é molhado antes do sensor “Base”, mostrando-se assim, que a planta molha-se inicialmente no topo e em seguida na base. Dessa forma, no modo “Sobreposto”, o equipamento calculará uma DPM maior do que a encontrada pelo sensor “Base”. Isso ocorre por causa da sobreposição dos sinais dos sensores, ou seja, se um deles estiver molhado, será computado como molhado.

Segundo Sentelhas *et al.* (2005), na cultura do tomate, o molhamento foliar é maior no topo do dossel se não houver chuva no dia, caso contrário, a base ficará molhada por mais tempo do que o topo. Dessa forma, considerando o fato que o melhor posicionamento do sensor de molhamento foliar é no dossel das plantas, depende da cultura e do micro clima diário, recomenda-se utilizar o método “Sobreposto” que possibilita a identificação de diversos microclimas, reduzindo a variabilidade da leitura de DPM, por reduzir a dependência do microclima e da cultura perante as medições.

Apesar de muito difundido, o método $UR \geq 90\%$ subestima as medições de molhamento foliar, fato esse encontrado também por Sentelhas (2004) e Streck (2006). Comparando os VSDs acumulados com os métodos utilizados nos trabalhos, observa-se que o resultado calculado pela umidade relativa superior a 90% subestimou em aproximadamente 50% as medições sobrepostas dos sensores; o limite de 76% de umidade relativa do ar foi encontrado no experimento da batata, já para a cultura do tomate, o limite que mais aproximou a estimativa da DPM, com a medição pelo método sobreposto foi o percentual de 82%. Esse limite difere do encontrado por Streck (2006), que foi de 87% de umidade relativa do ar, comparando com as medições dos sensores eletrônicos. Daí, dependendo, da cultura, do microclima, dentre outros fatores, o método de umidade relativa necessita ter seu limite de umidade relativa maior ou menor para resultar em um mesmo valor de molhamento foliar; esse fato dificulta estudos com doenças em plantas com a umidade relativa.

Figura 12 – Comparação entre métodos de determinação de molhamento foliar na cultura do tomate



Observa-se na Figura 14 a diferença da taxa de acúmulo do VSD entre as duas lavouras de tomate e batata. Mesmo com uma diferença de 47 dias no período experimental, tendo a batata apenas 80 dias de cultivo contra 127 dias do tomate, ainda assim, as duas culturas acumularam 208 e 195 VSD no final de seus ciclos,

respectivamente. Esse fato ilustra a importância da escolha do sistema de irrigação para as culturas.

Figura 13 – Comparação entre métodos de determinação de molhamento foliar da cultura da batata

