



**VALIDAÇÃO DE MODELOS DE PREVISÃO
DA FERRUGEM DO CAFEEIRO E
MONITORAMENTO DE ESPOROS DE
Hemileia vastatrix E *Cercospora coffeicola* EM
LAVRAS, MG**

FREDERICO ALBERTO DE OLIVEIRA

2005

FREDERICO ALBERTO DE OLIVEIRA

VALIDAÇÃO DE MODELOS DE PREVISÃO DA FERRUGEM DO
CAFEIEIRO E MONITORAMENTO DE ESPOROS DE *Hemileia vastatrix*
E *Cercospora coffeicola* EM LAVRAS, MG

Tese apresentada à Universidade Federal de
Lavras como parte das exigências do Curso de
Doutorado em Agronomia, área de concentração
em Fitopatologia, para a obtenção do título de
“Doutor”.

Orientador

Prof. Dr. Hilário Antônio de Castro

LAVRAS
MINAS GERAIS – BRASIL
2005

**Ficha Catalográfica Preparada pela Divisão de Processos Técnicos da
Biblioteca Central da UFLA**

Oliveira, Frederico Alberto

Validação de modelos de previsão da ferrugem do cafeeiro e monitoramento de esporos de *Hemileia vastatrix* E *Cercospora coffeicola* em Lavras, MG. / Frederico Alberto Oliveira. -- Lavras : UFLA, 2005.

98 p. : il.

Orientador: Hilário Antônio de Castro.

Tese (Doutorado) – UFLA.

Bibliografia.

1. Modelo de previsão. 2. Café. 3. Ferrugem. 4. *Hemileia vastatrix*. 5. *Cercospora coffeicola*. 6. Cercosporiose. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD-633.739425

FREDERICO ALBERTO DE OLIVEIRA

**VALIDAÇÃO DE MODELOS DE PREVISÃO DA FERRUGEM DO
CAFEIEIRO E MONITORAMENTO DE ESPOROS DE *Hemileia vastatrix*
E *Cercospora coffeicola* EM LAVRAS, MG**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras como parte das exigências do Curso de Doutorado em Agronomia, área de concentração em Fitopatologia, para a obtenção do título de "Doutor".

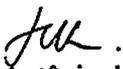
APROVADA em 25 de fevereiro de 2005.

Prof. Dr. Edson Ampélio Pozza - DFP - UFLA

Prof. Dr. Eduardo Alves - DFP - UFLA

Prof. Dr. Luiz Antonio Maffia - DFP - UFV

Dr. Rodrigo Luz da Cunha - EPAMIG


Prof. Dr. Hilário Antônio de Castro
UFLA
(Orientador)

LAVRAS
MINAS GERAIS - BRASIL
2005

BIOGRAFIA

Frederico Alberto de Oliveira, filho de José Rubens de Oliveira e Maria de Oliveira, nasceu em Várzea da Palma, no estado de Minas Gerais em 25 de maio de 1973.

Em 1992, ingressou na Escola Superior de Agricultura de Lavras (ESAL) na cidade de Lavras, MG, onde obteve o título de Engenheiro Agrônomo no ano de 1996.

Em março de 1997 iniciou o curso de Mestrado em Fitopatologia na Universidade Federal de Lavras, MG sob orientação da Profa Antônia dos Reis Figueira, concluindo-o em julho de 1999. Durante esse período, desenvolveu pesquisas na área de Virologia e Biologia Molecular.

Em março de 2001 ingressou no curso de Doutorado em Fitopatologia na Universidade Federal de Lavras, sob orientação do Prof. Hilário Antônio de Castro, concluindo-o em fevereiro de 2005. Durante esse período desenvolveu pesquisas na área de Epidemiologia. Foi Coordenador Geral do Núcleo de Estudos em Fitopatologia (NEFIT) e representante dos estudantes de pós-graduação no Colegiado de curso.

SUMÁRIO

	Página
RESUMO.....	i
ABSTRACT.....	iii
CAPÍTULO 1	01
1 Introdução geral.....	02
2 Referencial teórico.....	04
2.1 Ferrugem do cafeeiro (<i>Hemileia vastatrix</i> Berk. & Br).....	04
2.2 Cercosporiose do cafeeiro (<i>Cercospora coffeicola</i> Berk. & Cooke).....	06
2.3 Características de um modelo de previsão.....	07
2.3.1 Variáveis empregadas na construção de sistemas de previsão.....	09
2.4 Monitoramento de propágulos fúngicos.....	13
3 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	17
CAPÍTULO 2 - Avaliação de sistemas de previsão para a ferrugem do cafeeiro na região de Lavras, MG.....	24
1 RESUMO.....	25
2 ABSTRACT.....	26
3 INTRODUÇÃO.....	27
4 MATERIAL E MÉTODOS.....	29
4.1 Utilização do modelo de previsão de Santos Pinto et al. (2002) e do modelo modificado de Kushalappa et al. (1984).....	30
4.2 Avaliação da intensidade da doença e da produção.....	32
4.3 Obtenção das variáveis ambientais.....	32
4.4 Análise dos dados.....	33
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	34
5.1 Correlação entre os dados observados e os previstos.....	34
5.2 Curvas de progresso da ferrugem nos anos agrícolas de 2002/03 e 2003/04.....	35
5.2.1 Ano agrícola 2002/03.....	35
5.2.2 Ano agrícola 2003/04.....	41
5.3 Área abaixo da curva de progresso da incidência (AACPI) e severidade (AACPS) da ferrugem no ano agrícola 2002/03 e 2003/04.....	42
5.3.1 Ano agrícola 2002/03.....	42
5.3.2 Ano agrícola 2003/04.....	45
5.4 Épocas de aplicação dos fungicidas.....	46
6 CONCLUSÃO.....	52

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	53
CAPÍTULO 3 - Monitoramento da distribuição de uredósporos de <i>Hemileia vastatrix</i> no ar em Lavras-MG.....	56
1 RESUMO.....	57
2 ABSTRACT.....	58
3 INTRODUÇÃO.....	59
4 MATERIAL E MÉTODOS.....	61
4.1 Avaliação da intensidade da doença.....	62
4.2. Obtenção das variáveis ambientais.....	62
4.3 Análise dos dados.....	63
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	64
5.1 Dispersão dos uredósporos de <i>Hemileia vastatrix</i>	64
5.2 Quantidade de uredósporos na duas alturas e horários de coleta.....	68
5.3 Correlação entre quantidade de uredósporos no ar e variáveis ambientais.....	70
5.4 Correlação entre concentração de uredósporos no ar e intensidade da ferrugem.....	73
6 CONCLUSÕES.....	75
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	76
CAPÍTULO 4 - Monitoramento da distribuição de conídios de <i>Cercospora coffeicola</i> no ar em Lavras, MG.....	78
1 RESUMO.....	79
2 ABSTRACT.....	80
3 INTRODUÇÃO.....	81
4 MATERIAL E MÉTODOS.....	83
4.1 Avaliação da intensidade da doença.....	84
4.2 Obtenção das variáveis ambientais.....	84
4.3 Análise dos dados.....	85
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	86
5.1 Alturas de coleta e horários das amostragens.....	86
5.2 Relação entre esporos no ar e condições ambientais.....	92
5.3 Correlação entre número de esporos no ar e incidência da cercosporiose.....	93
6 CONCLUSÕES.....	95
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	96

RESUMO

OLIVEIRA, Frederico Alberto de. **Validação de modelos de previsão da ferrugem do cafeeiro e monitoramento de esporos de *Hemileia vastatrix* e *Cercospora coffeicola* em Lavras, MG. 2005. 98p. Tese (Doutorado em Fitopatologia)-Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG***

O uso dos modelos de previsão é uma alternativa para otimizar e racionalizar o uso de fungicidas. No desenvolvimento desses modelos, além do hospedeiro, da doença e das variáveis ambientais envolvidas no processo, pode-se ainda considerar a presença de inóculo no ar. Para a ferrugem (*Hemileia vastatrix*) e a cercosporiose (*Cercospora coffeicola*) do cafeeiro, alguns aspectos necessitam ser elucidados antes de se implementar esses modelos. Conduziram-se estudos com a cultivar Catuaí Vermelho, na região de Lavras, MG, para avaliar a viabilidade de dois modelos de previsão no controle da ferrugem do cafeeiro: o desenvolvido por Santos Pinto et al. em 2002 e o modificado daquele desenvolvido por Kushalappa et al. em 1984. Os tratamentos consistiram da aplicação de fungicidas protetor (oxicloreto de cobre) e sistêmico (epoxiconazole), segundo o calendário fixo ou segundo cada modelo de previsão. Os tratamentos com o fungicida protetor com base nos modelos de previsão resultaram em menores valores de “área abaixo da curva de progresso da doença” (AACPD) e menor número de aplicações. Com fungicida sistêmico, obteve-se menor valor de AACPD nos tratamentos baseados nos dois modelos de previsão, com o mesmo ou menor número de pulverizações que nos baseados no calendário fixo. Para obter mais informações sobre a epidemiologia da ferrugem e da cercosporiose, monitorou-se a flutuação de esporos dos respectivos patógenos no ar, com o coletor “Rotorod modelo 20”, posicionado a 1,5 e 3,0 metros do solo, na área central da lavoura. Coletaram-se os esporos de setembro de 2003 a novembro de 2004, em intervalos de 15 dias, durante 8 horas diárias, com substituições a cada 2 horas. A quantidade de uredósporos coletados relacionou-se ao progresso da ferrugem. Coletou-se maior número de uredósporos em abril, maio e julho, de 8:00h às 12:00h e 14:00h às 16:00h em 8:00h ambas as alturas. A quantidade de uredósporos coletados não se correlacionou com as variáveis ambientais. Coletou-se maior quantidade de conídios de *Cercospora coffeicola* de fevereiro a maio, de 10:00h às 12:00h e 14:00h às 16:00h em ambas as alturas. A quantidade de conídios coletados correlacionou-se à umidade relativa do ar entre 10:00h às 12:00h. A quantidade de conídios no ar correlacionou-se também positivamente, à intensidade da cercosporiose aos 15, 30, 45 e 60 dias anterior a cada data de coleta. Para ambos

os patógenos, as quantidades de esporos coletados nas duas alturas foram alta e significativamente correlacionadas. Assim, verificou-se que os modelos de previsão para a ferrugem do cafeeiro poderão auxiliar na tomada de decisão para aplicação racional de fungicidas na lavoura cafeeira e os resultados obtidos com monitoramento de esporos poderão auxiliar futuros trabalhos nessa área, otimizando o intervalo e o período de coleta de esporos no ar.

* Comitê Orientador: Hilário Antônio de Castro – UFLA (Orientador), Edson Ampélio Pozza – UFLA.

ABSTRACT

OLIVEIRA, Frederico Alberto de. Validation of forecast models of coffee plant rust and monitoring of spores of *Hemileia vastatrix* and *Cercospora coffeicola* in Lavras-MG. Lavras: UFLA, 2005. 98p. (Theory-Doctorate in Phytopathology) *

The use of forecast models is an alternative way to optimize and to rationalize the use of fungicides. In the development of such models, besides the host, the disease and the environmental variables involved it is necessary to consider the inocule presence in the air. In the case of coffee plant rust (*Hemileia vastatrix*) and the cercosporioses (*Cercospora coffeicola*), some aspects have to be understood before the implementation of models. A study with the cultivate red Catuaí was accomplished, in Lavras area , MG, to evaluate the viability of two forecast models for controlling coffee plant rust: the model developed by Santos Pinto et al. in 2002 and a midfield version of the model developed by Kushalappa et al. in 1984. The treatments consisted of the protecting application of fungicides (copper oxiclорide) and systemic (epoxiconazole), according to the fix calendar or according to each forecast model. The protecting fungicide treatments based in the forecast models produced smaller values of "area below the curve of progress of the disease" (AACPD) and required fewer applications. The systemic fungicide treatment produced smaller value of AACPD for the treatments based on forecast models, with the same or even less pulverization as compared to fix calendar treatment. In order to obtain more information on the rust epidemiology of cercosporioses, the flotation of spores of the respective pathogens was monitored in the air, with the collector "Rotorod model 20", positioned at 1.5 and 3.0 m of the soil, in the center of the plantation area. Spores were collected from September, 2003, to November, 2004, every 15 days, 8 hours a day, with substitutions to each 2 h. The amount of collected uredospores is linked to the progress of the rust. Larger uredospores amount was collected in April, May and July, from 08:00 to 12:00 and from 14:00 to 16:00 o'clock, in both heights. The amount of collected uredospores was not correlated to the environmental variables. Larger amount of *Cercospora coffeicola* conidia was collected from February to May, between 10:00 to 12:00 and between 14:00 to 16:00 o'clock, in both heights. The amount of collected conidia was correlated to the relative humidity of the air between 10:00 to 12:00 o'clock. The amount of conidia in the air was also correlated positively with the intensity of the cercosporioses, 15, 30, 45 and 60 days previous to each collection date. For both pathogens, the amounts of spores collected in the two heights were high

1 INTRODUÇÃO GERAL

O parque cafeeiro do Brasil é constituído por 6.084 bilhões de plantas distribuídas em 2,6 milhões de hectares (Anuário Estatístico do Café, 2002-2003). Minas Gerais é o estado que detém a maior área plantada, o que corresponde, aproximadamente, a 50% do total cultivado no Brasil, produzindo até 15,9 milhões de sacas, predominantemente do café arábica (*Coffea arabica* L.) em mais de 90% da produção.

Muitas cultivares comerciais de café recomendadas para o plantio são suscetíveis a um grande número de doenças, as quais podem causar diversos níveis de perdas. No Brasil, as doenças mais importantes são a ferrugem e cercosporiose, cujos agentes etiológicos são os fungos *Hemileia vastatrix* Berk & Br e a *Cercospora coffeicola* Berk & Cooke, respectivamente. A intensidade dessas doenças está associada ao ambiente, ao patógeno, ao hospedeiro e ao manejo da cultura (Mansk, 1990; Zambolim et al., 1997) e, para o controle dessas doenças, os cafeeiros são tratados sistematicamente com fungicidas.

Vários são os problemas decorrentes do uso de produtos químicos na agricultura, como aumento do custo de produção, intoxicação de aplicadores, contaminação do ambiente pela deriva e lixiviação dos excessos e surgimento de isolados resistentes aos princípios ativos. Além desses problemas, as constantes mudanças nas condições ambientais das diferentes regiões onde o cafeeiro é cultivado requerem o estabelecimento de critérios científicos visando a melhor época de aplicação de fungicidas (Garçon et al., 2000). Assim, tem havido procura crescente por práticas e estratégias de controle eficientes, racionais e economicamente viáveis da ferrugem do cafeeiro (Garçon et al., 2004; Santos et al., 2004; Talamini, 1999; Santos Pinto et al., 2002; Kushalappa et al., 1984).

Nesse contexto, surgem os sistemas de previsão de doenças como uma alternativa para otimizar e racionalizar o uso de produtos fungicidas. Esses sistemas auxiliam na tomada de decisão, por indicarem os períodos favoráveis de ocorrência das doenças e, assim, os momentos mais apropriados à realização das pulverizações (Souza et al., 2002; Ferreira & Barreto, 2001; Katsurayama & Boneti, 1996). No desenvolvimento de tais sistemas, além do hospedeiro, da doença e das condições ambientais envolvidas no processo, pode-se ainda considerar a presença de inóculo no ar. Há vários trabalhos, em diferentes patossistemas, em que se buscou desenvolver sistemas de previsão baseados na quantidade de esporos no ar (Becker, 1979; Campbell & Madden, 1990; Hausbeck & Pennypacker, 1991; Aylor, 1986; Aylor et al., 1982). No entanto, muitos aspectos necessitam ser elucidados quanto à dispersão de esporos para o desenvolvimento de futuros modelos de previsão para a ferrugem e a cercosporiose.

Para que um sistema de previsão seja divulgado entre os produtores, deve ter confiabilidade, simplicidade de manuseio, vantagens econômicas e ecológicas e deve ser validado durante vários anos em diferentes locais e com diferentes cultivares (Bergamin Filho & Amorim, 1995). Assim, é importante comparar o esquema de pulverizações ditado pelos modelos de previsão com outros esquemas, principalmente o calendário local de aplicação de fungicidas. Neste contexto, esse trabalho, conduzido nas condições de Lavras, MG, objetivou:

- avaliar a viabilidade dos modelos de previsão desenvolvidos por Kushalappa et al. (1984) e Santos Pinto et al. (2002), para o controle da ferrugem do cafeeiro, utilizando fungicidas sistêmicos e protetores;
- monitorar a concentração de uredósporos de *H. vastatrix* e de conídios de *C. coffeicola*.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Ferrugem do cafeeiro

A ferrugem do cafeeiro (*H. vastatrix*) passou a ser uma das enfermidades mais importantes no contexto mundial depois que infectou os cafezais brasileiros, em 1970, vindo daí a atingir toda a cafeicultura das Américas em menos de 20 anos (Mansk, 1990). O fungo é um patógeno biotrófico da classe Basidiomycetes, ordem uredinales, família pucciniaceae e gênero *Hemileia* (Kirk et al., 2001).

A presença de sintomas de ferrugem na lavoura provoca queda prematura das folhas e isso leva ao abortamento de flores com consequente queda na produção nos anos seguintes. As plantas podem ainda apresentar a morte dos ponteiros e a produção do cafeeiro ficar comprometida em mais de 50% (Mask, 1990; Zambolim et al., 1997). Devido a isso, diversos pesquisadores salientaram a importância do conhecimento dos fatores biológicos e ambientais que governam o desenvolvimento da ferrugem, como base para o seu controle (Oseguera, 1980; Kushalappa et al., 1983; Maffia et al., 1999; Santos Pinto et al., 2002; Vale et al., 2000).

Dentre as condições ambientais ideais para o desenvolvimento da doença, destacam-se temperaturas na faixa de 20°C a 24°C com presença de água para a germinação dos esporos, chuvas frequentes e espaçamentos mais fechados (Zambolim et al., 2002). Quanto a disseminação, observou-se que o transporte dos propágulos do fungo a longas distâncias é favorecido pelo vento (Martinez et al., 1975; Figueiredo et al., 1977). No entanto, dentro e entre plantas, a chuva exerce o papel mais importante, tanto pelo respingo da água, de uma folha para

outra, como pelo escorrimento das gotas no tecido foliar, arrastando os uredósporos para outros sítios de infecção (Nutman et al., 1960; Mansk, 1990).

Em anos com maior desfolha, seja devido à infecção pela ferrugem ou em consequência de alta produção no ciclo anterior, observa-se uma modificação no comportamento da ferrugem. Geralmente ocorre um retardamento no início do progresso da doença e a sua taxa é reduzida. No entanto, nas lavouras que permanecem enfolhadas após a colheita e com perspectiva de boa safra, o início do progresso da doença é antecipado e apresenta maior taxa de progresso. Esse último caso, portanto, exige maior atenção do cafeicultor para o controle adequado da doença (Miguel et al., 1977; Mansk et al., 1984; Miguel et al., 1985; Zambolim et al., 2002).

No do controle químico, os fungicidas à base de cobre (protetores) ainda são os mais utilizados (Kushalappa et al., 1984; Cunha et al., 2001; Carvalho et al., 2003; Stevanato et al., 2004). Os fungicidas sistêmicos, por seu efeito curativo e erradicante, com destaque para os triazóis (Freitas et al., 2003; Almeida et al., 2004; Santinato et al., 2004), são indicados para condições em que a ferrugem já se encontra presente. Em geral, o índice admitido para o início do controle pode variar de 5% a 20% de incidência da doença na lavoura (Matiello & Mansk, 1984; Mansk, 1990; Godoy et al., 1995; Cunha et al., 2001).

Para garantir o êxito do controle químico é indispensável a aplicação do fungicida no momento apropriado, de acordo com o ciclo da epidemia e sua variação ao longo do ano produtivo. Grande parte do insucesso no controle da ferrugem deve-se, sobretudo, à não adequação das medidas de controle químico às variações do progresso da doença ao longo do ano devido, principalmente, às variações ambientais (Mansk, 1990; Shalfoun & Carvalho et al., 1999). Com isso, são necessárias outras alternativas com embasamento científico e fundamentadas em ações previsíveis, como o uso de sistemas de previsão.

2.2 Cercosporiose do cafeeiro

A cercosporiose do cafeeiro (*C. coffeicola*) é uma das doenças mais antigas do cafeeiro, tanto na América Sul quanto na Central. No campo, quando ocorre alta intensidade da doença, observa-se queda no rendimento em até 30%.