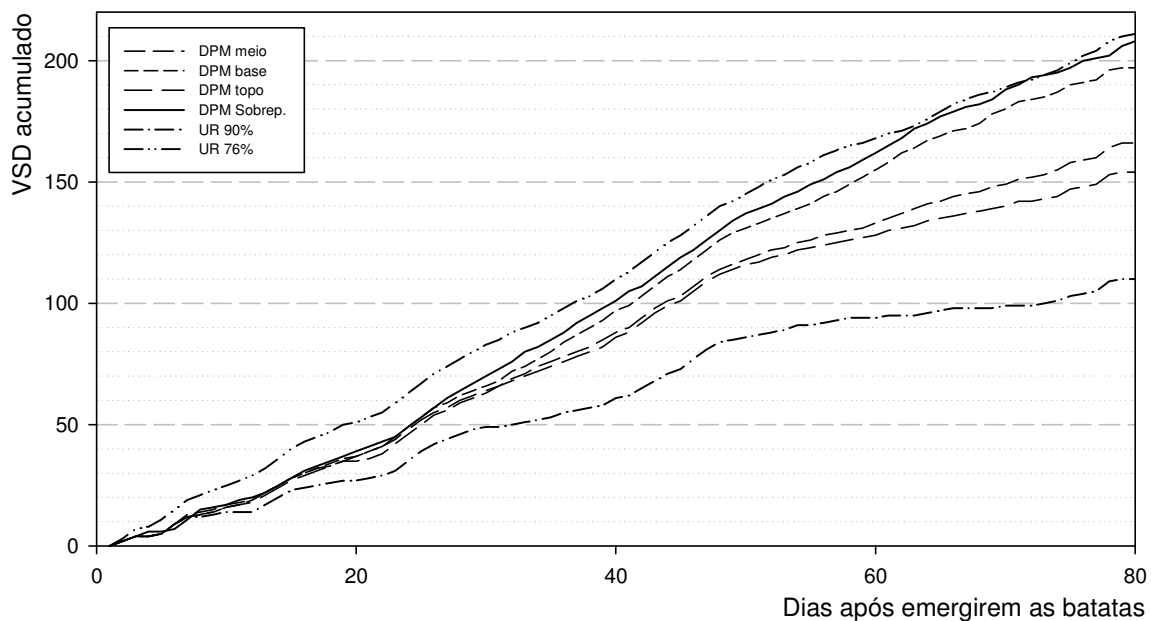
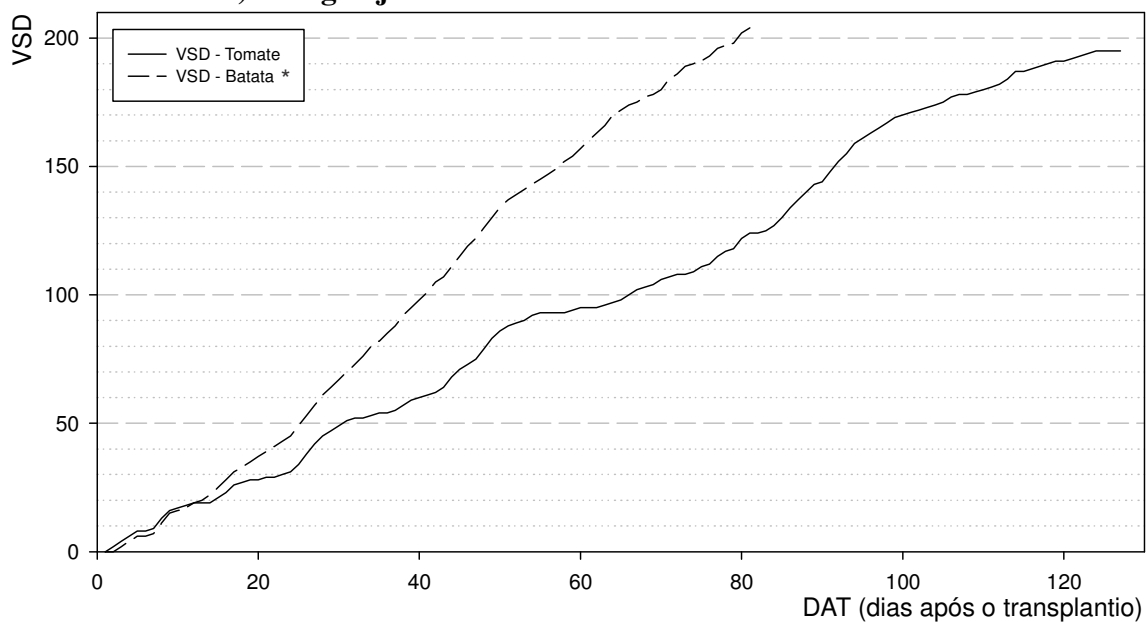


Figura 14 – Valor de severidade da doença acumulado na cultura da batata (80 dias) com irrigação do tipo pivô central na cultura do tomate (127 dias) com gotejo.



O diferente posicionamento de três sensores de molhamento foliar idênticos no dossel da cultura do tomate resultou em uma diferença significativa no total de aplicações realizadas durante todo o ciclo, sendo o total das aplicações de 18, 19 e 21, para a base, meio e topo do dossel da cultura, respectivamente (Tabela 4). Observa-se sentido oposto nos dados dos sensores utilizados na cultura da batata, tendo o maior VSD na base do dossel.

Verifica-se, portanto, a importância de utilizar três sensores no dossel da cultura ao identificar a diferença de 4 e 3 aplicações de fungicidas, para a batata e tomate, respectivamente, obtendo-se essa diferença ao se comparar os maiores e os menores números de aplicações para cada cultura, determinada por cada sensor. Ao se comparar essas diferenças com a maior totalização do VSD obtido pelos sensores, verifica-se percentuais de 20 e 17%, para a batata e o tomate, respectivamente, o que possibilita uma redução no número de aplicações de até 20%. Porém, tal redução, não é interessante, dado o fato de que se devem realizar as aplicações com base no maior tempo de exposição da planta ao molhamento, ou seja, recomenda-se utilizar os dados do sensor que resulta maior DPM.

O método sobreposto mensura o molhamento foliar em três posições do dossel da planta (base, meio e topo) e, se um dos sensores estiver molhado, será considerado como molhado na planta. Nesse método, totalizaram-se 21 aplicações na batata e 25 aplicações no tomate (Tabela 4). Das aplicações dos sensores individuais, aumentou-se apenas uma aplicação na batata e quatro aplicações no tomate, do total indicado pelos dados do sensor com maior DPM para a quantidade de aplicações recomendadas pelo método “Sobreposto”. Tal diferença mostra que os dados dos sensores no caso da batata se sobrepõem na maior parte do tempo, enquanto no tomate, os dados são distintos, ou seja, ao cair o orvalho nos sensores do topo do dossel, os sensores que estão na base ainda estão secos, e leva-se um tempo até que o orvalho alcance os sensores da base. Da mesma forma, no processo de secagem dos sensores, o que está no topo, identifica a secagem primeiro e, em seguida, o da base. Porém, devido o dossel da cultura do tomate tender a ser uniformemente ventilado, tanto na base, como no topo; a tendência é que, tenha-se a mesma DPM em qualquer parte do dossel, porém, com um deslocamento no tempo, causando uma maior leitura da DPM no método “Sobreposto”.

O método da umidade relativa do ar resultou em apenas 11 aplicações na batata e 13 no tomate, verificando-se assim o quanto o método subestima os dados de

molhamento foliar ao se comparar com as 21 aplicações da batata e 25 aplicações do tomate, referente ao método “Sobreposto”. Ao se observar esses dados, a primeira impressão, é que, utilizar o método da umidade relativa proporciona uma economia financeira nas aplicações, porém, tal economia se baseia no fato de subestimativas da DPM pelo método “ $UR \geq 90\%$ ”; possibilitando maior desenvolvimento da doença na planta.

Observa-se na Tabela 4 que o valor de VSD igual a 10 aumenta o número de aplicações aproximadamente em 30%.

Tabela 4 – Valores de severidade da doença acumulados no período experimental para a cultura da batata e do tomate, e suas respectivas aplicações de fungicidas com base na estação meteorológica.

	Base	Meio	Topo	Sobreposto	$UR \geq 90\%$
VSD final do tomate	139	150	168	195	100
Nº de aplicações - VSD=8	18	19	21	25	13
VSD final da batata	197	166	154	208	110
Nº de aplicações - VSD=10	20	17	16	21	11
Nº de aplicações - VSD=13	16	13	12	16	9

Observa-se uma queda na produção de tomate ao utilizar o micro foliar juntamente com o fungicida sistêmico, aumentando-se sua significância com o aumento da quantidade de aplicações dos fungicidas e micro foliares (Tabela 5); contrariando-se assim, a expectativa de uma maior produção nos tratamentos 6 e 7, produzindo menos ainda no tratamento 6 que teve uma maior quantidade de aplicações de fungicidas sistêmicos. Porém, não se observou tal queda na cultura da batata (Tabela 6).

Ao desconsiderar a influência da aplicação do micro foliar, ou seja, considerando apenas os tratamentos que não tiveram aplicação do produto, observou-se que a quantidade produzida por tratamento seguiu a mesma ordem em ambas as culturas, tomate e batata (tratamentos 8, 2, 4 e 1), mostrando-se assim, uma semelhança nos tratamentos. Apesar de não diferirem estatisticamente, o tratamento que mais produziu em ambas as culturas estudadas, se baseou na estação meteorológica, tendo apenas aplicações de fungicidas sistêmicos (Tabelas 5 e 6).

A queda significativa na produção da batata, no tratamento 1, ocorreu devido a entrada da requeima na cultura (Tabela 6). Redução essa que não foi observada na

cultura do tomate, por não ter-se observado requeima em nenhum ponto da lavoura, mesmo na testemunha que não se aplicou fungicidas.

A subestimação do molhamento foliar pelo método $UR \geq 90\%$ e da medição com sensores sem pintura, resultam em uma quantidade de aplicações de fungicidas inferior as quantidades encontradas nos tratamentos com base nos dados da estação, deste trabalho. Isso mostra a necessidade de maiores estudos sobre as tabelas de VSD para condições em que não subestime o molhamento foliar. Pode-se pensar que as aplicações com base nos dados subestimados são melhores por se ter uma menor quantidade de aplicações, porém, o problema é que as subestimativas são instáveis, subestimando muito ou pouco dependendo do micro clima e dos sensores, causando variações nas medições de molhamento foliar e conseqüentemente nas aplicações que dificultam a otimização do sistema de previsão.