As condições ideais para a ocorrência da doença são alta umidade relativa e temperaturas entre 10°C a 25°C (Zambolim et al., 1997); o período de maior incidência da doença no campo foi observado entre janeiro e abril (Matiello, 1991) e entre maio e julho (Talamini, 1999; Santos et al., 2004). Além das condições ambientais, a condição nutricional da planta também influencia na intensidade da doença. Ou seja, lavouras com deficiência hídrica prolongada e fertilização insuficiente e desequilibrada apresentam maior progresso da doença no campo (Pozza, 1999; Talamini et al., 1999; Santos et al. 2004). Nesse caso, a produção é reduzida e a infecção direta nos frutos afeta negativamente a qualidade do café.

Essa doença tem causado grandes prejuízos em viveiros ou em lavouras já implantadas. Em condições de viveiro, a doença pode ocasionar intensa desfolha, redução no desenvolvimento e raquitismo das mudas. No campo, principalmente em lavouras expostas ao sol no período da tarde, formadas em solos argilosos, arenosos ou compactados e com deficiência hídrica, a doença é mais severa (Carvalho & Chalfoun, 1998; Talamini, 1999; Santos et al., 2004). Em decorrência disso, os frutos infectados aceleram o processo de maturação, caindo antes da colheita (Zambolim et al., 1997).

Vários pesquisadores observaram bons resultados no controle da cercosporiose com fungicidas sistêmicos. Entre o grupo dos sistêmicos, as estrobirulinas (trifloxistrobin, azoxistrobin e piraclostrobin), os triazóis (difenoconazol e tebuconazole) e os benzimidazóis (carbendazim e tiofanato metílico) são utilizados separadamente ou em combinações com outros

fungicidas para o controle simultâneo com a ferrugem (Carvalho et al., 2003; Freitas et al., 2003; Almeida et al., 2004; Santinato et al., 2004; Stevanato et al., 2004). Nesse aspecto, o controle químico da cercosporiose fica dependente das épocas recomendadas para o controle da ferrugem.

Existem trabalhos relacionando a intensidade da doença com lâminas de irrigação e deficiência nutricional (Talamini, 1999; Pozza, 1999; Boldine, 2002), porém, a literatura é escassa com relação a concentração de conídios do fungo no ar e a quantidade de doença.

2.3 Características de um modelo de previsão

Todo modelo matemático que tenha a capacidade de prever a ocorrência inicial de uma doença, baseado em informações ambientais, do hospedeiro ou do patógeno, pode ser considerado como um modelo de previsão (Bergamin Filho & Amorim, 1995). Vários autores salientam que o uso de equações que predizem o desenvolvimento da doença poderia ser de grande ajuda no manejo integrado de doenças de plantas para auxiliar na tomada de decisão sobre a necessidade ou não de se adotar uma ou outra medida de controle, em função da possibilidade de ocorrer uma epidemia (Berger, 1977; Katsurayama & Boneti, 1986). Dessa forma, os produtores são orientados sobre quando iniciar os tratamentos, o intervalo de aplicação e ainda a sua frequência em diferentes épocas do ano (Campbell & Madden, 1990)

A literatura registra inúmeros sistemas de auxílio à tomada de decisão para diversos patossistemas (Katsurayama & Boneti, 1996; Magarey et al., 2002; Garçon et al., 2004; Santos Pinto et al., 2002). Campbell & Madden (1990) mencionam mais de 70 modelos desenvolvidos para a previsão de doenças, entretanto, são poucos os sistemas implementados e comercializados. A maioria,

no entanto, nunca deixou os laboratórios acadêmicos e poucos foram utilizados pelo produtor (Bergamin Filho & Amorim, 1995).

A justificativa para o uso de sistemas de previsão envolve aspectos econômicos, ambientais e relacionados com a própria doença em estudo. Existem algumas situações em que o uso de sistemas de previsão não é justificável. Isso ocorre quando a doença em estudo caracteriza-se por: (i) sempre apresentar importância na cultura, favorecendo o uso de outras ferramentas de controle como o calendário fixo de aplicação; (ii) nunca apresentar importância; (iii) não ter controle econômico conhecido; (iv) ser controlada fácil e economicamente (Campbell & Madden, 1990; Bergamin Filho & Amorim, 1995).

A ferrugem do cafeeiro reúne importantes pré-requisitos para o desenvolvimento de um sistema de previsão, tais como: tratar-se de uma doença economicamente importante, e que ocorre em determinado estágio fisiológico da cultura e ou controle é conhecido e de alto custo para o produtor.

O uso do sistema deverá trazer aos agricultores benefícios reais, que não seriam obtidos na ausência do mesmo. Para que o sistema de previsão seja bem sucedido existe uma série de características indispensáveis discutidas por Campbell & Madden (1990): (i) confiabilidade – o modelo deve estar baseado em sólidos dados biológicos e ambientais, além de ter sido testado e aprovado para o objetivo específico na região a ser implementado; (ii) simplicidade – quanto mais simples o modelo, maior a chance de sua aceitação pelos agricultores; (iii) importância – a doença considerada deve ter ocorrência esporádica além de ser um importante fator limitante da produção; (iv) utilidade – a doença em questão deve ter controle econômico conhecido, além de metodologia de detecção e avaliação já desenvolvida; (v) disponibilidade – o monitoramento do ambiente, do patógeno e ou doença deve ser facilmente acessível; (vi) patossistema múltiplo – o sistema deve oferecer suporte para a

tomada de decisão considerando mais de uma doença ou praga; (vii) custo - o uso do sistema deve ter um custo, para o agricultor, compatível com o benefício potencial advindo de seu uso.

2.3.1 Variáveis empregadas na construção de sistemas de previsão

As variáveis empregadas na construção de sistemas de previsão podem ser agrupadas de acordo com as características do patossistema a que elas se relacionam. Entre os grupos sugeridos por Campbell & Madden (1990), as variáveis baseadas em características do patógeno, do ambiente, da doença ou hospedeiro, são bastante estudadas em muitos trabalhos para construção e validação de sistemas de previsão.

Vários modelos de previsão são baseados exclusivamente nas informações meteorológicas. Muitos desses trabalhos foram desenvolvidos em outros países e são testados em regiões do Brasil com pouca ou nenhuma alteração (Katsurayama & Boneti, 1996).

Alguns fatores ambientais são imprescindíveis para o desenvolvimento de doenças, além de influenciarem a intensidade com que as mesmas incidem nas culturas. Dentre esses fatores, merecem destaque a temperatura, a umidade relativa do ar, a precipitação e a duração do molhamento foliar (Sutton, 1988). Exemplos disso são os sistemas de previsão desenvolvidos para o controle das principais doenças de algumas hortaliças de importante valor econômico. Nesses casos, a temperatura, a precipitação e o molhamento foliar são as principais variáveis utilizadas, juntamente com os dias acumulados de severidade (Katsurayama & Boneti, 1996; Ferreira & Barreto, 2001; Souza, 2002).

As variáveis ambientais também são utilizadas para o estudo do processo de esporulação da ferrugem do cafeeiro. Para vários patossistemas, pode ser desenvolvido um modelo de previsão, considerando a esporulação como uma

função de duração da alta umidade relativa (>95%) ou molhamento foliar e temperatura (Kushalappa & Eskes, 1989; Kushalappa, 1994). Existem trabalhos que relacionam as variáveis ambientais com a quantidade de esporos do fungo (Figueiredo et al., 1977; Martinez et al., 1977) e não com a intensidade de doença na planta. Outros modelos também foram desenvolvidos com o objetivo de prever o período latente e o período de incubação, utilizando variáveis ambientais (Moraes et al., 1976; Kushalappa & Eskes, 1989).

Quando a tomada de decisão baseia-se na doença, a incidência e a severidade de doença são utilizadas como variáveis-chave. A incidência, por ser de fácil avaliação, é preferida para auxiliar à tomada de decisão.

No estado de São Paulo, dois critérios, ambos baseados na incidência do cancro cítrico, cujo agente etiológico é a bactéria *Xanthomonas axonopodis* pv. *Citri*, foram estabelecidos para a erradicação de plantas cítricas com sintomas da doença (Jesus Júnior et al., 2003). Outro exemplo é o uso de modelos de previsão, baseados no monitoramento da incidência da mancha-castanha (*Cercospora arachidicola*) e mancha-preta-do-amendoim (*Cercosporidium personatum*), no Brasil, reduzindo a necessidade de fungicidas para o controle dessas doenças em comparação ao tratamento baseado num calendário fixo de pulverização (Morais, 1999).

A ferrugem do cafeeiro (*Hemileia vastatrix*) é outra importante doença em que a decisão de quando iniciar o controle químico por meio de pulverização foliar baseia-se na incidência da ferrugem nas folhas. Por isso, é necessário o acompanhamento do progresso da doença durante todo o ciclo de produção da cultura (Zambolim et al., 2002).

Ainda baseado em variáveis da doença, o sistema EIPRE é o mais completo, informando diferentes formas de controle no combate a seis doenças e três pragas (afídeos) do trigo. O programa oferece suporte à tomada de decisão

ao agricultor, informando quando o tratamento trará lucro e quando trará prejuízo (Bergamin Filho & Amorim, 1995).

O estágio fenológico da cultura também tem sido um parâmetro útil, no sentido de auxiliar no controle de doenças e tornar o calendário fixo de controle menos arbitrário. Alguns trabalhos trazem uma abordagem inovadora entre as outras citadas para a tomada de decisão (Lopes et al., 1994; Bergamin Filho et al., 1997). Os trabalhos baseiam-se no fato da produção ser função primária da área sadia e fotossintetizante das folhas e não da área doente e necrosada, como considerado em parágrafos anteriores. A recomendação de qual produto aplicar ou qual medida de controle tomar dependerá dos patógenos ou pragas envolvidas na redução da área foliar sadia ou outras variáveis explanatórias de quantificação (Bergamin Filho et al., 1997). Embora promissora, na literatura ainda não há trabalhos disponíveis que demonstrem resultados práticos.

No Brasil, os modelos baseados nas características do patógeno, do ambiente, da doença e hospedeiro também têm sido empregados para explicar a evolução da doença e auxiliar no controle da ferrugem. Garçon et al. (2004) avaliaram o controle da ferrugem do cafeeiro baseando-se no valor de severidade, calculada em função do molhamento foliar e temperatura média durante o período de molhamento. O sistema baseado no valor de severidade da ferrugem (VSF) foi tão eficiente quanto o calendário, para o controle da ferrugem do cafeeiro, porém, com economia de pulverização na lavoura.

Uma alternativa aos modelos já desenvolvidos, embora ainda pouco utilizada em fitopatologia, são as redes neuronais, as quais apresentam grande potencial no reconhecimento de padrões e previsão de séries temporais por oferecerem um método mais próximo dos processos biológicos (Pozza, 1998). As redes são sistemas de inteligência artificial capazes de simular o funcionamento do cérebro humano, por meio de “mecanismos de aprendizado”, apresentando, portanto, a capacidade de aprender e a possibilidade de serem

treinadas para uma determinada situação de interesse (Mizubuti et al., 1994; Pozza, 1998).

Santos Pinto et al. (2002) descreveram a epidemia da ferrugem do cafeeiro com modelos construídos a partir das redes neuronais elaboradas com dados de incidência da ferrugem, variáveis ambientais e produção do cafeeiro, coletados em Lavras no estado de Minas Gerais. Séries temporais da incidência também foram empregadas na elaboração de redes. As redes foram eficientes para descrever a epidemia a partir de séries temporais com os dados de incidência das três quinzenas anteriores. A equação é descrita como $y = 0,88 + 1,04IF_{15} - 0,29IF_{45}$ ($R^2=0,85$), em que y é o valor de incidência prevista, IF_{15} e IF_{45} são a incidência da ferrugem observada na primeira quinzena e terceira quinzena anteriores a avaliação, respectivamente. O emprego de séries temporais, baseado na incidência e severidade da doença pode facilitar descrever ou prever a epidemia da ferrugem. Avaliar a intensidade da doença é mais fácil para o produtor ou agente de extensão quando comparado à coleta de variáveis ambientais. Além do mais, em regiões com relevo irregular, seria necessário implantar sensores de coleta de variáveis ambientais ao longo do declive (Santos Pinto et al., 2002).

Um modelo que agrupa e quantifica os fatores biológicos (patógeno e hospedeiro) e meteorológicos que influenciam o desenvolvimento da ferrugem do cafeeiro foi proposto por Kushalappa et al. (1984). Esses fatores foram transformados em equivalentes de processos monocíclicos de *H. vastatrix* e, finalmente, com base no inóculo, expresso como proporção de área foliar com ferrugem, foi calculado um parâmetro multiplicativo designado RSLPM (razão de sobrevivência líquida no processo monocíclico). Com base nessas variáveis foi formulada uma equação de regressão: $y = 0,00044 + 14,8 RSLPM - 2511,2 RSLPM^2$ ($R^2=0,76$); em que y é a taxa de infecção com base na área foliar com

ferrugem e RSLPM a razão de sobrevivência líquida para o processo monocíclico.

Além desse modelo, Kushalappa et al. (1984) desenvolveram um esquema simples de previsão da ferrugem para o estado de Minas Gerais. A decisão de controle da doença com fungicida pode ser baseada no mês do ano ou na RSLPM referente ao período amostral do cafeeiro, juntamente com a carga pendente e a intensidade de doença no respectivo período. Todas essas variáveis foram agrupadas em uma tabela. Na determinação de épocas adequadas de aplicação de fungicidas protetores e sistêmicos, Torrones (1984) verificou o mesmo nível de controle da doença utilizando um calendário local de aplicação e o modelo simples de previsão desenvolvido por Kushalappa et al. (1984). Além disso, menor número de aplicação dos fungicidas foi obtido com o uso do modelo.

Muitos dos trabalhos têm o objetivo de obter um modelo de previsão eficiente para auxiliar no controle de doenças, porém muitos deles, embora com eficiência comprovada, são dificilmente aplicáveis em condições de campo, devido à quantidade de informações necessárias para sua implementação.

2.4 Monitoramento de propágulos fúngicos

A concentração ou a quantidade de esporos dispersos no ar são importantes componentes para o progresso de epidemias de doenças de plantas em um período próximo ou subsequente. Contudo, o sucesso dessa quantificação depende do conhecimento do patossistema, tipo de propágulos e dos métodos utilizados na quantificação (Campbell & Madden, 1990).

Há três tipos básicos de instrumentos utilizados para detectar e estimar a quantidade de propágulos no ar: um tipo gravitacional, no qual as partículas sedimentam em uma superfície horizontal, sob influência da gravidade; e dois

tipos de coletores inerciais, baseados no impacto e na sucção de propágulos, nos quais a amostra coletada é obtida em volume de esporos por metro cúbico de ar.

No método de impacto, os propágulos no ar sedimentam em uma superfície estacionária ou em movimento. Nesse método, o coletor de esporos tipo Rotorod é utilizado com grande eficiência, mesmo com baixa concentração de esporos no ar. O coletor é composto, basicamente, por duas barras verticais que giram sobre um eixo a uma rotação constante. Essas barras são untadas com líquido adesivo para reter os esporos do fungo. Outro tipo é o coletor de esporos por sucção, como o Burkhard. Nesse tipo de aparelho, os esporos podem ser quantificados por minuto, horas e dias. Já em relação ao Rotorod, para avaliar a quantidade de esporos em um longo período, é necessária a troca constante das barras de coleta. No entanto, o Rotorod é mais simples para manusear e de menor custo em relação ao Burkhard (Campbell & Madden, 1990).

Com o propósito de descrever e quantificar epidemias, muitos autores têm conduzido trabalhos para monitorar esporos fúngicos em vários patossistemas. A quantidade de inóculo presente na lavoura é, muitas vezes, estimado pelo número de esporos coletados por esses aparelhos ou outros mais simples (Campbell & Madden, 1990; Hausbeck & Pennypacker, 1991; Panisson et al., 2002; Reis & Mário, 2003).

Muitos tipos de esporos dispersos no ar são correlacionados com o progresso de suas respectivas epidemias. Burleigh et al. (1969), por exemplo, sugeriram a contagem de esporos aéreos de *Peronospora recondida* fsp. *tritici* para prever o surgimento de epidemias no campo. Esses autores verificaram alta correlação entre o número de urédias e a quantidade de esporos coletados. Em outro trabalho, Hausbeck & Pennypacker (1991) estudaram a relação entre época de cultivo de gerânio em casa de vegetação e a quantidade de conídios de *Botrytis cinerea* no ar. Durante cada atividade no local, os autores verificaram a ocorrência elevada de conídios no ar, favorecendo, posteriormente, o aumento

da incidência da doença. Xu et al. (2000) também verificaram a relação entre o aumento da quantidade de conídios de *B. cinerea* e o aumento de folhas de morango infectadas.

No Brasil, a importância dos esporos de *Diplodia macrospora* e *D. maydis* dispersos no ar foi observada por Reis & Mario (2003). Os conídios desses fungos estavam diretamente envolvidos no processo infeccioso de espigas de milho durante a estação de cultivo. A partir dos restos culturais infectados, os esporos eram liberados dos picnídios e levados pelo vento aos sítios de infecção.

Nas condições da Serra Gaúcha, no Rio Grande do Sul, os esporos de *Peronospora viticola* são encontrados durante todo o ano sob parreiras de videira. No entanto, a maior quantidade foi coletada no mês de outubro, com períodos de chuva e frio durante a noite. Os valores mais elevados de esporos coincidiram com o aumento de massa verde da videira e dos sinais do fungo no tecido foliar (Mendes et al., 2003).

Muitos esporos fúngicos são coletados no ar em resposta a variações ambientais. Em determinadas épocas de monitoramento de conídios de *B. cinerea*, pode-se observar correlação positiva significativa do número de conídios com a temperatura e umidade relativa do ar. O contrário é verificado para o período de molhamento foliar, ou seja, quanto maior o período de molhamento no tecido da planta menor a quantidade de esporos no ar (Xu et al., 2000). Além do molhamento foliar, correlação negativa significativa foi observada entre a umidade relativa do ar e a quantidade de esporos de *Zygothiala jamaicensis* presentes no ar em pomares de maçã (Sutton, 1990).

A quantidade de ascósporos de *Gibberella zeae* presentes no ar em lavouras de trigo é um indicativo do potencial da doença no campo. Mas, para que a epidemia seja prevista, é necessário que ocorram também períodos prolongados de molhamento das espigas de trigo (Panisson et al., 2002).

Em estudos sobre as variáveis ambientais na disseminação do fungo *H. vastatrix*, Martinez et al. (1975) comprovaram a importante participação do vento no transporte de uredósporos do fungo. Esses autores utilizaram um coletor volumétrico (Burkhard) adaptado a um avião agrícola. Os uredósporos do fungo foram encontrados até 1.000 metros de altitude e estes apresentaram boa capacidade de germinação. A presença de uredósporos do fungo no ar também foi observada por Figueiredo et al. (1977) ao longo de dois anos de monitoramento em lavouras cafeeiras, com picos no mês de maio, próximo ao período de máximo progresso da doença.

3 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, G.R.R. et al. Controle da ferrugem do cafeeiro (*Hemileia vastatrix*) em doses crescentes de Verdadero 600WG, Actara 250WG, Alto 100 e Baysiston GR. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIRAS, 30., 2004, São Lourenço, MG. **Resumos Expandidos...** Rio de Janeiro: IBC, 2004. p.167-167.

AYLOR, D.E. A framework for examining inter-regional aerial transport of fungal spores. *Agricultural Meteorology*, v.38, p.263-288, 1986.

AYLOR, D.E.; TAYLOR, G.S.; RAYNOR, G.S. Long-range transport of tobacco blue mold spores. *Agricultural Meteorology*, v.27, p.217-232, 1982.

BECKER, S. **Estudios sobre la propagación de las uredosporas de *Hemileia vastatrix* Berk. & Br., agente causal de la roya, en Kenia.** Eschborn, Germany: Sociedad Alemana de Cooperacion Técnica, 1979. 78p.

BERGAMIN FILHO, A; AMORIM, L. Sistema de previsão e avisos. In: BERGAMIN FILHO, A; KIMATI, H; AMORIM, L. **Manual de fitopatologia: princípios e conceitos.** 3.ed. São Paulo: Agronômica Ceres, 1995. p.627-646.