Tabela 5 – Número de aplicações de fungicidas para requeima na cultura do tomate

Caixas/ha ¹	Tratamento	Pulverizações		
		Preventivo	Sistêmico	Micro foliar
4313 a	8 ²	-	24	-
4238 a	2 ^{3,4}	17	20	-
4130 ab	4 ⁵	8	8	-
4126 ab	1 ⁶	-	-	-
3600 ab	3 ⁷	10	6	5
3505 ab	5 ⁸	8	8	8
3334 ab	7 ⁹	16	17	16
3164 b	6 ¹⁰	16	24	16

¹ Médias seguidas por pelo menos uma mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

² **VSD 8 sistêmico** (pulverizado com Dimetomorfe somente quando o acumulado de VSD atingia múltiplos de 8)

³ **Testemunha Igarashi** (pulverizado com os mesmos produtos da fazenda).

⁴ Referência de comparação.

⁵ **Cimoxanil – Clorotalonil** (pulverizado uma vez por semana, alternando os produtos).

⁶ **Testemunha absoluta** (sem pulverização de fungicidas para requeima).

⁷ **Calendário** (pulverizado uma vez por semana conforme calendário).

⁸ **Cimoxanil – Clorotalonil + Micro foliar** (pulverizado uma vez por semana, alternando os produtos).

⁹ **VSD 11** (pulverizado com Clorotalonil e Micro foliar semanalmente e com dimetomorfe quando o acumulado de VSD atingia múltiplos de 11)

¹⁰ **VSD 8** (pulverizado com Clorotalonil e Micro foliar semanalmente e com dimetomorfe quando o acumulado de VSD atingia múltiplos de 8)

Tabela 6 – Número de aplicações de fungicidas para requeima na cultura da batata

Sacos/ha ¹	Tratamento	Pulverizações		
		Preventivo	Sistêmico	Micro foliar
1097 a	8 ²	-	18	-
1092 a	5 ³	6	5	6
1073 a	7 ⁴	11	14	11
1028 a	2 ^{5,6}	13	6	-
1020 ab	4 ⁷	6	5	-
980 ab	3 ⁸	5	6	2
935 ab	6 ⁹	11	18	11
741 b	1 ¹⁰	-	-	-

¹ Médias seguidas por pelo menos uma mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

² **VSD 10 sistêmico** (pulverizado com Dimetomorfe somente quando o acumulado de VSD atingia múltiplos de 10)

³ **Cimoxanil – Clorotalonil + Micro foliar** (pulverizado uma vez por semana, alternando os produtos).

⁴ **VSD 13** (pulverizado com Clorotalonil e Micro foliar semanalmente e com dimetomorfe quando o acumulado de VSD atingia múltiplos de 13)

⁵ **Testemunha Igarashi** (pulverizado com os mesmos produtos da fazenda).

⁶ Referência de comparação.

⁷ **Cimoxanil – Clorotalonil** (pulverizado uma vez por semana, alternando os produtos).

⁸ **Calendário** (pulverizado uma vez por semana conforme calendário).

⁹ **VSD 10** (pulverizado com Clorotalonil e Micro foliar semanalmente e com dimetomorfe quando o acumulado de VSD atingia múltiplos de 10)

¹⁰ **Testemunha absoluta** (sem pulverização de fungicidas para requeima).

Conclusão

A estação automática de alerta de doenças em plantas, desenvolvida neste trabalho, como instrumento de auxílio na tomada de decisão do momento de aplicação de fungicidas para requeima, nas culturas do tomate e da batata, mostrou-se uma ferramenta útil para quantificar o valor de severidade das doenças, através da medição do molhamento foliar, da temperatura e da umidade relativa do ar. Além disso, o equipamento é uma ferramenta fácil de usar no manejo das doenças fúngicas, inclusive pelo pessoal de campo.

A estação desenvolvida mostrou-se uma ferramenta flexível ao possibilitar sua configuração para ser utilizada com três métodos de determinação do molhamento foliar, e também pelo acesso à alteração de suas tabelas de calculo dos valores de severidade da doença, possibilitando o controle de diversas culturas e doenças com o mesmo equipamento.

Apesar do posicionamento do sensor de molhamento foliar ser mais severo no topo do dossel para a cultura do tomate e na base para a cultura da batata, o microclima

local e a lavoura irão influenciar nesse aspecto, recomendando-se a utilização de três placas instaladas nas posições inferior, intermediária e no topo do dossel.

Referências

ANDRADE, A.G.; PIMENTA, A.A.; GOES, A. Influência do alinhamento de plantio na severidade da mancha-preta-dos-citros, produção e qualidade do suco. **Rev. Bras. Frutic.**, Jaboticabal - SP, v. 31, n. 4, p. 1033-1041, Dezembro 2009.

BARRETO, M.; VALE, F. X. R.; PAUL, P. A.; SCALOPPI, É. A. G.; ANDRADE, D. A. Sistemas de previsão e estações de aviso. In: VALE, F. X. R.; JUNIOR, W. C. J.; ZAMBOLIM, L. **Epidemiologia aplicada ao manejo de doenças de plantas**. Belo Horizonte, MG: Editora Perffil, 531p, 2004.

BERGAMIN FILHO, A.; AMORIM, L. Sistemas de previsão e avisos. In: BERGAMIN FILHO, A.; KIMATI, H.; AMORIM, L. **Manual de fitopatologia: Princípios e conceitos**. São Paulo: Ceres, v.1, 919p, 1995.

BOSCO, L. C.; HELDWEIN, A. B.; LUCAS, D. D. P.; TRENTIN, G.; GRIMM, E.; LOOSE, L. H. Sistema de previsão de ocorrência de requeima em clones de batata suscetíveis e resistentes. **Ciência Rural**. Santa Maria, v.39, n.4, 1024-1031, p. jul, 2009.

COELHO, R.R., VALE, F.X.R., JESUS JUNIOR, W.C., PAUL, P.A., ZAMBOLIM, L. & BARRETO, R.W. Determinação das condições climáticas que favorecem o desenvolvimento da ferrugem e da mancha angular do feijoeiro. **Fitopatologia Brasileira**, v.28, p.508-514. 2003.

COSTA, R. V.; ZAMBOLIM, L.; VALE, F. X. R.; MIZUBUTI, E. S. G. Previsão da requeima da batateira. **Fitopatologia Brasileira**, v.27, p. 349-354, p. 2002.

DUARTE, H. S. S., ZAMBOLIM, L.; RODRIGUES, F. A. Controle da requeima em tomateiro industrial com fungicidas e silicato de potássio. **Fitopatologia Brasileira**, v. 32, p. 257-260, 2007b.

DUARTE, H. S. S.; ZAMBOLIM, L.; JESUS JUNIOR, W. C. Manejo da requeima do tomateiro industrial empregando sistema de previsão. **Summa Phytopathologica**, v.33, n.4, p.328-334, 2007a.

FAO. **Las papas, la nutrición y la alimentación**. Disponível em: <<http://www.potato2008.org/es/lapapa/hojas.html>>. Acesso em: 25 nov. 2008.

FINHOLDT, G.; MANTOVANI, E. C.; SEDIYAMA, G. C.; RAMOS, M. M.; VIEIRA, H. S. Desenvolvimento e avaliação de uma estação meteorológica automática para manejo de irrigação. **REVENG**, v.19, n.4, julho/agosto, p. 313-328. 2011.

GARÇON, C.L.P., ZAMBOLIM, L., MIZUBUTI, E.S.G., VALE, F.X.R. & COSTA, H. Controle da ferrugem do cafeeiro com base no valor de severidade. **Fitopatologia Brasileira**, v.29, p.486-491. 2004.

LAIONE, F.; WORDELL FILHO, J. A. Equipamentos utilizados para medir elementos meteorológicos em sistemas de previsão de doenças de plantas. In: REIS, E. M. **Previsão de doenças de plantas**. Passo Fundo. RS. UFP EDITORA. 101-138p. 2004.

LEITE, R.M.V.B.C. & AMORIM, L. Influência da temperatura e do molhamento foliar no monociclo da mancha de *Alternaria* em girassol. **Fitopatologia Brasileira**, v.27, p.193-200. 2002.

LULU, J.; SENTELHAS, P.C.; PEDRO JÚNIOR, M.J.; PEZZOPANE, J.R.M.; BLAIN, G.C. Estimating leaf wetness duration over turfgrass, and in a 'niagara rosada' vineyard, in a subtropical environment. **Sci. Agric.** (Piracicaba, Braz.), v.65, special issue, p.10-17, December 2008.