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

BERGER, R.D. Application of epidemiological principles to achieve plant disease control. *Annual Review Phytopathology*, v.15, p.165-183, 1977.

BOLDINI, J.M. **Epidemiologia da ferrugem e da cercosporiose em cafeeiro irrigado e fertirrigado.** 2002. 67p. Dissertação (Mestrado em Fitopatologia)- Universidade Federal de Lavras, Lavras.

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

CARVALHO, V.L.; CHALFOUN, S.M. Manejo integrado das principais doenças do cafeeiro. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.19, n.193, p.27-35, 1998

CARVALHO, V.L.; CHALFOUN, S.M.; RIBEIRO, J.N.R. Controle químico e simultâneo da ferrugem (*Hemileia vastatrix* Berk. & Br.) e cercosporiose (*Cercospora coffeicola* Berk. & Cooke) do cafeeiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA CAFEIEIRA, 29., 2003, Araxá, MG. **Resumos Expandidos...** Rio de Janeiro: IBC, 2003. p.90-91.

CUNHA, R.L. et al. Efeito de tratamentos químicos no controle da ferrugem (*Hemileia vastatrix* Berk. & Br.) e na preservação de enfolhamento do cafeeiro. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA CAFEIEIRA DO SUL DE MINAS GERAIS, 2., 2001, Lavras, MG. **Anais...** Lavras, 2001. p.183-189.

FERREIRA, M.R.; BARRETO, M. Desenvolvimento de um sistema de previsão de mancha púrpura (*Alternaria porri*) em cebola (*Allium cepa* L.). **Summa Phytopathologica**, v.27, n.3, 2001.

FIGUEIREDO, P. et al. Presença de uredósporos de *Hemileia vastatrix* no ar e sua importância sobre a epidemiologia da ferrugem. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIEIRAS, 5., 1977, Guarapari-ES. **Anais...** Rio de Janeiro: IBC, 1977. p.87.

FREITAS, J.L.P. et al. Uso de novos fungicidas no controle simultâneo da ferrugem e cercosporiose no cafeeiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA CAFEIEIRA, 29., 2003, Rio de Janeiro. **Anais ...** Rio de Janeiro: IBC, 2003. p.89-90.

GARÇON, C.L.P. et al. Controle da ferrugem do cafeeiro com base no valor da severidade. **Fitopatologia Brasileira** Brasília, v.29, n.5, p.486-491, 2004.

GARÇON, C.L.P. et al. Modelo de previsão da ferrugem (*Hemileia vastatrix* Berk. & Br.) do cafeeiro (*Coffea arabica* L.). In: SIMPÓSIO DE PESQUISAS DOS CAFÉS DO BRASIL, 1., 2000, Poços de Caldas-MG. **Resumos Expandidos...** Poços de Caldas, 2000. p.230-234.

GODOY, C.V.; BERGAMIN FILHO, A.; SALGADO, C.L. Doenças do cafeeiro (*Coffea arabica* L.). In: KIMATI, H. et al. **Manual de fitopatologia: princípios e conceitos**. 3.ed. São Paulo: Agronômica Ceres, 1995. p.184-200.

HAUSBECK, M. K.; PENNYPACKER, S. P.. Influence of grower activity and disease incidence on concentrations of airborne conidia of *Botrytis cinerea* among geranium stock plants. *Plant Dis.*, v.75, n.8, p.798-803, 1991.

KATSURAYAMA, Y.; BONETI, J. I. S. Viabilidade do uso de sistema de previsão para o controle da requeima da batateira na região de São Joaquim, SC. *Fitopatologia Brasileira*, Brasília, v.21, n.1, p.105-109, 1996.

KIRK, P.M. et al. *Dictionary of the Fungy*. 9thed. CAB International, 2001. 655p.

KUSHALAPPA, A.C. Epidemiologia da ferrugem do cafeeiro sob alta densidade de plantio: um enfoque de sistema. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE CAFÉ ADENSADO, 1994, Londrina. *Anais...* Londrina: IAP, 1994. p.131-147.

KUSHALAPPA, A.C.; AKUTSU, M.; LUDWIG, A. Application of survival ratio for monocyclic process of *Hemileia vastatrix* in predicting coffee rust infection rates. *Phytopathology*, v.73, p.96-103, 1983.

KUSHALAPPA, A. C.; ESKES, A. B. Advances in coffee rust research. *Annual Rev. Phytopathology*, v.27, p.503-531, 1989.

KUSHALAPPA, A.C. et al. Equations for predicting the rate of coffee rust development based on net survival ratio for monocyclic process of *Hemileia vastatrix*. *Fitopatologia Brasileira*, Brasília, v.9, p. 255-271, 1984.

LOPES, D.B.; BERGER, R.D.; BERGAMIN FILHO, A. Absorção da área foliar sadia (HAA): uma nova abordagem para a quantificação de dano e para o manejo integrado de doença. *Summa phytopathologica*, v.20, p.143-51, 1994.

MAFFIA, L.A. et al. Incidence-severity relationships on the pathosystem *Coffea arabica* L. – *Hemileia vastatrix* Berk. & Br. *Plant Disease*, v.83, p.186-188, 1999.

MAGAREY, R. D. et al. Decision support systems: quenching the thirst. *Plant Disease*. v.86, p.4-14, 2002.

MANSK, Z. Doenças do cafeeiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 16., Espírito Santo do Pinhal: Faculdade de Agronomia e Zootecnia. *Resumos Expandidos...* Rio de Janeiro: IBC, 1990. p.61-77.

MANSK, Z.; MATIELLO, J.B. Efeito da produção, nível de desfolha e inóculo residual sobre a evolução da ferrugem do cafeeiro no Estado do Espírito Santo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 11., 1984, Londrina, PR. **Resumos Expandidos...** Rio de Janeiro: IBC, 1984. p.41-43.

MARTINEZ, J. A.; PALAZZO, D. A.; KARAZAWA, M. Importance of the wind in the release and dissemination of spores fo *Hemileia vastatrix*. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v.2, p.35-42, 1977.

MARTINEZ, J. A. et al. Presença de esporos de *Hemileia vastatrix* Berk. & Br., agente causal da ferrugem do cafeeiro, em diferentes altitudes, nas principais áreas cafeeiras dos Estados de São Paulo e Paraná (Brasil). **O Biológico**, v.41, p.77-88, 1975.

MATIELLO, J.B. **O café do cultivo ao consumo**. São Paulo: Globo, 1991. 320p.

MATIELLO, J.B.; MANSK, Z. Estudo de esquemas de controle à ferrugem do cafeeiro em lavouras com alta, média e baixa produção, no estado do Espírito Santo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 11., 1984, Londrina, PR. **Resumos Expandidos ...** Rio de Janeiro: IBC, 1984. p.107-108.

MENDES, C.S.; REIS, E.M.; SÔNEGO, O.R. Flutuação anual de esporangiosporos de *Plasmopata viticola*, no as, em Bento Gonçalves, RS. **Summa Phytophologica**, v.29, n.4, p.362-364, 2003.

MIGUEL, A.E. et al. Observações sobre os efeitos de três níveis de produção na incidência e controle da ferrugem do cafeeiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 5., 1977, Guarapari, ES. **Resumos Expandidos...** Rio de Janeiro: IBC, 1977. p.220-221.

MIGUEL, A.E.; MATIELLO, J.B.; FLORENCE, M.L.D. correlação entre o desenvolvimento da infecção da ferrugem do cafeeiro com diferentes níveis de produção, em ramos isolados. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 12., 1985, Caxambu, MG. **Resumos Expandidos ...** Rio de Janeiro: IBC, 1985. p.85-86.

MIZUBUTI, E.S.G.; MAFFIA, L.A.; SILVA, C.A.B. Potencial do uso de redes neuronais em simulação de epidemias. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v.19, p.314, 1994. Suplemento.

MORAES, S. A. Monitoramento das doenças foliares do amendoim e avisos climáticos para indicar as pulverizações com fungicidas. *O Agrônomo*, v.51, p.86-89, 1999.

MORAIS, S. A. et al. Período de incubação de *Hemileia vastatrix* em três regiões do estado de São Paulo. *Summa Phytopathologica*, v.2, p. 32-38, 1976.

NUTMAN, F.J.; ROBERTS, F.M.; BOCK, K.R. Method of uredosporos dispersal of the coffee leaf rust fungus, *Hemileia vastatrix*. Department of Agriculture, Kenya. *Trans. Brit. Mycology Soc.*, v.43, n.3, p.509-515, 1960.

PANISSON, E.; REIS, E. M.; BOLLER, W. Quantificação de propágulos de *Gibberella zeae* no ar e infecção de anteras em trigo. *Fitopatologia Brasileira*, Brasília, v.27, n.5, p.489-494, 2002.

POZZA, A.A.A. **Influência da nutrição nitrogenada e potássica na intensidade da mancha de olho pardo (*Cercospora coffeicola*) em mudas de cafeeiro.** 1999. 70p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia)-Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

POZZA, E.A. **Desenvolvimento de sistemas especialistas e redes neuronais e suas aplicações em fitopatologia.** 1998. 139p. Doutorado (Tese em Fitopatologia)-Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

REIS, E.M.; MÁRIO, J.L. Quantificação do inóculo de *Diplodia macrospora* e de *D. maydis* em restos culturais, no ar, e sua relação com a infecção em grãos de milho. *Fitopatologia Brasileira*, Brasília, v.28, n.2, p.143-147, 2003.

SANTINATO, R.; PEREIRA, E.M.; FERNANDES, A.L.T. Controle da ferrugem e cercosporiose do cafeeiro com o fungicida Sphere na cafeicultura do Cerrado – parcelamento e doses. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 30, 2004, São Lourenço, MG. **Resumos Expandidos...** Rio de Janeiro: IBC, 2004. p.35-36.

SANTOS PINTO, A.C. et al. Descrição da epidemia da ferrugem do cafeeiro com redes neuronais. *Fitopatologia Brasileira*, Brasília, v.27, p.517-524, 2002.

SANTOS, F.S.; SOUZA, P.E.; POZZA, E.A. Epidemiologia da cercosporiose em cafeeiro (*Coffea arabica* L.) fertirrigado. *Summa Phytopathologica*, v.30, n.1, p.31-37, 2004.

SHALFOUN, S.M.; CARVALHO, V.L. de. Controle químico da ferrugem (*Hemileia vastatrix* Berk. & Br.) co cafeeiro através de diferentes esquemas de aplicação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.34, n.3, p.363-367, mar. 1999.

SOUZA, R.T. et al. Validade de dois sistemas de previsão para a queima das folhas da cenoura. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v.27, n.1, p.87-90, 2002.

STEVANATO, S.G.; STEVANATO, R.G.; FREITAS, J.L.F. Mistura de Sphere com diversos micronutrientes foliares no controle da ferrugem e da cercosporiose do cafeeiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIRAS, 30., 2004, São Lourenço, MG. **Resumos Expandidos...** Rio de Janeiro: IBC, 2004. p.35-36.

SUTTON, J.C. Predictive value of weather variables in the epidemiology and management of foliar disease. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v.2, n.4, p.305-312, 1988.

SUTTON, T.B. Dispersal of conidia of *Zygothiala jamaicensis* in apple orchards. **Plant Disease**, v.74, n.9, p.643-646, 1990.

TALAMINI, V. **Progresso da ferrugem e da cercosporiose do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) irrigado e fertirrigado por gotejamento.** 1999. 89p. Dissertação (Mestrado em Fitopatologia)-Universidade Federal de Lavras, Lavras.

TORRONES, T.A.H. **Avaliação de modelo de previsão da ferrugem do cafeeiro para determinar épocas de aplicação de fungicida.** 1984. 68p. Dissertação (Mestrado em Fitopatologia)-Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

VALE, F.X.R.; ZAMBOLIM, L.; JESUS JUNIOR, W.C. Efeito de fatores climáticos na ocorrência e no desenvolvimento da ferrugem do cafeeiro. In: SIMPÓSIO DE PESQUISAS DOS CAFÉS DO BRASIL, 1, 2000, Poços de Caldas, MG. **Resumos Expandidos...** Poços de Caldas, 2000. p.171-174.

XU, X.; HARRIS, D.C.; BERRIE, A.M.; **Horticulture Research International**, East Malling, v.90, n.12, 2000.

ZAMBOLIM, L. et al. **Café (*coffea arabica* L.), controle de doenças.** In: RIBEIRO DO VALE, F. X.; ZAMBOLIM, L. **Controle de doenças de plantas:**

grandes culturas. Viçosa: UFV/Departamento de Fitopatologia; Brasília: Ministério da Agricultura e Abastecimento, 1997. v.2, p.83-179.

ZAMBOLIM, L. et al. Epidemiologia e controle integrado da ferrugem do cafeeiro. In: ZAMBOLIM, L. **O estado da arte de tecnologias na produção de café**. Viçosa: UFV/Departamento de Fitopatologia; Brasília: Ministério da Agricultura e Abastecimento, 2002. v.1, p.369-433.

CAPÍTULO 2

VALIDAÇÃO DE SISTEMAS DE PREVISÃO DA FERRUGEM DO CAFEIRO NA REGIÃO DE LAVRAS, MG.

1 RESUMO

OLIVEIRA, Frederico Alberto de. Validação de modelos de previsão da ferrugem do cafeeiro na região de Lavras, MG. In: _____. **Validação de modelos de previsão da ferrugem do cafeeiro e monitoramento de esporos de *Hemileia vastatrix* e *Cercospora coffeicola* em Lavras, MG.** 2005. 98 p. Tese (Doutorado em Fitopatologia)-Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.*

Durante os ciclos 2002/03 e 2003/04, avaliou-se a viabilidade de dois modelos de previsão no controle da ferrugem do cafeeiro na região de Lavras, MG: o desenvolvido por Santos Pinto et al. em 2002 e o modificado daquele desenvolvido por Kushalappa et al. em 1984. Os tratamentos consistiram da aplicação de fungicidas protetor (oxicloreto de cobre) e sistêmico (epoxiconazole), segundo o calendário fixo ou segundo cada modelo de previsão. A cultivar utilizada foi a Catuaí Vermelho, com 17 anos de cultivo, disposta no espaçamento 0,8 x 3,6 metros. Nos tratamentos baseados no modelo de Santos Pinto et al. (2002), as pulverizações foram realizadas quando ocorreu 5% de incidência da doença. Nos tratamentos baseados no modelo de Kushalappa et al. (1984), as pulverizações foram realizadas quando a incidência e a severidade da doença apresentavam-se entre os valores tabelados. Entre os tratamentos com o fungicida oxicloreto de cobre, aqueles baseados nos modelos de previsão obtiveram menores valores de “área abaixo da curva de progresso da doença” (AACPD) e menor número de aplicações do produto. A maior eficiência no controle da ferrugem foi obtida com os fungicidas sistêmicos. Quando se utilizou o fungicida epoxiconazole, a menor AACPD foi observada nos tratamentos baseados nos dois modelos de previsão. Além disso, o número de pulverizações foi o mesmo ou inferior àqueles baseados no calendário fixo de aplicação. Portanto, é promissor o uso desses dois modelos como ferramentas para a previsão da ferrugem do cafeeiro.

* Comitê Orientador: Hilário Antônio de Castro – UFLA (Orientador), Edson Ampélio Pozza – UFLA.

2 ABSTRACT

OLIVEIRA, Frederico Alberto de. **Validation of forecast systems of coffee tree rust in Lavras-MG region.** In: Validation of forecast systems of coffee tree rust (*Coffea arabica* L.) and observation of spore distribution of *Hemileia vastatrix* e *Cercospora coffeicola* at Lavras-MG. Lavras: UFLA, 2005. 98 p. (Thesis – Doctor in Phytopathology).

During the 2002/03 and 2003/04 cycles, the viability of two forecast models to control coffee tree rust in Lavras- MG- region were evaluated. The model developed by Santos Pinto et al. (2002) and the modified model, developed by Kushalappa et al. (1984), were compared with the fixed calendar of application of fungicides. The cultivar used was the red Catuaí, with 17 years of age, in the spacing of the 0.8 x 3.6 meters. The treatments were the protective application of fungicide (copper 50%) and systemic fungicide (epoxiconazole and triadimenol) in accordance with the fixed calendar and with the forecast models. In the treatments based on of Santos Pinto et al. (2002) model, the sprayings were carried when the incidence of the disease reached 5% of the plantation. In the treatments based on the Kushalappa et al. (1984) model, the sprayings were carried out when the incidence and the severity of the disease were in accordance with tables' values. The treatments with copper fungicide, based on the forecast models, present lower values of AUDPC (area under the disease progress curve), and the lower number of applications of the product. Systemic fungicides presented the highest efficiency in rust control. When the fungicide epoxiconazole was used, less AUDPC was observed in the treatments based on the two forecast models. Moreover, the number of sprayings was the same, or inferior, to those based on the fixed calendar application. Therefore, the use of these models is a promising tool for coffee rust forecast.

* Guidance Committee: Hilário Antônio de Castro – UFLA (Major Professor), Edson Ampélio Pozza – UFLA.

3 INTRODUÇÃO

O cafeeiro, como todas as plantas cultivadas, é suscetível a um número considerável de doenças. A ferrugem do cafeeiro, cujo agente etiológico é o fungo *Hemileia vastatrix* Berk & Br., faz parte dessas doenças sendo, economicamente, a mais importante para a cafeicultura brasileira. Uma vez instalada na cultura, as folhas infectadas caem prematuramente induzindo ao abortamento de flores. As plantas com ferrugem podem ainda apresentar a morte dos ponteiros e a produção do cafeeiro pode ser comprometida em mais de 50% (Zambolim et al., 1997). Para minimizar esses problemas torna-se necessário, em lavouras com cultivares suscetíveis, a pulverização com fungicidas.

Sabe-se dos problemas decorrentes do uso de produtos químicos na agricultura, como aumento do custo de produção, intoxicação de aplicadores, contaminação do ambiente pela deriva e lixiviação dos excessos e surgimento de isolados resistentes aos princípios ativos. Com relação à ferrugem do cafeeiro, essas implicações têm levado à procura crescente por práticas e estratégias de controle eficientes, racionais e economicamente viáveis.

Vários trabalhos destacam o emprego de sistemas de previsão como uma alternativa para otimizar o uso de fungicidas, reduzindo os fatores negativos por eles provocados e determinando o momento adequado para as aplicações e reduzindo o seu número (Garçon et al., 2004; Souza et al., 2002; Ferreira & Barreto, 2001; Katsurayama & Boneti, 1996). Um sistema de previsão foi desenvolvido por Kushalappa et al. (1984) para a ferrugem do cafeeiro, no qual o cafeicultor necessita quantificar tanto a intensidade de ferrugem quanto a produção da lavoura para a tomada de decisão quanto à aplicação de fungicidas.

Mais recentemente, com o uso de redes neuronais, Santos Pinto et al. (2002) desenvolveram um sistema de previsão com base na análise temporal. Nesse caso, o momento para iniciar o controle da ferrugem é determinado com base nos valores de incidência encontrados nas últimas avaliações.

Atualmente, busca-se um modelo de previsão simples para a ferrugem, capaz de determinar o início da aplicação de fungicidas, bem como o intervalo entre as aplicações, visando o controle racional e econômico da doença.

Considerando esses fatos, o objetivo deste trabalho foi avaliar a viabilidade do uso de modelos de previsão baseado no esquema proposto por Kushalappa et al. (1984) e no modelo desenvolvido por Santos Pinto et al. (2002) para o controle da ferrugem do cafeeiro na região de Lavras, MG.

4 MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi conduzido no período de 2002 a 2004, na fazenda experimental da FAEPE/UFLA, localizada no município de Lavras, MG, na latitude sul de 21° 14', longitude oeste de 45° 00', em Latossolo Vermelho escuro. Durante os dois ciclos de produção (2002/03 e 2003/04) do cafeeiro, avaliaram-se e compararam-se o modelo de previsão desenvolvido por Santos Pinto et al. (2002), o modelo de previsão modificado, desenvolvido por Kushalappa et al. (1984) (Tabela 1) e o calendário fixo de aplicação de fungicidas usado pelos produtores de café na região de Lavras. A cultivar utilizada foi a Catuai Vermelho, suscetível à ferrugem, com 17 anos de cultivo, disposta no espaçamento 0,8 x 3,6 metros.

Durante os dois anos agrícolas, foram realizadas a manutenção da lavoura com adubações no solo e via foliar, de acordo com a recomendação da 5ª aproximação além do manejo das plantas daninhas com roçadeira e herbicidas. O controle das pragas do cafeeiro foi feito pela aplicação do inseticida Deltaphos (1,0L/ha de p.c.).