MARCUZZO, L.L.; FERNANDES, J.M.C; BECKER, W.F. Influência da temperatura e da duração do molhamento foliar na severidade da mancha bacteriana do tomateiro. **Summa Phytopathologica**, v.35, n.3, p.229-230, 2009.

MATTEDI, A.P.; SOARES, B.O.; ALMEIDA, V.S.; GRIGOLLI, J.F.J.; SILVA, L.J.; SILVA, D.J.H. Introdução à cultura do tomateiro. In: SILVA, D.J.H.; VALE, F.X.R. **Tomate: tecnologia de produção**. Viçosa, MG: UFV; Brasília, DF, Ministério do Desenvolvimento Agrário, 2007.

MELO, P.C.T.; ROSSI, F.; MELO, M.F.F.T.; MELO, R.A. Valor nutricional da batata, in ZAMBOLIM, L. **Produção integrada da batata**, v.1, 1 ed. Viçosa MG, Departamento de Fitopatologia. 223-250p. 2011.

PAUL, P. A. **Sistemas de manejo da pinta-preta (*Alternaria solani* (Ellis; Martin) Jones; Grout) do tomateiro**. 87p. Dissertação (Mestrado em Fitopatologia). Universidade Federal de Viçosa. 1999.

REIS, E. M.; BRESOLIN, A. C. R. Fatores climáticos e doenças de plantas. In: REIS; E. M. **Previsão de doenças de plantas**. Passo Fundo. RS. UFP EDITORA. 21-46p, 2004.

REIS, R.F., GOES, A. & TIMMER, L.W. Effect of temperature, leaf wetness, and rainfall on the production of *Guignardia citricarpa* ascospores and on black spot severity on sweet orange. **Fitopatologia Brasileira**, v.31, p.029-034. 2006.

RIVERA HERNÁNDEZ, J. F. **Quantificação dos danos causados pela pinta-preta em tomateiro**. 35p. Dissertação (Mestrado em Fitopatologia). Universidade Federal de Viçosa, 2007.

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, December 2008.
- SENTELHAS, P. C.; MONTEIRO, J.E.B.A.; GILLESPIE, T.J. Electronic leaf wetness duration sensor: why it should be painted. **International Journal of Biometeorology**, v.48, p.202-205. 2004a.
- SENTELHAS, P.C.; GILLESPIE, T.J.; BATZER, J.C.; GLEASON, M.L.; MONTEIRO, J.E.B.A.; PEZZOPANE, J.R.M.; PEDRO JR, M.J. Spatial variability of leaf wetness duration in different crop canopies. **International Journal of Biometeorology**, v.49, p.363-370, 2005.
- SENTELHAS, P.C.; GILLESPIE, T.J.; GLEASON, M.L.; MONTEIRO, J.E.B.A.; HELLAND, S.T. Operational exposure of leaf wetness sensors. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.126, p.59-72, 2004c.
- SENTELHAS, P.C.; GILLESPIE, T.J.; MONTEIRO, J.E.B.A.; ROWLANDSON, T. Estimating leaf wetness duration on a cotton crop from meteorological data. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**. Santa Maria, v. 12, n.2, p. 235-245, 2004b.
- SILVA, S.R., RIOS, G.P. & SILVA, S.C. Influência da resistência e do período de molhamento na infecção e desenvolvimento de lesões de ferrugem no feijoeiro. **Fitopatologia Brasileira**, v.26, p.726-731. 2001.
- STRECK, Luciano. **Determinação da duração do período de molhamento foliar em cultivos de batata**. 107p. Tese (Doutorado em Agronomia). Universidade Federal de Santa Maria. 2006.
- TÖFOLI, J. G.; DOMINGUES, R. J.; FERREIRA, M. R.; GARCIA JÚNIOR, O. Ação de acibenzolar-s-methyl isolado e em mistura com fungicidas no controle da requeima da batata. **Horticultura Brasileira**. Brasília, v.23, n.3, p.749-753, jul-set, 2005.
- TRENTIN, G.; HELDWEIN, A.B.; STRECK, L.; MAASS, G.F.; RADONS, S.Z., TRENTIN, R. Controle da requeima em batata cv. 'Asterix' como base para modelos de previsão da doença. **Ciência Rural**. Santa Maria, v. 39, n.2, p.393-399, mar-abr, 2009.
- VALE, F. X. R.; JESUS JÚNIOR, W. C.; RODRIGUES, F. A.; COSTA, H.; SOUZA, C. A. Manejo de doenças fúngicas em tomateiro. In: SILVA, D. J. H.; VALE, F. X. R. **Tomate: Tecnologia de produção**. Viçosa. MG: UFV, 159-198, p. 2007.
- VALE, F. X. R.; ZAMBOLIM, L.; COSTA, L. C.; LIBERATO, J. R.; DIAS, A. P. S. Influência do clima no desenvolvimento de doenças de plantas In: VALE, F. X. R.; JUNIOR, W. C. J.; ZAMBOLIM, L. **Epidemiologia aplicada ao manejo de doenças de plantas**. Belo Horizonte. MG: Editora Perfíl. 531 p. 2004.
- VALE, F. X. R.; ZAMBOLIM, L.; PAUL, P. A., COSTA, H. Doenças causadas por fungos em tomate. In: ZAMBOLIM, L.; VALE, F. X. R.; COSTA, H.(Ed). **Controle de doenças de plantas**. - Hortaliças. Visconde do Rio Branco: Suprema Gráfica e Editora, v.2, p.173-207, 2000.

VALE, F. X. R.; ZAMBOLIM, L.; PAUL, P. A.; SALUSTIANO, M. E. Manejo da pinta preta do tomateiro In: ed. ZAMBOLIM, L. **Manejo integrado de doenças e pragas**. Viçosa. MG. 47-52p. 1999.

WALLIN, J.R. Summary of recent progress in predicting late blight epidemics in United States and Canada. **American Potato Journal**, v. 39, p. 306-312, 1962.

WEIS, A.; LUKENS, D.L.; STEADMAN, J.R. A sensor for the direct measurement of leaf wetness: construction techniques and testing under controlled conditions. **Agricultural and Forest Meteorology**, 43, 241-249, 1988.

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION: Report on the Measurement of Leaf Wetness (R.R. Getz). **Agricultural Meteorology Report**, No. 38, WMO/TD-No. 478, Geneva, 1992.

ZAMBOLIM, L., VALE, F.X.R., CRUZ FILHO, J. & CHAVES, G.M. Emprego da Calda Viçosa na cultura do tomateiro (*L. esculentum*) para o controle de doenças da parte aérea. Viçosa: UFV. **Informe técnico**. 66. 1990.

ZAMBOLIM, L.; DUARTE, H. S. S.; ZAMBOLIM, E. M. Medidas integradas de controle das doenças fúngicas da batata. In: ZAMBOLIM, L. **Produção integrada da batata**. Viçosa, MG: UFV, p. 411-438. 2011.

CONCLUSÃO GERAL

Diante dos dados levantados, conclui-se que o sensor de molhamento foliar pintado e tratado termicamente, conectado à resistência elétrica de 8,2 M Ω , foi a melhor condição encontrada para os objetivos almejados neste trabalho, sendo ainda possível sua reutilização em duas safras.

O método de umidade relativa do ar maior que 90% subestima significativamente o molhamento foliar e o cálculo de VSD. Além disso, os dados de molhamento foliar medidos por sensores planos não pintados são significativamente maiores do que os dados obtidos pelo método de umidade relativa maior que 90%.

Apesar do posicionamento do sensor de molhamento foliar ser mais severo no topo do dossel para a cultura do tomate e na base para a cultura da batata, o microclima local e a lavoura irão influenciar nesse aspecto, por isso recomendando-se a utilização de três placas instaladas nas posições inferior, intermediária e no topo do dossel; sendo esse o método sobreposto recomendado neste trabalho.

A estação desenvolvida mostrou-se uma ferramenta flexível ao possibilitar sua configuração para ser utilizada com três métodos de determinação do molhamento foliar, e também pelo acesso à alteração de suas tabelas de cálculo dos valores de severidade da doença, possibilitando o controle de diversas culturas e doenças com o mesmo equipamento.

A estação automática de alerta de doenças em plantas, desenvolvida neste trabalho, como instrumento de auxílio na tomada de decisão do momento de aplicação de fungicidas para requeima, nas culturas do tomate e da batata, mostrou-se uma ferramenta útil para quantificar o valor de severidade das doenças, através da medição do molhamento foliar, da temperatura e da umidade relativa do ar. Além disso, o equipamento é uma ferramenta fácil de usar no manejo das doenças fúngicas, inclusive pelo pessoal de campo.