O experimento foi instalado em blocos ao acaso, com 8 tratamentos e quatro repetições. Cada parcela foi composta por 9 plantas, sendo 5 úteis e 4 como bordadura. Em cada ano, compararam-se oito tratamentos:

- 1- testemunha: sem pulverização;
- 2- Triadimenol: sistêmico de solo. Aplicação de 60 kg/ha do p.c. (Foton) em dezembro → uma aplicação (calendário fixo);
- 3- Epoxiconazole: sistêmico foliar. Aplicação de 0,6 L/ha do p.c. (Opus) em dezembro e 0,4 L/ha em março → duas aplicações (calendário fixo);

4- oxiclureto de cobre (cobre metálico 50%): protetor foliar. Aplicação de 3,0 kg/ha do p.c. (Cobox) em novembro, janeiro, e março → quatro aplicações (calendário fixo);

5- oxiclureto de cobre (cobre metálico 50%): protetor foliar. Pulverizações realizadas de acordo com o modelo de Santos Pinto et al. (2002);

6- Epoxiconazole: sistêmico foliar. Pulverizações realizadas de acordo com o modelo de Santos Pinto et al. (2002);

7- Epoxiconazole: sistêmico foliar. Pulverizações realizadas de acordo com o modelo modificado de Kushalappa et al. (1984);

8- oxiclureto de cobre (cobre metálico 50%): protetor foliar. Pulverizações realizadas de acordo com o modelo modificado de Kushalappa et al. (1984).

Para as aplicações dos fungicidas via foliar, foi utilizado o bico tipo leque e o pulverizador costal-manual de 20 litros, da empresa Jacto, com volume de 500 litros por hectare.

4.1 Utilização do modelo de previsão de Santos Pinto et al. (2002) e do modelo modificado de Kushalappa et al. (1984)

Durante os dois ciclos de produção, utilizou-se o modelo desenvolvido por Santos Pinto et al. (2002), no qual a incidência de ferrugem em determinado período é explicada pela incidência avaliada na primeira e terceira avaliação anterior. O modelo utilizado é representado pela equação $Y=0,88 + 1,04IF_{15} - 0,29IF_{45}$, em que Y é a incidência da ferrugem atual e IF_{15} e IF_{45} são a incidência da ferrugem aos quinze e aos 45 dias anteriores à última avaliação, respectivamente.

Com base no sistema descrito por Santos Pinto (2002), a primeira aplicação dos tratamentos ocorreu quando a incidência era de 5%. A reaplicação atendeu aos seguintes critérios: (i) aplicação do fungicida protetor (oxicloreto de cobre) quando a incidência da doença atingiu 5%, 15 dias após a aplicação anterior; (ii) aplicação do fungicida sistêmico (epoxiconazole), quando a incidência da doença atingiu 5%, trinta dias após a aplicação anterior. As aplicações foram suspensas pelo menos 60 dias antes da colheita.

Os tratamentos utilizando o modelo de previsão modificado de Kushalappa et al. (1984), foram realizados quando a incidência ou a severidade da doença apresentavam-se entre os valores indicados na Tabela 1, associado ao mês correspondente da avaliação. A reaplicação dos fungicidas atendeu aos mesmos critérios do sistema anterior.

TABELA 1. Sistema de previsão para a ferrugem do cafeeiro para aplicação de fungicidas, considerando o ambiente como fixo. (Kushalappa et al., 1984).

% Incidência	5-9	10-14	15-29	>29
%Severidade	0,12-0,25	0,26-0,37	0,38-0,74	>0,74
Set.*	-	-	-	-
Out./abril	-	-	F	F
Nov./março	-	F	F	F
Dez./fev.	F	F	F	F
Jan.	F	F	F	F

*A decisão pode ser baseada no mês do ano, indicado na primeira coluna; F corresponde à aplicação imediata de fungicida; - corresponde à não aplicação de fungicida.

Para obter as variáveis independentes dos dois sistemas propostos, foram realizadas avaliações periódicas da intensidade da doença e a coleta das variáveis ambientais, de acordo com os itens 4.2 e 4.3.

4.2 Avaliação da intensidade da doença

Para monitorar a intensidade da ferrugem foram realizadas avaliações em intervalos de 15 dias, de setembro de 2002 a outubro de 2004. Foram amostradas 10 folhas por planta, sendo 5 folhas de cada lado, obtidas aleatoriamente em ramos localizados no terço médio da planta, entre o terceiro e quarto par de folhas, correspondendo a 50 folhas por parcela.

Para avaliar a severidade da ferrugem foi empregada a escala diagramática de Kushalappa & Chaves (1980), sendo posteriormente calculada a severidade média. A incidência da ferrugem foi obtida a partir do número de folhas com sintomas, dividido pelo número total de folhas avaliadas na parcela. Ao longo do trabalho, os valores da incidência e da severidade foram plotados e foi calculada a área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD) para cada tratamento, por meio da fórmula: $AACPD = \sum \{[(y_1 + y_2)/2] * \Delta t\}$, em que y_1 e y_2 são duas avaliações sucessivas da quantidade da doença e Δt o intervalo de tempo entre elas.

4.3 Obtenção das variáveis ambientais

Utilizou-se uma estação microclimática (Datalogger-CR10X Campbell Scientific Inc), somente nos dias de avaliação da intensidade da doença. Os sensores ligados à estação forneceram os dados de temperatura máxima, média e mínima (°C), umidade relativa do ar (%) e velocidade do vento (m/s). O aparelho foi instalado na área central do experimento entre duas fileiras e os

sensores foram fixados a um suporte na altura do terço médio da planta a 1,5 metro do solo.

Foram ainda coletados dados referentes à precipitação (mm), umidade relativa do ar (%) e temperatura máxima, média e mínima (°C), diariamente, entre o período de setembro de 2002 a outubro de 2004, da Estação Climatológica localizada no campus da Universidade Federal de Lavras, a 3.000 m de distância do experimento. Esses dados foram transformados em representações gráficas para melhor visualização das condições ambientais durante a condução do experimento.

4.4 Análise dos dados

Considerando a característica de bianualidade do cafeeiro, os resultados obtidos durante 2002 a 2004 foram separados em dois anos agrícolas (2002/03 e 2003/04).

Para discriminar os melhores tratamentos e a eficiência dos modelos de previsão, os valores de AACPD de produção de cada parcela foram submetidos à análise de variância e ao teste de médias Scott-Knott, à 5% de probabilidade, utilizando o programa Sisvar do Departamento de Estatística da UFLA. A análise de homogeneidade e normalidade foram obtidas pelo programa SAS (The SAS System for Windows, SAS Institute Inc. Cary, NC, USA). Além disso, foi verificada, separadamente, a eficiência do modelo desenvolvido por Santos Pinto et al. (2002), correlacionando os dados observados no campo com os dados previstos obtidos pelo modelo, durante a condução do trabalho.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Correlação entre os dados observados e os previstos

A correlação entre os dados reais de incidência de ferrugem com os previstos pelo modelo, ocorridos no intervalo entre cada avaliação foi estatisticamente significativa ($P \leq 0,01$) e positiva. Assim, os valores do coeficiente de determinação (R^2) para os tratamentos 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 e 8, foram 0,90; 0,86; 0,66; 0,94; 0,92; 0,54; 0,76 e 0,90, respectivamente. Dessa forma, esse modelo (Santos Pinto et al., 2002) foi adequado para explicar, por meio da análise temporal, a epidemia da ferrugem, detectando com eficiência as mudanças na curva de progresso da doença independente da forma de manejo na cultura. Assim, o modelo possui potencial de uso no campo como ferramenta estratégica no controle da ferrugem. O uso de redes neurais para selecionar as variáveis pode estar relacionado a essa eficiência.

Segundo Pozza (1998), os modelos desenvolvidos utilizando as redes neurais apresentam-se mais flexíveis e mais próximos dos processos biológicos e podem ser aplicados na fitopatologia. A aplicabilidade de redes neurais em fitopatologia foi testada por Mizubuti et al. (1994) para o patossistema feijão e ferrugem obtendo boa precisão entre os dados estimados pela rede e os observados em campo com coeficiente de determinação (R^2) de 0,92. Pozza (1998) estudou a utilização de redes neurais no patossistema cacaueteiro e vassoura-de-bruxa. Nesse trabalho o autor verificou que as redes neurais realizaram as previsões com maior eficiência em relação às equações de regressão.

5.2 Curvas de progresso da ferrugem nos anos agrícolas de 2002/03 e 2003/04

5.2.1 Ano agrícola 2002/03

No ciclo 2002/03, a curva de progresso da ferrugem iniciou-se em março e atingiu valores máximos de doença em abril e junho, chegando a 39% de incidência e 1,93% de severidade na testemunha (Figuras 1 e 2). Baseado no calendário fixo de aplicação, as parcelas tratadas com o fungicida protetor oxiclóreto de cobre (tratamento 4) apresentaram maior intensidade de doença, chegando a 27% de incidência e 0,91% de severidade. Os menores valores foram encontrados nas parcelas tratadas com os fungicidas sistêmicos Triadimenol e o Epoxiconazole (tratamentos 2 e 3).

Entre as parcelas tratadas de acordo com os modelos de previsão, os maiores valores de intensidade da ferrugem foram observados no tratamento 5 (oxiclóreto de cobre), com 20% de incidência e 0,48% de severidade. Nos demais tratamentos, os valores máximos foram de 14% de incidência para o tratamento 8 e 0,12% de severidade para o tratamento 6. Com exceção do tratamento 5 (oxiclóreto de cobre), observou-se que a redução do progresso da ferrugem ocorreu logo após a primeira pulverização com os fungicidas.

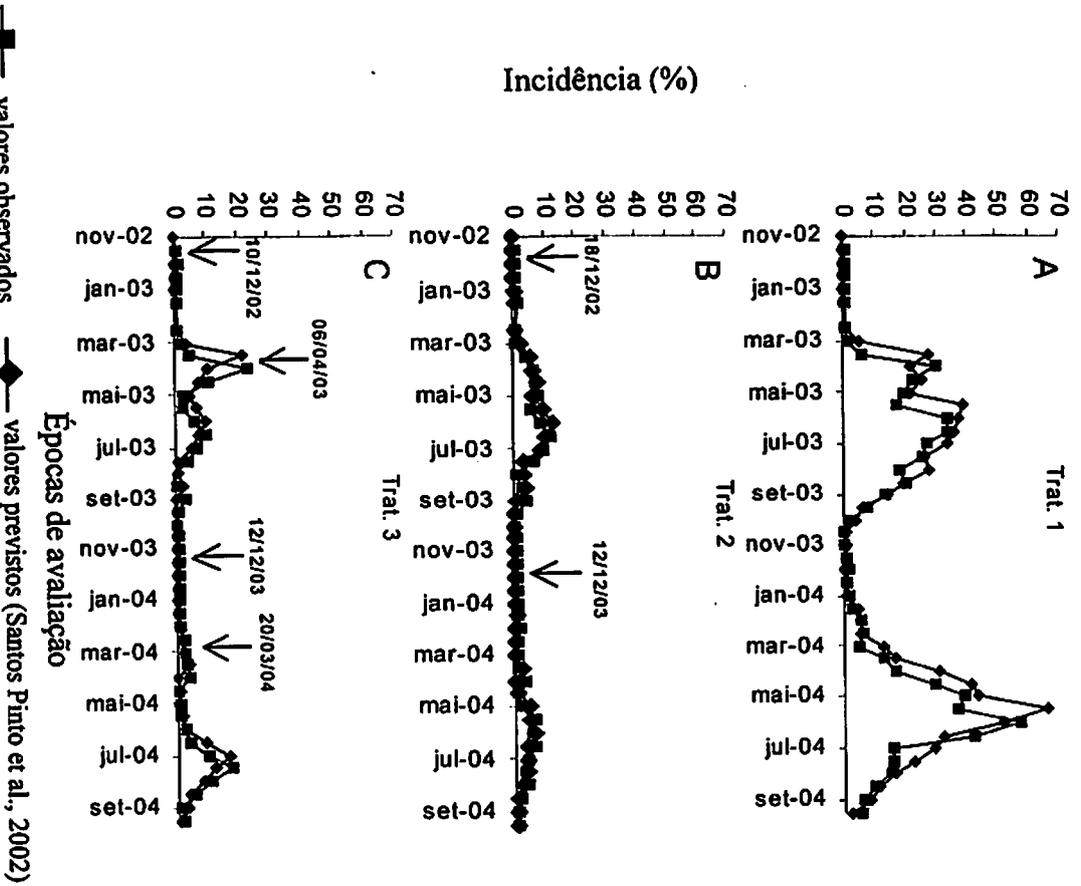
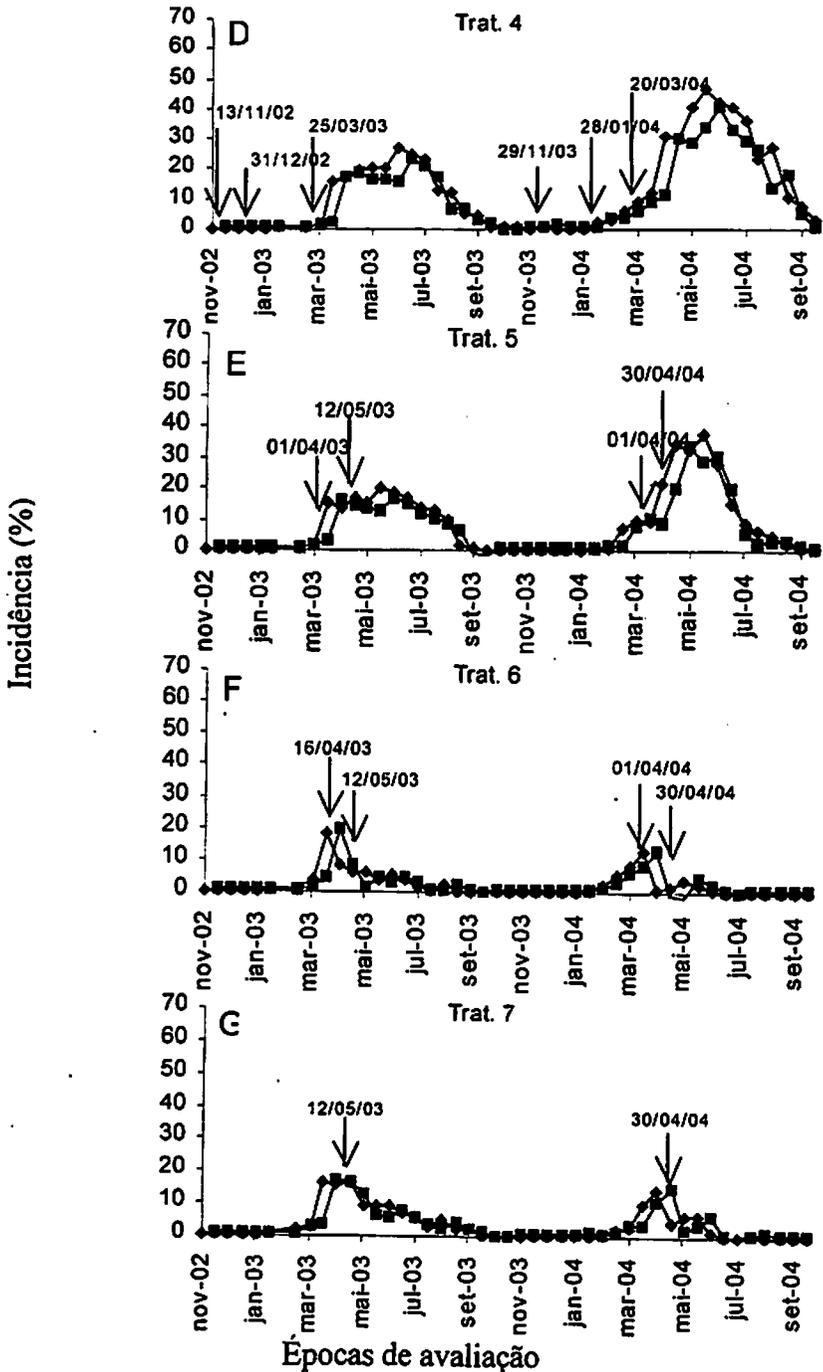


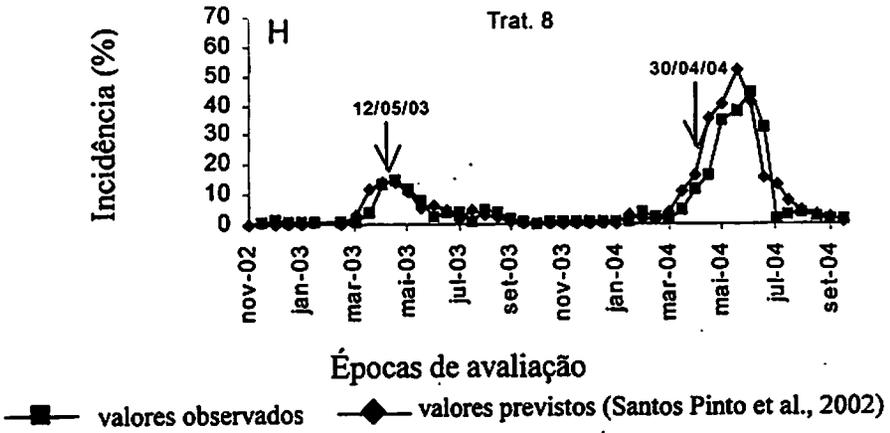
FIGURA 1. Curva de progresso da incidência da ferrugem do cafeeiro e datas de aplicação de fungicidas. Tratamentos: 1- ausência de controle (A), 2- Triadimenol (B), 3- Epoxiconazole (C) e 4- ox. de cobre (D), de acordo com o calendário fixo de pulverização; 5- ox. de cobre (E) e 6- epoxiconazole (F), de acordo com a recomendação do modelo desenvolvido por Pinto et al. (2002); 7- Epoxiconazole (G) e 8- ox. cloroeto de cobre (H), de acordo com a recomendação do sistema desenvolvido por Kushalappa et al. (1984), durante os ciclos 2002/2003 e 2003/2004. UFPA, Lavras, MG, 2005. "...continua..."

“FIGURA 1, Cont.”



■ valores observados ◆ valores previstos (Santos Pinto et al., 2002)

“FIGURA 1, Cont.”



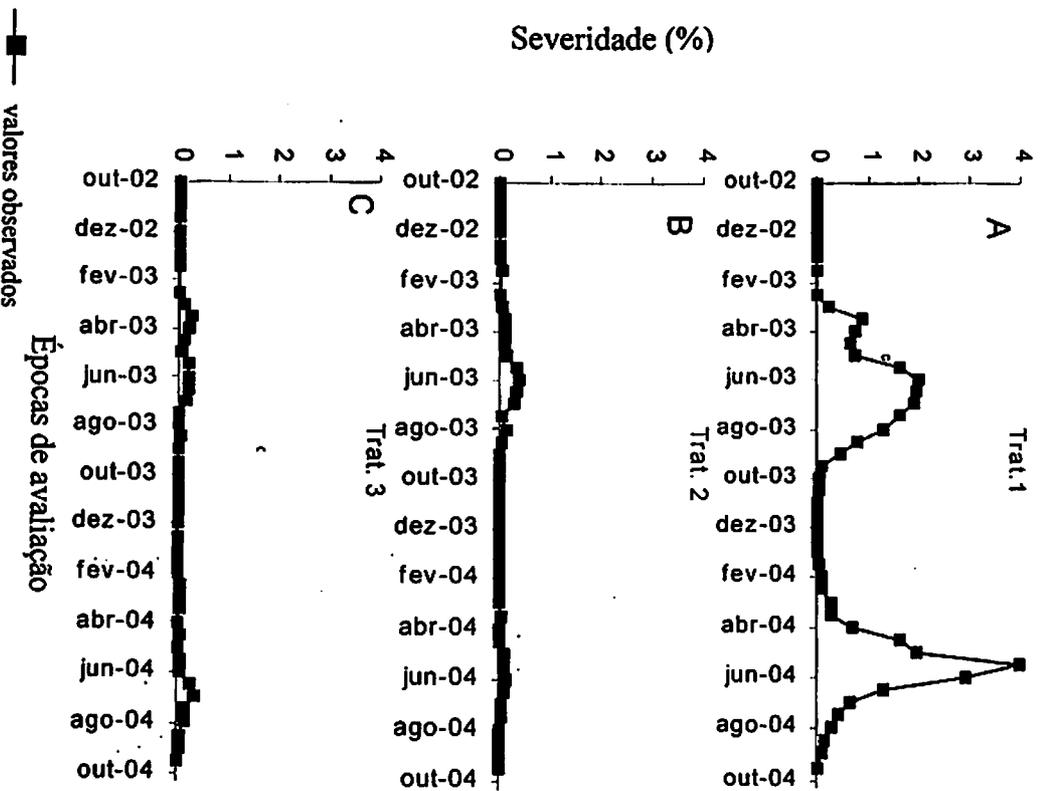
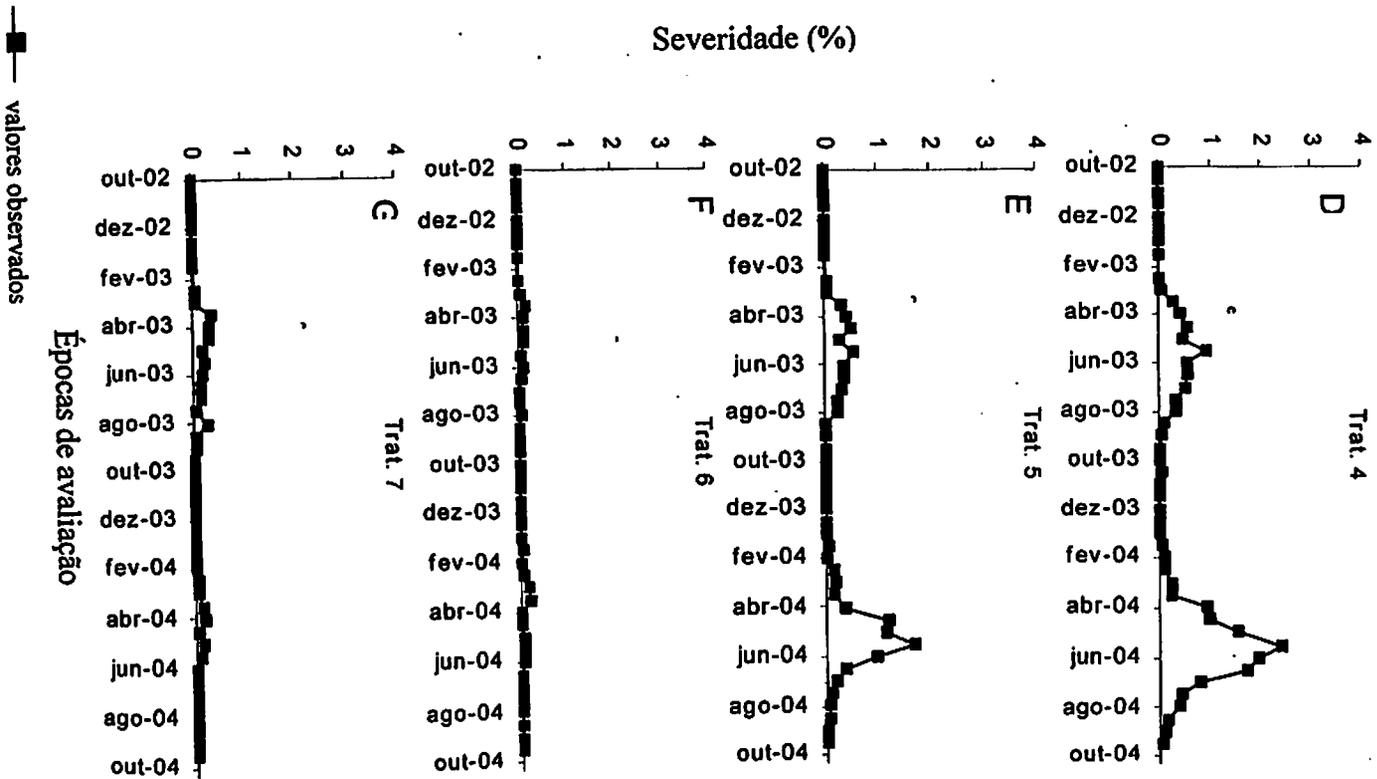
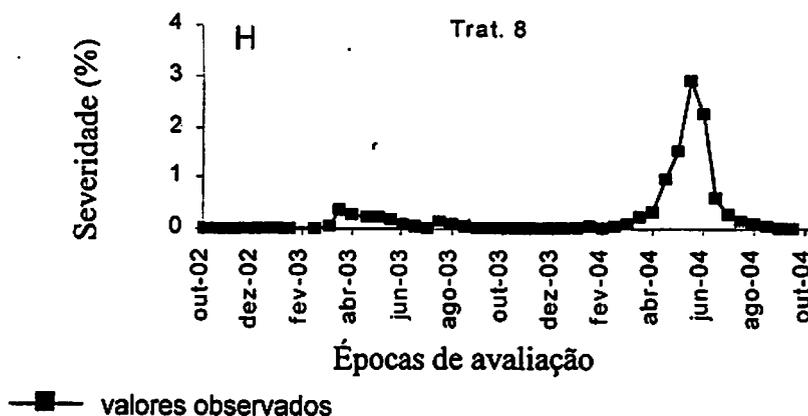


FIGURA 2. Curvas de progresso da severidade da ferrugem do caféiro baseado nos tratamentos: 1- ausência de controle (A), 2- triadimenol (B), 3- Epoxiconazole (C) e 4- oxicloretto de cobre (D), de acordo com o calendário fixo de pulverização; 5- oxicloretto de cobre (E) e 6- epoxiconazole (F), pulverizações de acordo com a recomendação do modelo desenvolvido por Pinto et al. (2002); 7- Epoxiconazole (G) e 8- oxicloretto de cobre (H), pulverizações de acordo com a recomendação do sistema desenvolvido por Kushalappa et al. (1984), durante os ciclos 2002/2003 e 2003/2004. UFPA, Lavras, MG, 2004. ...”continua”

“FIGURA 2, Cont.”



“FIGURA 2, Cont.”



5.2.2 Ano agrícola 2003/04

No ano agrícola 2003/04, o progresso da doença iniciou-se mais cedo (janeiro) do que no ano agrícola 2002/03 (março). A partir do final de janeiro, a taxa de progresso tornou-se positiva até junho, chegando a 66% de incidência e 4% de severidade na testemunha (Figuras 1 e 2). Com base no calendário fixo de aplicação, a maior intensidade de doença foi no tratamento 4, com 46% de incidência e 2,5% de severidade, enquanto os menores valores foram do tratamento 2 com 12% de incidência e 0,4% de severidade. Entre os tratamentos baseados nos modelos de previsão, o tratamento 8 apresentou os maiores índices da doença, com 52% de incidência e 3% de severidade. O contrário foi observado no tratamento 6, com valores máximos de 13% de incidência e 0,20% de severidade (Figuras 1 e 2).

5.3 Área abaixo da curva de progresso da incidência (AACPI) e da severidade (AACPS) da ferrugem no ano agrícola 2002/03 e 2003/04

5.3.1 Ano agrícola 2002/03

No ano 2002/03 ocorreu diferença significativa dos valores da área abaixo da curva de progresso da incidência (AACPI) entre os tratamentos. Pelo teste Scott-Knott, tanto a testemunha quanto o tratamento 4 (oxicloreto de cobre – calendário fixo) diferenciaram e apresentaram as maiores AACPI em relação aos demais tratamentos. Na avaliação da área abaixo da curva de progresso da severidade (AACPS), todos os tratamentos foram significativamente diferentes da testemunha (Tabela 2).

TABELA 2. Número de pulverizações e área abaixo da curva de progresso da incidência (AACPI) e severidade (AACPS) em diferentes tratamentos no ano 2002/2003. UFLA, Lavras, MG, 2004.

TRATAMENTOS ¹	Nº Pulverizações	AACPI ^{2/3}	AACPS ^{2/3}
Testemunha	1	0	5062 b
	2	1	223 b
Calendário fixo	3	2	1005 a
	4	3	33 a
Modelo Pinto et al. (2002)	5	3	1104 a
	6	2	3088 b
Modelo Kushalappa (1984)	7	1	2276 a
	8	1	779 a
CV=			54 a
			12 a
			1595 a
			1274 a
			27 a
			19,27%
			32,55%

¹ Tratamentos: 1- testemunha; 2- triadimenol, 3- epoxiconazole e 4- ox. cloreto de cobre, de acordo com o calendário fixo de pulverização; 5- ox. cloreto de cobre e 6- epoxiconazole, pulverizações de acordo com a recomendação do modelo desenvolvido por Pinto et al. (2002); 7- epoxiconazole e 8- ox. cloreto de cobre, pulverizações de acordo com a recomendação do sistema desenvolvido por Kushalappa (1984).

² Nas colunas as médias seguidas pelas mesmas letras não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Scott-Knott.

³ Para que ocorresse homogeneidade e normalidade, os dados foram transformados utilizando a raiz quadrada de x.

Apesar do tratamento 6 (Epoxiconazole – modelo de Santos Pinto et al., 2002), com duas aplicações de fungicida, resultar nos menores valores de AACPI e AACPS, ele não diferiu estatisticamente dos tratamentos 2 (Triadimenol – calendário fixo), 7 (Epoxiconazole – modelo de Kushalappa et al., 1984) e 8 (oxiclreto de cobre – modelo de Kushalappa et al., 1984), com somente uma aplicação (Tabela 3). A AACPS do tratamento 6 também não diferiu do tratamento 3 (Epoxiconazole - calendário fixo) com duas aplicações e

do tratamento 5 (oxicloreto de cobre – modelo de Santos Pinto et al., 2002), com três aplicações de fungicida. Por último, o tratamento 4, com três aplicações, foi considerado menos eficiente entre os tratamentos.

Nesse ano agrícola não houve diferença entre os efeitos dos tratamentos com fungicidas sistêmicos baseados no calendário fixo de pulverização e dos tratamentos baseados nos sistemas de previsão. Isso provavelmente ocorreu devido à irregularidade na produção e enfolhamento entre plantas na lavoura. Este resultado está de acordo com os obtidos por Garçon et al. (2004), que também não encontraram diferença entre os tratamentos com diferentes fungicidas sistêmicos e pulverizações baseadas nos valores da severidade da ferrugem em lavouras com baixa carga pendente.

A superioridade de ambos os modelos em relação ao calendário fixo de pulverizações foi comprovada quando se observou o menor número de pulverizações realizadas nos tratamentos 7 e 8 e o menor valor da AACPI e AACPS no tratamento 6, em relação ao calendário fixo de aplicação. Essa superioridade possivelmente foi relacionada às primeiras aplicações dos fungicidas no mês de março, controlando o patógeno na fase inicial do crescimento da curva de progresso da doença. A baixa carga pendente da lavoura nesse ano agrícola também pode ter favorecido o controle eficiente da ferrugem com o oxicloreto de cobre (tratamento 8), aplicado no momento certo. Outro fator importante é a característica dos fungicidas sistêmicos e seu efeito residual, ou seja, o princípio ativo pode ter permanecido durante o período favorável à maior intensidade da ferrugem (maio a julho).

TABELA 3. Número de pulverizações, área abaixo da curva de progresso da incidência (AACPI) e severidade (AACPS) e produção em diferentes tratamentos no ano 2003/2004. UFLA, Lavras, MG, 2004.

TRATAMENTOS ¹	Nº	AACPI ^{2/3}	AACPS ^{2/3}
Pulverizações			
Testemunha	1	0	6044 d
	2	1	536 a
Calendário fixo	3	2	994 b
	4	3	5554 d
Modelo Pinto et al. (2002)	5	2	3326 c
	6	2	563 a
Modelo Kushalappa (1984)	7	1	750 b
	8	1	3810 c
CV=			9,69%
			15,19%

¹ Tratamentos: 1- testemunha; 2- triadimenol, 3- epoxiconazole e 4- ox. cloreto de cobre, de acordo com o calendário fixo de pulverização; 5- ox. cloreto de cobre e 6- epoxiconazole, pulverizações de acordo com a recomendação do modelo desenvolvido por Santos Pinto et al. (2002); 7- epoxiconazole e 8- ox. cloreto de cobre, pulverizações de acordo com a recomendação do sistema desenvolvido por Kushalappa (1984).

² Nas colunas as médias seguidas pelas mesmas letras não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Scott-Knott.

³ Para que ocorressem homogeneidade e normalidade, os dados foram transformados utilizando-se a raiz quadrada de x.

5.3.2 Ano agrícola 2003/04

No ano agrícola 2003/04, os tratamentos diferenciaram-se estatisticamente em quatro grupos, baseados na AACPI e AACPS (Tabela 3). Além da testemunha e do tratamento 4 (oxicloreto de cobre), os tratamentos 5 e 8, com o oxicloreto de cobre, apresentaram valores elevados de AACPI e AACPS.

Os menores valores de AACPI e AACPS foram observados nos tratamentos 2 (triadimenol, via solo) e 6 (epoxiconazole, via foliar), correspondendo a uma e duas aplicações de fungicidas, seguidos pelos tratamentos 7 (epoxiconazole) e 3 (epoxiconazole), com somente uma aplicação de fungicida via foliar (Tabela 4). Esses tratamentos foram suficientes para manter índices baixos de doença durante todo o ciclo de 2003/04.

A ação protetora dos cúpricos não foi suficiente para assegurar menores valores de intensidade da doença durante esse ano agrícola. Tal fato pode ser atribuído às condições ambientais favoráveis a maior taxa de progresso da doença (Figura 3), além do maior enfolhamento e carga pendente das plantas, em comparação com o ano anterior.

A segunda aplicação do fungicida no tratamento 6 não seria necessária pelo fato da taxa de progresso da doença estar em decréscimo. No entanto, de acordo com o nível de risco estabelecido para o modelo de previsão desenvolvido por Santos Pinto et al. (2002), realizou-se a segunda aplicação do fungicida sistêmico. Mesmo assim, o modelo foi eficiente como ferramenta para o controle racional da doença durante os dois anos de avaliação.

5.4 Épocas de aplicação dos fungicidas

Nas parcelas que utilizaram o calendário fixo de pulverização, a primeira aplicação teve início antes do mês de janeiro, em períodos não favoráveis ao aumento do progresso da ferrugem. No entanto, devido ao tratamento antecipado, com exceção do tratamento 4, notou-se um atraso no aumento inicial da ferrugem.

Vários autores demonstraram a importância da carga pendente de frutos sobre o progresso da ferrugem, concluindo que, em condições de baixa produção,

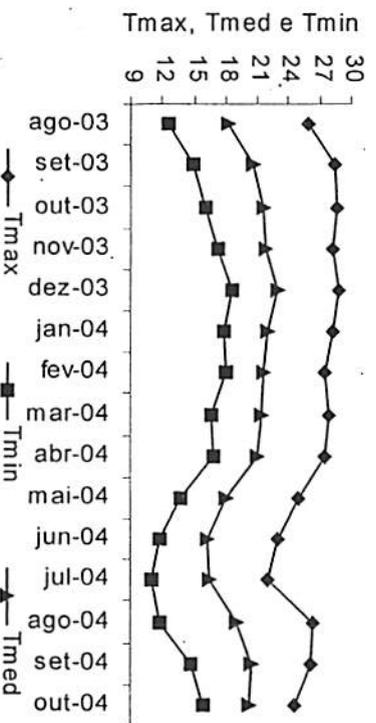
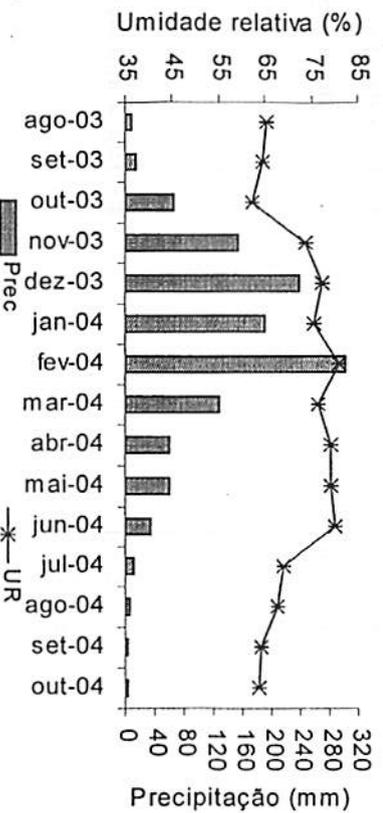


FIGURA 3. Condições ambientais durante a condução do trabalho no período de out. de 2002 a out. de 2004. Temperatura máxima (Tmax-°C), temperatura média (Tmedia-°C), temperatura mínima (Tmin-°C), Precipitação (Prec-mm) e Umidade relativa do ar (UR-%). UFPA, Lavras, MG, 2004.

a doença tem menores taxas de progresso, não se justificando a adoção de medidas de controle antes do mês de janeiro (Miguel et al. 1977; Miguel et al., 1985; Garçon et al., 2000). Em lavouras com alta carga pendente, os melhores

resultados no controle da ferrugem foram obtidos pelo uso de fungicidas sistêmicos, com o início das pulverizações no final de janeiro, coincidindo com o aumento do progresso da doença. Já, para lavouras com baixa carga pendente, as primeiras aplicações podem ser até o mês de março, quando a taxa de progresso da doença começa a aumentar (Garçon et al., 2000; Cunha et al., 2001). Mesmo sem considerar a carga pendente, as aplicações realizadas seguindo os modelos de previsão foram de acordo com os autores acima, demonstrando eficiência em indicar o momento adequado para a aplicação do fungicida, principalmente do sistêmico epoxiconazole.

TABELA 4. Descrição dos tratamentos utilizados no controle da ferrugem do cafeeiro, no ano agrícola 02/03 e 03/04. UFLA, Lavras, MG, 2005.

Trat. ¹	Fungicida	Período de aplicação (Ano agrícola) ²	
		02/03	03/04
1	Testemunha	----	----
2	Triadimenol (60 kg/ha pc)	Dez.	Dez.
3	Epoxiconazole (0,6 e 0,4 l/ha pc)	Dez. e Março	Dez. e Março
4	Oxicloreto de cobre 50% (3,0 kg/ha)	Nov., Jan. e Março	Nov., Jan. e Março
5	Oxicloreto de cobre 50% (3,0 kg/ha)	Abril e Maio	Abril e Maio
6	Epoxiconazole (0,6 l/ha pc)	Abril e Maio	Abril e Maio
7	Epoxiconazole (0,6 l/ha pc)	Maio	Abril
8	Oxicloreto de cobre 50% (3,0 kg/ha)	Maio	Abril

¹ Esquema de pulverização baseado no estudo de validação de modelos para a ferrugem do cafeeiro. Tratamentos: 1- ausência de controle, 2- Triadimenol, 3- Epoxiconazole e 4- oxicloreto de cobre, de acordo com o calendário fixo de pulverização para ferrugem; 5- oxicloreto de cobre e 6- Epoxiconazole, pulverizações de acordo com a recomendação do modelo desenvolvido por Santos Pinto et al. (2002) para ferrugem; 7- Epoxiconazole e 8- oxicloreto de cobre, pulverizações de acordo com a recomendação do sistema desenvolvido por Kushalappa (1984) para ferrugem.

² As datas das aplicações estão inseridas nas Figuras 1 e 2.

Para patógenos policíclicos, existem recomendações de controle de forma preventiva durante a estação de cultivo (Fry, 1978). Sendo assim existem dois casos: primeiro quando o produto é aplicado uma ou poucas vezes no início da doença para atrasar o seu progresso e segundo, quando é aplicado repetidamente durante uma estação para suprimir a taxa de desenvolvimento da epidemia. No presente trabalho, durante o período de 2002/03, o comportamento

da epidemia foi de acordo com o primeiro caso, tendo as aplicações com cúprico, com base no calendário fixo de aplicação e nos sistemas de previsão, sido suficientes para reduzir a taxa de progresso. Já no período 2003/04, o comportamento foi semelhante ao segundo caso. Nesse último período, as aplicações de cúpricos não foram eficientes, mesmo em aplicações preventivas.

Em doenças policíclicas, com uma rápida taxa de progresso da doença e pequena quantidade de inóculo inicial, o uso de produtos químicos é mais eficiente para reduzir a taxa e nas doenças policíclicas com uma taxa lenta, a redução do inóculo inicial pode ser uma medida eficiente no controle químico (Fry, 1982).

Ao contrário dos tratamentos com fungicida sistêmico, na análise dos dados referentes à AACPD, para os tratamentos 5 e 8, o valor do nível de risco estabelecido para iniciar as aplicações de fungicida cúprico no período de 2002 a 2004 não foi eficiente para controlar a doença, principalmente no segundo ano, quando o cafeeiro apresentou alta carga pendente. Este comportamento pode estar relacionado com a biologia do patógeno e a característica do produto. *Hemileia vastatrix* é um fungo biotrófico, por isso, os sinais nas folhas indicam o final do ciclo do fungo e com os tecidos já colonizados. Como o oxiclreto de cobre é um fungicida protetor, a sua ação fica limitada à germinação de esporos do fungo, não interferindo no processo de colonização nos tecidos da planta anteriormente infectados. Outro fator importante é a dificuldade em atingir a parte abaxial das folhas com o fungicida, onde o fungo infecta o tecido e surgem as urédias (Azevedo, 2003).

De acordo com o observado no tratamento 3, quando o cafeeiro apresentar alta carga pendente, é interessante a aplicação do produto sistêmico no mês de dezembro, com o intuito de atrasar a curva de progresso, e outra aplicação deve ser feita no início do mês de março, devido à pressão de inóculo. Em cafeeiros com baixa carga pendente recomenda-se a primeira pulverização

com sistêmico no mês de fevereiro, devido ao início tardio da curva de progresso da ferrugem.

6 CONCLUSÕES

- Quando se utilizou o fungicida oxiclóreto de cobre, a menor AACPD e o menor número de pulverização foram verificados com o uso dos modelos de previsão.

- Quando se utilizou o fungicida epoxiconazole, a menor AACPD foi verificada com o uso dos modelos de previsão. Para o modelo de Santos Pinto et al. (2002), o número de pulverizações foi igual ao calendário fixo. Para o modelo de Kushalappa et al. (1984), o número de pulverizações foi menor em relação ao calendário fixo.

- Sistemas de previsão baseados na intensidade da ferrugem para a região de Lavras. Foram viáveis em reduzir o progresso da doença e o número de pulverizações e podem ser utilizados em novos experimentos para serem validados.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AZEVEDO, L.A.S. **Fungicidas protetores: fundamentos para o uso racional.** São Paulo, 2003. 320p.

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

CUNHA, R.L. et al. Efeito de tratamentos químicos no controle da ferrugem (*Hemileia vastatrix* Berk. & Br.) e na preservação de enfolhamento do cafeeiro. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA CAFEEIRA DO SUL DE MINAS GERAIS, 2., 2001, Lavras, MG. **Anais...** Lavras: UFLA, 2001. p.183-189.

FERREIRA, M.R.; BARRETO, M. Desenvolvimento de um sistema de previsão de mancha púrpura (*Alternaria porri*) em cebola (*Allium cepa* L.). **Summa Phytopathologica**, v.27, n.3, 2001.

FRY, W.E. **Principles of plant disease management.** New York: Academic, 1982. 375p.

FRY, W.E. Quantification of general resistance of potato cultivar and fungicide affects for integrated control of potato late blight. **Phytopathology**, v.68, p.1650-1655, 1978.

GARÇON, C.L.P. et al. Controle da ferrugem do cafeeiro com base no valor da severidade. **Fitopatologia Brasileira**, v.29, n.5, p.486-491, 2004.

GARÇON, C.L.P. et al. Modelo de previsão da ferrugem (*Hemileia vastatrix* Berk. & Br.) do cafeeiro (*Coffea arabica* L.). In: SIMPÓSIO DE PESQUISAS DOS CAFÉS DO BRASIL, 1., 2000, Poços de Caldas-MG. **Resumos Expandidos...** Poços de Caldas, 2000. p.230-234.

LAUMAUTI, M.T. **Avaliação de danos causados por *Uromyces appendiculatus* no feijoeiro.** 1995. 133p. Tese (Doutorado em Fitopatologia)-Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiros, Piracicaba.

KATSURAYAMA, Y.; BONETI, J. I. S. Viabilidade do uso de sistema de previsão para o controle da requeima da batateira na região de São Joaquim, SC. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v.21, n.1, p.105-109, 1996.

KUSHALAPPA, A.C. et al. Equations for predicting the rate of coffee rust development based on net survival ratio for monocyclic process of *Hemileia vastatrix*. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v.9, p.255-271, 1984.

MANSK, Z. Doenças do cafeeiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIEIRAS, 16., 1990, Espírito Santo do Pinhal. **Resumos Expandidos...** Rio de Janeiro: IBC, 1990. p.61-77.

MIGUEL, A.E.; MATIELLO, J.B.; FLORENCE, M.L.D. Correlação entre o desenvolvimento da infecção da ferrugem do cafeeiro com diferentes níveis de produção, em ramos isolados. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIEIRAS, 12., 1985, Caxambu, MG. **Resumos Expandidos...** Rio de Janeiro: IBC, 1985. p.64-66.

MIGUEL, A.E. et al. Observações sobre os efeitos de três níveis de produção na incidência e controle da ferrugem do cafeeiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIEIRAS, 5., 1977, Guarapari, ES. **Resumos Expandidos...** Rio de Janeiro: IBC, 1977. p.220-221.

MIZUBUTI, E.S.G.; MAFFIA, L.A.; SILVA, C.A.B. Potencial do uso de redes neuronais em simulação de epidemias. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v.19, p.314, 1994. Suplemento.

POZZA, E.A. **Desenvolvimento de sistemas especialistas e redes neuronais e suas aplicações em fitopatologia**. 1998. 139p. Doutorado (Tese em Fitopatologia)-Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

SANTOS PINTO, A.C. et al. Descrição da epidemia da ferrugem do cafeeiro com redes neuronais. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v.27, p.517-524, 2002.

SOUZA, R.T. et al. Validade de dois sistemas de previsão para a queima das folhas da cenoura. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v.27, n.1, p.87-90, 2002.

WAGGONER, P.E.; BERGER, R.D. Defoliation, disease and growth. **Phytopathology**, v.79, p.393-398, 1987.

ZAMBOLIM, L. et al. Café (*coffea arabica* L.), controle de doenças. In: RIBEIRO DO VALE, F. X.; ZAMBOLIM, L. **Controle de doenças de plantas: grandes culturas**. Viçosa: Departamento de Fitopatologia; Brasília: Ministério da Agricultura e Abastecimento, 1997. v.2, p.83-179.

CAPÍTULO 3

MONITORAMENTO DA DISTRIBUIÇÃO DE UREDÓSPOROS DE *Hemileia vastatrix* NO AR EM LAVRAS-MG.

1 RESUMO

OLIVEIRA, Frederico Alberto de. Monitoramento da distribuição de uredósporos de *Hemileia vastatrix* no ar em Lavras, MG. In: _____. **Validação de modelos de previsão da ferrugem do cafeeiro e monitoramento de esporos de *Hemileia vastatrix* e *Cercospora coffeicola* em Lavras, MG. 2005. p.98. Tese (Doutorado em Fitopatologia)-Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.***

A presença de inóculo no ar pode ser um fator importante no desenvolvimento de sistemas de previsão de doenças juntamente com aspectos relacionados ao hospedeiro, a intensidade da doença e as variações ambientais envolvidas no processo. Diante disso, monitorou-se a flutuação de uredósporos de *Hemileia vastatrix* no ar, em lavoura cafeeira na região de Lavras, MG, visando gerar mais informações sobre a epidemiologia do patógeno. Para a amostragem empregou-se o coletor "Rotorod modelo 20", obtendo-se o volume de uredósporos/m³. Nesse aparelho, dois bastões serviram de superfície de aderência para a coleta dos uredósporos de *H. vastatrix* no ar. O aparelho foi posicionado na altura de 1,5 e 3,0 metros do solo, na área central da lavoura cafeeira. A coleta foi realizada no período de setembro de 2003 a novembro de 2004, em intervalos de 15 dias, durante 8 horas diárias. A cada duas horas os bastões foram substituídos e a contagem dos uredósporos foi realizada com o auxílio do microscópio de luz. A quantidade de uredósporos, coletados nas duas alturas coincidiu com o progresso da ferrugem, tendo os maiores valores sido observados nos meses de abril, maio e julho. O maior valor diário obtido foi entre 8:00h às 12:00h e 14:00h. às 16:00h nas alturas de 1,5 e 3,0 metros, respectivamente. Não houve correlação entre a quantidade de uredósporos coletados e as variáveis ambientais. No entanto, observou-se alto coeficiente de correlação entre as duas alturas de coleta. Portanto, a coleta de uredósporos pode ser realizada em somente uma altura e um único intervalo, otimizando futuros trabalhos na área.

* Comitê Orientador: Hilário Antônio de Castro – UFLA (Orientador), Edson Ampélio Pozza – UFLA.

2 ABSTRACT

OLIVEIRA, Frederico Alberto de. Observation of the distribution of uredospores of *Hemileia vastatrix* in air in Lavras-MG. In: Validation of forecast systems of coffee tree rust (*Coffea arabica* L.) and observation of distribution of spores of *Hemileia vastatrix* e *Cercospora coffeicola* at Lavras-MG. Lavras: UFLA, 2005. p.98-... (Thesis – Doctor in Phytopathology).*

The presence of inoculum in air can be an important factor in the development of forecast systems of disease together with aspects related to the host, the intensity of the disease and of the environment variations involved in the process. Thus, the fluctuation of the uredospores of *Hemileia vastatrix* in air, in coffee farming in Lavras, MG state, was monitored aiming at generating more information on the epidemiology of the coffee rust. For sampling, the collector Rotorod model 20 was used getting the uredospores/m³. In this device two batons had served of surface of tack for the collection of the uredospores of *H. vastatrix* in air. The gadget was located between 1.5 and 3.0 m above ground, in the central area of the coffee plantation. Data collection was carried out in the period from September 2003 to November 2004, in intervals of 15 days, during 8 hours a day. In every two hours, the batons were changed and the counting of the uredospores was carried with the aid of a light microscope. The amount of uredospores collected in the two heights coincided with the progress of the rust. The highest values occurred in April, May and July. The highest daily values occurred between 8:00 to 12:00 o'clock and between 14:00 to 16:00 o'clock in the height of 1.5 and 3.0 m of the ground. No correlation between the amount of uredospores and environmental conditions was observed.

-
- Guidance Committee: Hilário Antônio de Castro – UFLA (Major Professor), Edson Ampélio Pozza – UFLA.

3 INTRODUÇÃO

A ferrugem (*Hemileia vastatrix*), considerada a principal doença do cafeeiro, é responsável pelas grandes perdas na cafeicultura brasileira desde o seu surgimento na Bahia em 1970. No Brasil, essa doença pode chegar a comprometer a produção da cultura em até 50% (Zambolim et al., 1997). Em geral, as folhas do cafeeiro caem prematuramente, induzindo a queda e o aborto de flores, ocasionando a seca dos ramos plagiotrópicos da planta (Godoy et al. 1995). A perda das folhas durante o desenvolvimento dos frutos leva à formação de grãos anormais, afetando sensivelmente a produção (Godoy et a.al., 1995).

O fungo *H. vastatrix* é um parasita obrigatório cuja fonte de inóculo é constituída pelas lesões em folhas infectadas nas quais são produzidos os uredósporos. Assim, uma lesão produzida numa estação vegetativa pode servir de fonte de inóculo para o início da estação seguinte (Godoy, 1995). Nesse caso, a ação do vento e as gotas de chuva podem ser os principais agentes de disseminação dos propágulos do fungo (Figueiredo et al., 1977; Martinez et al., 1975 e Nutman et al., 1960). Além disso, a viabilidade dos propágulos fúngicos no ar também constitui importante fator no início de muitos processos epidêmicos (Panisson et al., 2002; Reis e Mário, 2003).

A presença de inóculo no ar pode ser importante para o desenvolvimento de sistemas de previsão de doenças, juntamente com aspectos relacionados ao hospedeiro, à intensidade da doença e das variáveis ambientais envolvidas no processo. Ou seja, é importante comprovar se em determinado estágio do hospedeiro já existe inóculo disponível para a infecção e se há uma sincronia entre a dispersão do inóculo no ar com o início da doença. Pode-se ainda analisar a relação da presença de esporos no ar e sua contribuição para o processo epidêmico em períodos subsequentes (Campbell & Madden, 1991).

Diante da escassez de trabalhos que relacionem a intensidade da ferrugem do cafeeiro com a quantidade de uredósporos no ar, bem como de estudos que determinem a frequência, o tempo de amostragem e a posição de coleta dos esporos no ar, objetivou-se, com o presente estudo: i) monitorar a quantidade de uredósporo de *Hemileia vastatrix* no ar, nas condições de Lavras-MG, em diferentes períodos do ciclo do cafeeiro; ii) verificar a influência da quantidade de uredósporos no processo infeccioso e iii) determinar a flutuação de uredósporos no ar em diferentes períodos do dia.

4 MATERIAL E MÉTODOS

O monitoramento da quantidade de uredósporos de *Hemileia vastatrix* dispersos no ar foi conduzido no ano agrícola 2003/04, na fazenda experimental da FAEPE/UFLA, localizada no município de Lavras, MG, a 910 metros de altitude, latitude sul de 21° 14' e longitude oeste de 45° 00'. A cultivar utilizada foi a Catuaí Vermelho, suscetível à ferrugem, plantada em Latossolo Vermelho escuro, com 17 anos de cultivo, disposto no espaçamento 0,8 x 3,6 m.

Para amostragem dos esporos empregou-se o coletor 'Rotorod Sampler' modelo 20. O equipamento possui duas hastes coletoras, com 1,52 x 1,52 x 22 mm, as quais foram untadas com líquido adesivo (gel de silicone) para reter os esporos do fungo. A concentração de esporos (C) foi obtida de acordo com a fórmula: $C = P/V$, em que P é a quantidade de esporo coletada em um determinado volume de ar (V).

Na condição deste experimento, devido à troca das hastes coletoras ser realizada a cada duas horas, a fórmula foi a seguinte: $C = P/0,25$, em que o valor de 0,25 correspondeu ao volume de ar amostrado a cada duas horas.

O equipamento foi posicionado a 1,50 e a 3,00 metros da altura da superfície do solo na área central da lavoura. Coletaram-se os esporos no período de setembro de 2003 a novembro de 2004, em intervalos de 15 dias, durante 8 horas do dia, iniciando-se às 8:00h e finalizando às 16:00h. A cada 2 horas, as hastes coletoras foram substituídas e a contagem realizada com o auxílio de microscópio de luz.

4.1 Avaliação da intensidade da doença

A avaliação da intensidade da ferrugem foi realizada em intervalos de 15 dias, no período de coleta de esporos. O experimento foi composto de 4 parcelas correspondendo ao total de 20 plantas avaliadas, em um raio de 10 metros do equipamento. Foram amostradas 10 folhas por planta, sendo 5 folhas de cada lado, obtidas aleatoriamente em ramos localizados no terço médio da planta, entre o terceiro e o quarto par de folhas.

Para avaliar a severidade da ferrugem foi empregada a escala diagramática apresentada por Kushalappa & Chaves (1980), sendo posteriormente calculada a severidade média. A incidência da ferrugem foi obtida a partir do número de folhas com sintomas dividido pelo número total de folhas avaliadas na parcela.

4.2 Obtenção das variáveis ambientais

Utilizou-se uma estação microclimática (Datalogger-CR10X Campbell Scientific Inc) somente nos dias de avaliação da intensidade da doença. Os sensores ligados à estação forneceram os dados de temperatura máxima, média e mínima (°C), umidade relativa do ar (%) e velocidade do vento (m/s). O aparelho foi instalado na área central do experimento entre duas fileiras e os sensores foram fixados a um suporte na altura do terço médio da planta a 1,5 metro do solo.

Foram ainda coletados dados referentes à precipitação (mm), umidade relativa do ar (%) e temperatura máxima, média e mínima (°C), diariamente, entre o período de setembro de 2003 a novembro de 2004, da Estação Climatológica localizada no campus da Universidade Federal de Lavras, a 3.000

metros de distância. Esses dados foram plotados para melhor visualizar essas variáveis durante a condução do experimento.

4.3 Análise dos dados

A quantidade de esporos, as variáveis ambientais e a intensidade de doença foram plotadas utilizando-se o 'Microsoft Excel'.

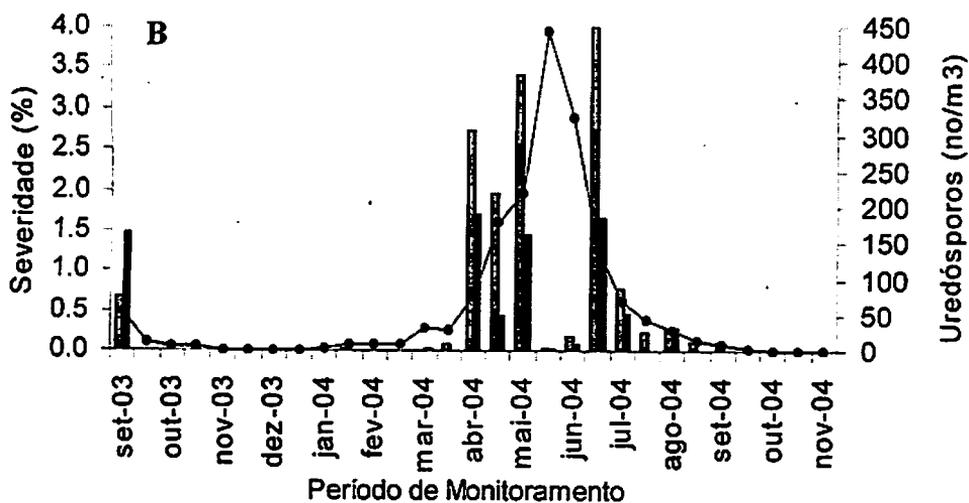
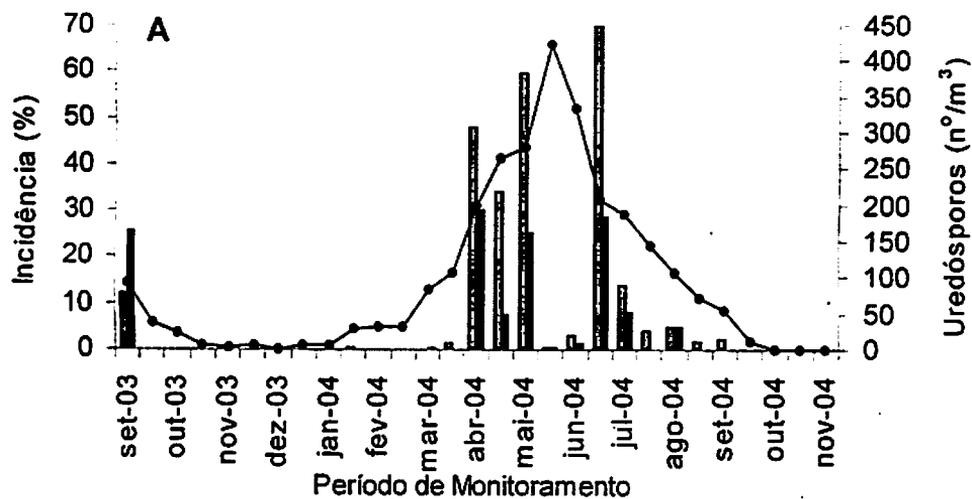
Foi realizada a correlação da quantidade de uredósporos no ar com as variáveis ambientais (ocorridas durante cada avaliação e também aos 15, 30 e 45 dias anteriores a cada avaliação), a intensidade (incidência e severidade) da doença e entre as duas alturas de coleta. Em todas as análises, utilizou-se o programa SAS (The SAS System for Windows, SAS Institute Inc. Cary, NC, USA). Na análise de correlação, os dados do mês de junho não foram incluídos devido ao número reduzido de uredósporos coletados naquele período. Por isso, os dados foram divididos em dois grupos para a correlação. O primeiro grupo correspondeu aos valores de setembro a maio e o segundo de julho a novembro.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Dispersão dos uredósporos de *Hemileia vastatrix*

Não foram coletados esporos de *H. vastatrix* entre outubro de 2003 a janeiro de 2004 e, nesse período, ocorreu baixa intensidade da ferrugem nas plantas avaliadas (Figuras 1 e 2). Após fevereiro de 2004, foram coletados os primeiros uredósporos a 1,50 metro do solo, coincidindo com o início da taxa de progresso da doença (8 de fevereiro de 2004). Um mês depois (24 de março), foram observados os primeiros uredósporos coletados a 3,0 metros do solo. Maiores quantidades de uredósporos foram coletadas nos meses de abril, maio e julho, em ambas as alturas avaliadas e o decréscimo no número dos uredósporos iniciou-se por volta do mês de agosto (Figura 1).

A baixa intensidade da doença bem como o número elevado de folhas observadas entre outubro de 2003 e janeiro de 2004, tornando a copa das plantas mais fechada, pode ser a causa da falta de esporos de *H. vastatrix* no ar. Monitorando a flutuação de esporos no ar de *Peronospora tabacina*, Aylor (1986) observou que o número de esporos liberados no ar estava relacionado com o volume da copa das plantas de fumo. Somente uma pequena quantidade de esporos de *P. tabacina* pôde ser liberada na atmosfera, quando as copas das plantas estavam fechadas; além disso, eram necessários pequenos picos de vento entre as plantas. A dispersão dos uredósporos no ar nessa fase também pode ter sido dificultada devido à alta umidade relativa do ar e à precipitação elevada (Figura 3). Segundo Kushalappa (1994), altas precipitações podem lavar os esporos na planta, reduzindo a dispersão do fungo.



- Coletor a 1,50 metro do solo
- Coletor a 3,0 metros do solo
- ◆ Incidência (A) e severidade (B) de ferrugem

FIGURA 1. Número de uredósporos de *Hemileia vastatrix* por m³ de ar, incidência (A) e severidade (B) da ferrugem de setembro de 2003 a novembro de 2004 em duas alturas de coleta. UFLA, Lavras, MG. 2005.

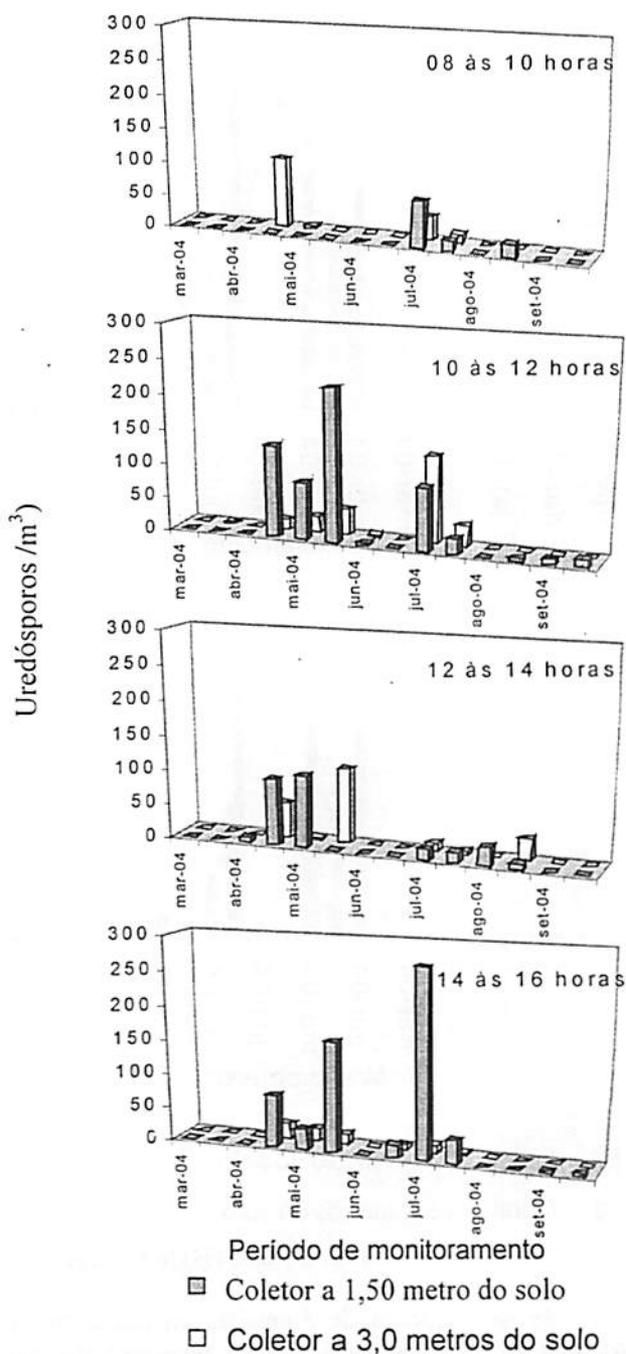


FIGURA 2. Número de uredosporos de *Hemileia vastatrix* por m³ de ar em diferentes horários e alturas de coleta. UFLA, Lavras, MG. 2005.

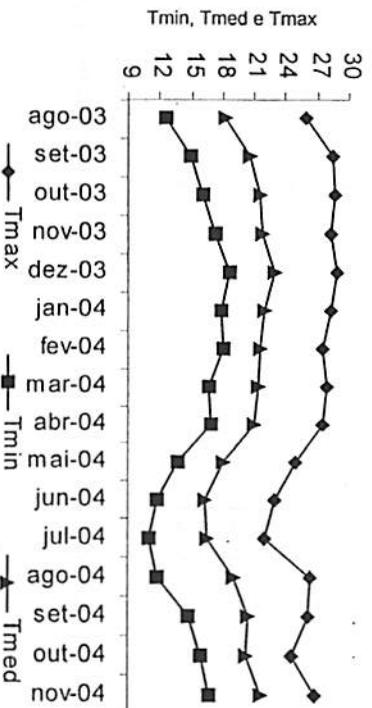
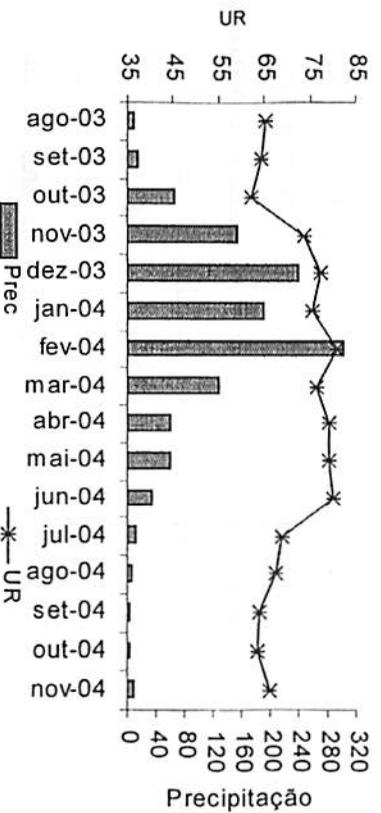


FIGURA 3. Variáveis ambientais entre agosto de 2003 a novembro de 2004. Linha: UR-umidade relativa do ar, Tmax-temperatura máxima, Tmed-temperatura média, Tmin-temperatura mínima. Coluna: Precipitação.

Neste estudo, os uredósporos presentes no ar não foram visualizados antes da detecção das pústulas da ferrugem no café. Em outro patossistema, Aylor et al. (1983), observaram que os esporângios de *Peronospora tabacina* dispersos no ar chegavam no hospedeiro entre 10 a 14 dias antes dos primeiros sinais da doença nas plantas de fumo. No presente estudo, os uredósporos

responsáveis pelas infecções iniciais provavelmente foram liberados e dispersos pelo impacto das gotas de chuva sobre as primeiras lesões na superfície das folhas. Em estudos realizados na mesma área experimental verificou-se a importância das gotas de chuva como o principal agente responsável pela liberação, dispersão dos uredósporos entre as folhas do cafeeiro nos primeiros meses da visualização dos sinais do fungo. Ainda, segundo Aylor et al. (1983), o número de esporos de *P. tabacina* liberados no ar em plantas de fumo depende da severidade da doença na cultura, do tamanho da área de cultivo e da turbulência e velocidade do vento. No caso da ferrugem, os uredósporos liberados posteriormente para o ar foram resultantes das primeiras lesões formadas durante o período de precipitação e umidade relativa elevada, tornando o vento o agente principal na dispersão do fungo. O vento pode ter contribuído, principalmente para aumentar a severidade. Esse fato fica evidente quando verifica-se a ausência de chuva no período de maior progresso da doença.

5.2 Quantidade de uredósporos na duas alturas e horários de coleta

Nas primeiras horas do dia, o coletor localizado a 3,0 m coletou mais uredósporos que a 1,5 m do solo. No entanto, a partir das 10:00 horas, os valores foram sempre menores em relação ao coletor posicionado a 1,50 m. A quantidade de uredósporos coletados também foi influenciada pelo horário. O coletor localizado a 1,50 metro do solo obteve o menor número de uredósporos no intervalo de 08:00 às 10:00 horas (103 uredósporos/m³) enquanto o maior valor foi observado no intervalo das 14:00 às 16:00 horas (678 uredósporos/m³) (Figuras 2 e 4). Na altura de 3,0 metros, o menor número de uredósporos foi observado no intervalo das 14:00 às 16:00 horas (123 uredósporos/m³) e o maior valor ocorreu das 12:00 às 14:00 horas (273 uredósporos/m³). O maior número

de uredósporos coletados na altura de 1,50 metro do solo pode ser atribuída à esporulação de *H. vastatrix* em lesões foliares próximas ao coletor.

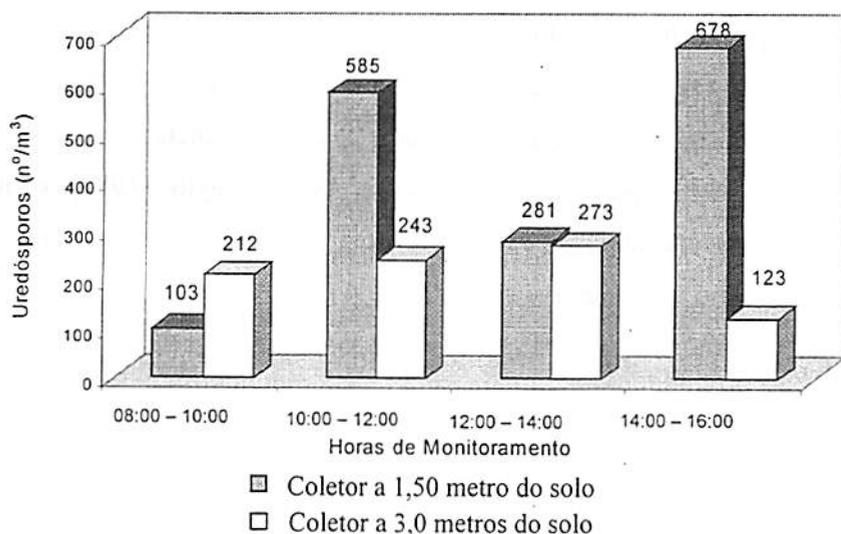


FIGURA 4. Número de uredósporos de *Hemileia vastatrix* por m^3 de ar em diferentes horários e alturas de coleta. UFLA, Lavras, MG. 2005.

Apesar da variação da quantidade de uredósporos entre as alturas avaliadas obtiveram-se coeficientes de correlação positivos e significativos entre ambas (Tabela 1). No intervalo das 10:00 às 12:00 horas, foram observados os maiores coeficientes de correlação entre as duas alturas de coleta (1,5 e 3,0 m).

Essa correlação pode justificar a avaliação da quantidade de uredósporos em somente uma altura de coleta e em um único período do dia, para facilitar seu uso no desenvolvimento de futuros sistemas de previsão.

5.3 Correlação entre quantidade de uredósporos no ar e variáveis ambientais.

A correlação entre a quantidade uredósporos no ar e as variáveis temperatura máxima, média e mínima, umidade relativa do ar, velocidade do vento (a 1,5 e 3,0 m do solo), precipitação e insolação, não foram significativas nas duas alturas de coleta e no período avaliado (Tabela 1). Também não foi observada correlação entre a quantidade e de esporos coletada com as variáveis ambientais monitoradas das 8 às 16 horas. Aylor e Taylor (1982), verificaram que a quantidade máxima de esporos de *P. tabacina* era coletada quando a umidade relativa do ar estava abaixo de 70%.

TABELA 1. Correlação entre a quantidade de esporo coletada no ar e a incidência e severidade da ferrugem no mesmo período e quinze dias anteriores a coleta de esporos. UFLA, Lavras, MG. 2005.

Hora de coleta	Período de correlação	Altura coletores (m)	Alto/Baixo ¹		Correlação 1 (mesmo dia) ²		Correlação 2 (15 dias anterior a coleta) ³	
			Alto	Incidência	Severidade	Incidência	Severidade	
8 as 10 horas	Set. a	1,5		0,31	0,12	0,08	0,22	
	Maio	3,0		0,20	-0,05	0,11	0,09	
	Julho a	1,5	0,95**	0,71	0,93**	0,77	0,77	
	Out.	3,0		0,75*	0,95**	0,84	0,88	
10 as 12	Set. a	1,5	0,94**	0,86*	0,85*	0,82	0,87*	
	Maio	3,0		0,93**	0,97**	0,82	0,93*	
	Julho a	1,5	0,99**	0,68	0,91**	0,73	0,79	
	Out.	3,0		0,71	0,94**	0,81	0,86*	
12 as 14	Set. a	1,5	-0,004	0,55	0,34	0,90*	0,98**	
	Maio	3,0		0,67	0,70	0,55	0,52	
	Julho a	1,5	0,07	0,77*	0,57	0,66	0,65	
	Out.	3,0		0,26	0,27	0,13	0,01	
14 as 16	Set. a	1,5	0,64	0,76	0,79*	0,74	0,76	
	Maio	3,0		0,84*	0,70	0,86	0,93*	
	Julho a	1,5	0,98**	0,66	0,91**	0,76	0,81*	
	Out.	3,0		0,75**	0,95**	0,84*	0,88*	
Total	Set. a	1,5	0,93**	0,90**	0,84*	0,85	0,91*	
	Maio	3,0		0,70	0,59	0,66	0,66	
	Julho a	1,5	0,98**	0,73	0,96**	0,85	0,59*	
	Out.	3,0		0,76	0,96**	0,85	0,88*	

¹ Correlação entre os coletores a 1,5 e 3,0 metros da altura do solo; ² correlação entre o número de uredósporos coletados e a incidência e severidade da ferrugem amostrados no mesmo dia; ³ correlação da incidência e severidade da ferrugem amostrados 15 dias anteriores à coleta dos uredósporos no ar; * significativo a 5% de probabilidade; **significativo a 1% de probabilidade.

Essa ausência de correlação pode ser devido à probabilidade de ocorrer, ocasionalmente, condições favoráveis à dispersão dos uredósporos, não captadas pelos sensores durante as coletas. Por exemplo, pode ter ocorrido pequenos picos de velocidade do vento na projeção da copa da planta ou ocorrência de chuvas em um curto período de tempo. Além de quê, a baixa precipitação e a umidade relativa do ar (Figura 3) também podem ter sido responsáveis pelo aumento no número de uredósporos no ar entre abril e junho. Para a construção de sistemas para prever a intensidade da doença em um dado período, talvez fosse necessário monitorar diariamente a dispersão dos uredósporos de *H. vastatrix* no ar.

Para Nutman et al. (1960), a dispersão dos uredósporos de *H. vastatrix* pelo ar tinha pouca importância na disseminação da doença, sendo os respingos de chuva os principais agentes de liberação do propágulo. No entanto, a participação do vento no transporte de uredósporos foi comprovada por Martinez et al. (1975). Utilizando um avião agrícola, ao qual foi adaptado um coletor de uredósporos tipo Burkhard (coletor volumétrico), os autores encontraram uredósporos de *H. vastatrix* na altura de 50 a 1.000 metros da superfície do solo e estes apresentaram boa capacidade de germinação.

Mesmo não havendo correlação, neste estudo o vento foi um importante agente de liberação e dispersão de propágulos do fungo em determinados períodos do ano. Os uredósporos presentes nas hastes coletoras provavelmente foram provenientes das lesões formadas no processo policíclico da doença. Assim, o vento passou a ser um agente responsável pela disseminação e aumento da severidade da doença na planta. Figueiredo et al. (1977) notaram a presença de uredósporo no ar durante todo o ano agrícola da cultura (1976/77). No entanto, os autores observaram a ocorrência da maior quantidade de uredósporos no mês de maio, próximo ao período de máximo progresso da doença (junho).

Além do ambiente, o patógeno e o hospedeiro também podem influenciar o número de uredósporos no ar (Amorim, 1995; Mendes et al., 2003). Normalmente, o maior número de propágulos fúngicos é encontrado no período reprodutivo da cultura (Mendes et al., 2003). Nesse período, ocorre a translocação de nutrientes das folhas para os frutos. Para os fungos biotróficos, como as ferrugens, esse período corresponde à fase de maior produção de urédias.

5.4 Correlação entre concentração de uredósporos no ar e intensidade da ferrugem

Altos coeficientes significativos e positivos de correlação entre uredósporos no ar e a incidência e severidade da ferrugem foram observados em grande parte dos horários e em ambas as alturas de coleta (Tabela 1). Nota-se que, ao longo das avaliações o número de uredósporos coletados nas duas alturas (1,5 e 3,0 metros) coincidiu com o progresso da doença (Figura 1). No entanto, no mês de junho, a quantidade de uredósporos nas duas alturas avaliadas apresentou uma drástica redução em relação aos meses de maio e julho. Além disso, os valores encontrados nesse mês não corresponderam com a intensidade de doença observada no campo. Hausbeck e Pennypacker (1991), monitorando a flutuação de esporos de *Botrytis cinerea* com um coletor volumétrico (Burkard), verificaram que a quantidade de esporo no ar foi influenciada pela dispersão ocorrida no dia anterior, ou seja, a alta densidade de *B. cinerea* observada em um dia era, muitas vezes, seguida pela sua redução no dia seguinte, sob a mesma condição de dispersão. Esse fato pode justificar a drástica redução da quantidade de uredósporos de *H. vastatrix* no mês de junho.

No intervalo das 10:00h às 12:00h foram observados os maiores coeficientes de correlação nos dois grupos avaliados (setembro a maio e junho a

novembro). Quando as correlações foram realizadas entre a quantidade de uredósporos no ar e a intensidade da ferrugem observada aos 15, 30 e 40 dia anteriores e posteriores a cada data de coleta, observaram-se melhores coeficientes aos 15 dias posteriores à última avaliação, no horário de 12:00 às 14:00 horas ($R^2=0,90$ e $0,98$ para incidência e severidade) (Tabela 1).

Entre os meses de agosto e setembro, ainda se observou a presença de uredósporos da ferrugem no ar (Figura 1). Nesse período, o cafeeiro inicia a renovação das folhas para o próximo ano agrícola e o fungo sobrevive na forma de micélio nas lesões mais velhas ou em lesões que já estão em início. Assim, as folhas infectadas na planta servirão como a principal fonte de inóculo para um novo ciclo da doença. Um novo ciclo da doença será formado nos próximos meses, iniciando com o aumento da incidência propiciado pelas gotas de chuva no período de janeiro a fevereiro, e o aumento da severidade favorecido, principalmente, pelo vento nas épocas mais secas e frias do ano.

6 CONCLUSÕES

- A quantidade de uredósporos, coletados nas duas alturas (1,5 e 3,0 metros do solo), coincidiu com o progresso da ferrugem.

- O período de maior quantidade de uredósporos coletados ocorreu nos meses de abril, maio e julho e o decréscimo iniciou-se por volta de agosto, juntamente com o decréscimo da intensidade da doença.

- A maior quantidade de uredósporos foi observada no intervalo de 08:00 às 10:00 horas na altura de 1,5 m e 12:00 às 14:00 horas na altura de 3,0 m do solo.

- Não houve correlação entre a quantidade de uredósporos coletados e as variáveis ambientais.

- Coeficientes de correlação positivos e significativos foram observados entre a quantidade de uredósporos coletados e as duas alturas de coleta em quase todos os intervalos de amostragem; verificou-se também a mesma correlação com a intensidade da doença ocorrida aos 15 dias anteriores a cada coleta de uredósporos.

- Os maiores coeficientes de correlação entre quantidade de uredósporos e intensidade da doença foram observados nos intervalos de 10:00 às 12:00 horas e na soma diária da quantidade de uredósporos coletados.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMORIM, L. Disseminação. In: BERGAMIM FILHO, A.; KIMATI, H.; AMORIM, L. **Manual de fitopatologia: princípios e conceitos**. 3.ed. São Paulo: Agronômica Ceres, 1995. p.268-294.

AYLOR, D.E. A framework for examining inter-regional aerial transport of fungal spores. **Agricultural Meteorology**, v.38, p.263-288, 1986.

AYLOR, D.E.; TAYLOR, G.S.; RAYNOR, G.S. Long-range transport of tobacco blue mold spores. **Agricultural Meteorology**, v.27, p.217-232, 1982.

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

FIGUEIREDO, P. et al. Presença de uredosporos de *Hemileia vastatrix* no ar e sua importância sobre a epidemiologia da ferrugem. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 5., 1977, Guarapari-ES. **Resumos Expandidos...** Rio de Janeiro: IBC, 1977. p.87.

GODOY, C.V.; BERGAMIN FILHO, A.; SALGADO, C.L. Doenças do cafeeiro (*Coffea arabica* L.). In: KIMATI, H. et al. **Manual de fitopatologia: princípios e conceitos**. 3.ed. São Paulo: Agronômica Ceres, 1995. p.184-200.

HAUSBECK, M.K.; PENNYPACKER, S.P. Influence of grower activity and disease incidence on concentrations of airborne conidia of *Botrytis cinerea* among geranium stock plants. **Plant Disease**, v.75, n.8, p.798-803, 1991.

KUSHALAPPA, A.C. Epidemiologia da ferrugem do cafeeiro sob alta densidade de plantio: um enfoque de sistema. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE CAFÉ ADENSADO, 1994, Londrina. **Anais...** Londrina: IAP, 1994. p.131-147.

KUSHALAPPA, A.C.; CHAVES, G.M. An analysis of the development of coffee rust in the field. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v.5, n.1, p.95-183, 1980.

MARTINEZ, J.A. et al. Presença de esporos de *Hemileia vastatrix* Berk. & Br., agente causal da ferrugem do cafeeiro, em diferentes altitudes, nas principais áreas cafeeiras dos Estados de São Paulo e Paraná (Brasil). *O Biológico*, v.41, p.77-88, 1975.

MENDES, C.S.; REIS, E.M.; SÔNEGO, O.R. Flutuação anual de esporangiosporos de *Plasmopata viticola*, no as, em Bento Gonçalves, RS. *Summa Phytophologica*, v.29, n.4, p.362-364, 2003.

NUTMAN, F.J.; ROBERTS, F.M.; BOCK, K.R. Method of uredosporos dispersal of the coffee leaf rust fungus, *Hemileia Vastatrix*. Department of Agriculture, Kenya. *Trans. Brit. Mycology Soc.*, v.43, n.3, p.509-515, 1960.

PANISSON, E.; REIS, E. M.; BOLLER, W. Quantificação de propágulos de *Gibberella zeae* no ar e infecção de anteras em trigo. *Fitopatologia Brasileira*, Brasília, v.27, n.5, p.489-494, 2002.

REIS, E.M.; MÁRIO, J.L. Quantificação do inóculo de *Diplodia macrospora* e de *D. maydis* em restos culturais, no ar, e sua relação com a infecção em grãos de milho. *Fitopatologia Brasileira*, Brasília, v.28, n.2, p.143-147, 2003.

ZAMBOLIM, L. Efeito de baixas temperaturas e do binômio temperatura-umidade relativa sobre a viabilidade dos uredósporos de *Hemileia vastatrix* Berk. & Br. e *Uromyces phaseoli* Arth. 1973. 52p. Dissertação (Mestrado em Fitopatologia)-Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

ZAMBOLIM, L. et al. Café (*Coffea arabica* L.), controle de doenças. In: RIBEIRO DO VALE, F. X.; ZAMBOLIM, L. **Controle de doenças de plantas: grandes culturas**. Viçosa, MG: Departamento de Fitopatologia; Brasília: Ministério da Agricultura e Abastecimento, 1997. v.2, p.83-179.

CAPÍTULO 4

MONITORAMENTO DA DISTRIBUIÇÃO DE CONÍDIOS DE *Cercospora coffeicola* NO AR EM LAVRAS, MG.

1 RESUMO

OLIVEIRA, Frederico Alberto de. Monitoramento da distribuição de conídios de *Cercospora coffeicola* no ar em Lavras, MG. In: _____. **Validação de modelos de previsão da ferrugem do cafeeiro e monitoramento de esporos de *Hemileia vastatrix* e *Cercospora coffeicola* em Lavras, MG.** 2005. p.98.. Tese (Doutorado em Fitopatologia)Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.*

Diante da ausência de trabalhos que relacionem a intensidade da cercosporiose do cafeeiro com a quantidade de conídios no ar, objetivou-se no presente estudo, monitorar a flutuação de conídios aéreos de *Cercospora coffeicola*, em lavoura de café, na região de Lavras, MG. Para a amostragem, empregou-se o coletor “Rotorod modelo 20”, obtendo-se o volume de conídios/m³. Nesse aparelho, dois bastões serviram de superfície de aderência para a coleta dos conídios de *C. coffeicola*. O aparelho foi posicionado na altura de 1,5 e 3,0 metros do solo, na área central da lavoura de café. A coleta foi realizada no período de setembro de 2003 a novembro de 2004, em intervalos de 15 dias, durante 8 horas diárias. A cada duas horas, os bastões foram substituídos e a contagem dos conídios foi realizada com o auxílio do microscópio de luz. A maior quantidade de conídios do fungo foi coletado nos meses de fevereiro a maio, juntamente com períodos de precipitação e umidade relativa elevada. Entre os intervalos de coleta, a maior quantidade de conídios foi observada entre 10:00 e 12:00 horas e entre 14:00 e 16:00 horas na altura de 1,5 a 3,0 m do solo. A quantidade de conídios coletadas correlacionou-se somente com a umidade relativa do ar entre 10:00 e 12:00 horas. Alto coeficiente de correlação foi obtido entre as duas alturas de coleta. Verificou-se, ainda, a correlação positiva entre a quantidade de conídios no ar e a intensidade da doença ocorridas aos 15, 30, 45 e 60 dias anteriores a cada data de coleta.

* Comitê Orientador: Hilário Antônio de Castro – UFLA (Orientador), Edson Ampélio Pozza – UFLA.

2 ABSTRACT

OLIVEIRA, Frederico Alberto de. **Observation of the distribution of conidia of *Cercospora coffeicola* in air in Lavras-MG.** In: Validation of forecast systems of coffee tree rust (*Coffea arabica* L.) and observation of *Hemileia vastatrix* e *Cercospora coffeicola* spores distribution in Lavras-MG. Lavras: UFLA, 2005. p.98-.. (Thesis – Doctor in Phytopathology).*

Few researches relate the intensity of coffee tree brown eye spot with the amount of aerial conidia. This study monitored the fluctuation of conidia of *Cercospora coffeicola* in air, in coffee farming, in Lavras, MG, and state region. For the sampling, the collector Rotorod model 20 was used, getting the amount of conidia/m³. In this equipment two batons served as surface of tack for conidia collection of *C. coffeicola* in air. The equipment was located in the height of 1.5 and 3.0 m of the ground, in the center of the coffee farming. The collection was carried out from September 2003 to November 2004, in intervals of 15 days, 8 hours a day. Every two hours the batons were changed and, with the aid of a light microscope, conidia were counted. The highest amount of conidia of the fungi was collected from February to May, in high precipitation and high relative humidity periods. The highest amount of conidia was observed in intervals of 10:00 to 12:00 o'clock and 14:00 to 16:00 o'clock in the height of 1.5 and 3.0 m of the ground. The amount of collected conidia showed to be correlated with air relative humidity between 10:00 and 12:00 o'clock. High coefficient correlation was observed with the two heights of collection. Positive correlation was verified between the amount of conidia in the air and the intensity of the disease occurred in the 15; 30; 45 and 60 previous days of data collection.

-
- Guidance Committee: Hilário Antônio de Castro – UFLA (Major Professor), Edson Ampélio Pozza – UFLA.

3 INTRODUÇÃO

A cercosporiose ou “mancha de olho pardo” (*Cercospora coffeicola* Berk & Cooke) é uma importante doença da cultura cafeeira no Brasil (Godoy et al., 1995; Zambolim et al., 1997). Em lavouras expostas ao sol, no período da tarde e formadas em solos arenosos ou compactados, a doença é mais severa. A deficiência hídrica prolongada e a fertilização em desequilíbrio também são fatores que favorecem a ocorrência da doença. Nesses casos, a produção é reduzida e a infecção direta nos frutos influencia negativamente a qualidade do café (Carvalho & Chalfoun, 1998; Talamini, 1999).

A cercosporiose pode ser encontrada durante todo o período de condução da lavoura cafeeira. Assim, as folhas com lesões mais velhas do fungo, podem servir de fonte de inóculo para as folhas mais novas. Além disso, a intensidade da doença pode variar em função das variáveis ambientais, do hospedeiro, do patógeno e da influência do homem (Zambolim et al., 1997; Talamini, 1999; Boldine, 2001; Santos et al., 2004).

Conforme já é de amplo conhecimento, a chuva é um fator importante na disseminação dos esporos fúngicos dentro e entre plantas. No entanto, podem ocorrer picos de incidência do fungo na lavoura, mesmo em períodos do ano sem a ocorrência de precipitações (Talamini, 1999; Santos et al., 2004). Nesse caso, a ação do vento pode ser o principal agente de disseminação dos propágulos do fungo. Além da disseminação, a viabilidade dos propágulos fúngicos no ar também constitui importante fator para o início de muitos processos epidêmicos (Panisson et al., 2002; Reis & Mario, 2003). Portanto, no desenvolvimento de sistemas de previsão de doenças, além do hospedeiro, da doença e das variáveis ambientais envolvidas no processo, pode-se considerar a presença de inóculo no ar. Ou seja, é importante comprovar se em determinado estágio do hospedeiro já

existe inóculo disponível para a infecção e se há uma sincronia do início da presença de doença e a disponibilidade desse inóculo no ar. Pode-se ainda analisar a relação da presença de esporos no ar e sua contribuição para o desenvolvimento epidêmico em períodos subseqüentes (Campbell & Madden, 1990). Para isso, torna-se importante determinar a frequência, o tempo de amostragem e a posição de coleta dos esporos no ar e a relação existente entre a quantidade de esporos no ar com a intensidade da doença na planta e com as variáveis ambientais do local (Campbell & Madden, 1990).

Diante do exposto, com este trabalho objetivou-se: i) monitorar a quantidade de conídios de *Cercospora coffeicola* no ar, nas condições de Lavras-MG; ii) verificar a influência da quantidade de conídios no processo infeccioso, iii) correlacionar a quantidade de conídios com as variáveis ambientais e iv) determinar a flutuação de conídios no ar em diferentes períodos do dia.

4 MATERIAL E MÉTODOS

O monitoramento da distribuição de conídios de *Cercospora coffeicola* dispersos no ar foi conduzido no ano agrícola 2003/04, na fazenda experimental da FAEPE/UFLA, localizada no município de Lavras, MG, a 910 metros de altitude, latitude sul de 21°14' e longitude oeste de 45°, em Latossolo Vermelho escuro. A cultivar utilizada foi o Catuai Vermelho, suscetível à cercosporiose, com 17 anos de cultivo, disposto no espaçamento 0,8 x 3,6 metros.

Para amostragem dos esporos empregou-se o coletor 'Rotorod Sampler' modelo 20. O equipamento possui duas hastes coletoras, com 1,52 x 1,52 x 22 mm, as quais foram untadas com líquido adesivo (gel de silicone) para reter os esporos do fungo. A concentração de esporos (C) foi obtida de acordo com a fórmula: $C = P/V$, em que P é a quantidade de esporo coletada em um determinado volume de ar (V).

Na condição deste experimento, devido à troca das hastes coletoras ser realizada a cada duas horas a fórmula foi a seguinte: $C = P/0,25$, em que o valor de 0,25 correspondeu ao volume de ar amostrado a cada duas horas.

O equipamento foi posicionado a 1,50 e 3,00 metros de altura da superfície do solo na área central da lavoura. A coleta dos conídios foi realizada no período de setembro de 2003 a novembro de 2004, em intervalos de 15 dias, durante 8 horas por dia, iniciando-se às 8 horas e finalizando às 16 horas. A cada 2 horas, as hastes coletoras foram substituídas e a contagem dos esporos foi realizada no microscópio de luz.

4.1 Avaliação da intensidade da doença

A avaliação da intensidade da cercosporiose foi realizada em intervalos de 15 dias, durante o período compreendido entre setembro de 2003 a novembro de 2004. O experimento foi composto de 4 parcelas, correspondendo ao total de 20 plantas avaliadas, em um raio de 10 metros do equipamento. Foram amostradas 10 folhas por planta, sendo 5 folhas de cada lado, obtidas aleatoriamente em ramos localizados no terço médio da planta, entre o terceiro e o quarto par de folhas.

A incidência da cercosporiose foi obtida a partir do número de folhas com sintomas dividido pelo número total de folhas avaliadas na parcela.

4.2 Obtenção das variáveis ambientais

Durante os dias de avaliação da intensidade de doença, os dados de temperatura máxima, média e mínima (°C), umidade relativa do ar (%) e velocidade do vento (m/s) foram fornecidos por sensores ligados a uma estação (Datalogger modelo CR10X da “Campbell Scientific Inc”), responsável por monitorar o microclima. O aparelho foi instalado na área central do experimento entre duas fileiras e os sensores foram fixados a um suporte na altura do terço médio da planta, a 1,5 metro do solo.

Foram ainda coletados dados referentes à precipitação (mm), umidade relativa do ar (%) e temperatura máxima, média e mínima (°C), diariamente, entre o período de setembro de 2003 a novembro de 2004, da Estação Climatológica localizada no campus da Universidade Federal de Lavras, a 3.000 metros de distância. Esses dados foram plotados para melhor visualização dessas variáveis durante a condução do experimento.

4.3 Análise dos dados

Os dados de quantidade de conídios, das variáveis ambientais e intensidade de doença foram plotados utilizando-se o 'Microsoft Excel'. Foi realizada a correlação entre: a) a quantidade de conídios no ar com as variáveis ambientais do dia de amostragem e das condições aos 15, 30 e 45 dias anteriores a cada dia de amostragem; b) a quantidade de conídios no ar com a incidência da doença observada no dia de amostragem e aos 15 e 30 posteriores à avaliação dos esporos aos 15, 30 e 45 dias anterior a cada dia de amostragem. As análises foram realizadas no programa SAS (The SAS System for Windows, SAS Institute Inc. Cary, NC, USA).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Alturas de coleta e horários das amostragens

Em quase todo o período de coleta verificou-se a presença dos conídios de *C. coffeicola* no ar (setembro de 2003 a agosto de 2004) (Figuras 1 e 2). O período com maior número de conídios coletados, nas duas alturas avaliadas, foi nos meses de setembro e outubro de 2003 e entre os meses de janeiro a maio de 2004. Durante todo o período observou-se variação na quantidade de inóculo no ar. Para alguns autores, essas variações encontram-se relacionadas às mudanças ambientais como temperatura, umidade relativa do ar, precipitação e velocidade do vento (Hausbeck & Pennypacker, 1991; Kerssies, 1993; Xu et al., 2000; Panisson et al., 2002; Mendes et al., 2003) e a presença de hospedeiros (Reis & Mario, 2003; Mendes et al., 2003).

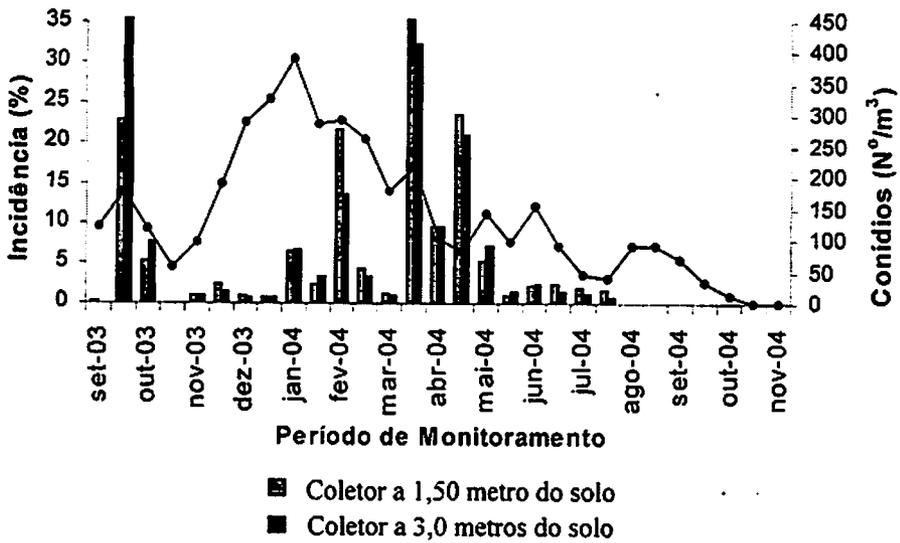


FIGURA 1. Número de conídios de *Cercospora coffeicola* por m³ de ar, e incidência da doença, observados durante o período de setembro de 2003 a novembro de 2004. UFLA, Lavras, MG. 2005.

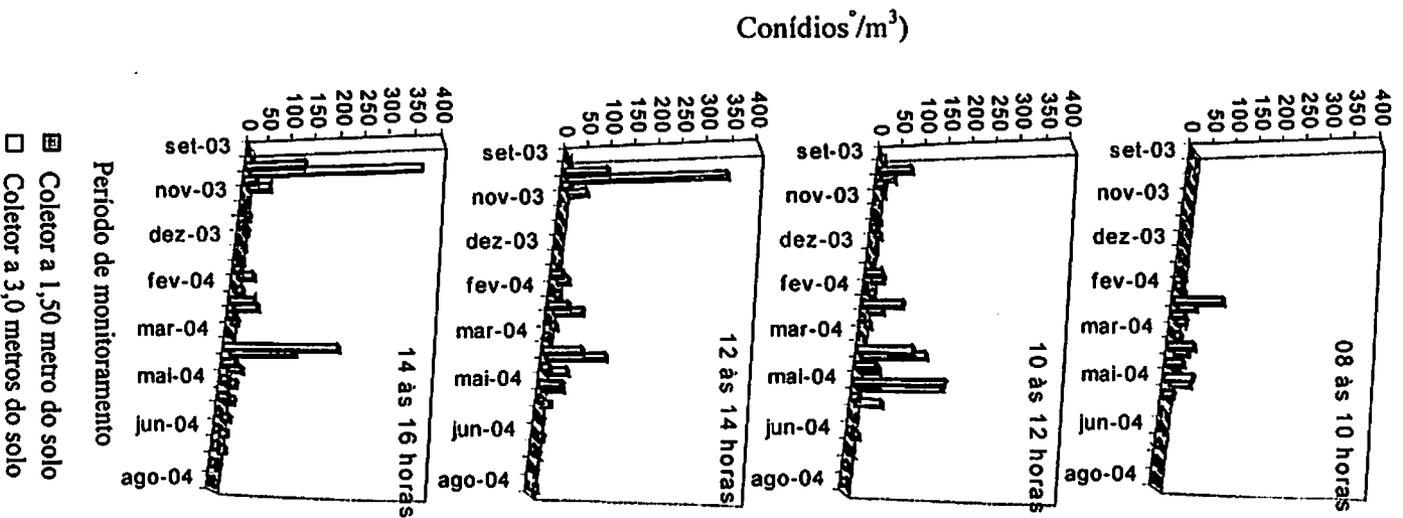


FIGURA 2. Número de conídios de *Cercospora coffeicola* por m³ de ar em diferentes horários de coleta. UFPA, Lavras, MG. 2005.

Ao analisar a quantidade de conídios, nas duas alturas de coleta, observou-se certa diferença nos valores. Porém os coeficientes de correlação foram altos e positivos (Tabela 1), o que pode indicar que o monitoramento em somente uma altura seria suficiente para monitorar os conídios de *C. coffeicola*.

O ritmo de dispersão dos conídios foi diferenciado entre os intervalos de amostragem durante o dia. Nos coletores localizados a 1,5 e 3,0 metros da altura do solo foi observado o menor número total de conídios (358 e 191 conídios/m³) no intervalo de 8:00 às 10:00 horas. Os maiores valores foram verificados no intervalo de 10:00 às 12:00 horas (640 conídios/m³) para o coletor a 1,5 metro do solo e de 14:00 às 16:00 horas (772 conídios/m³) para o coletor a 3,0 metros do solo (Figura 3).

TABELA 1. Correlação entre a quantidade de conídios de *Cercospora coffeicola* coletados no ar entre as duas alturas de coleta, com a umidade relativa do ar e com a incidência da cercosporiose no mesmo período e em períodos subsequentes.

Horário	Alturas de coleta	Alto	Umidade Relativa				
			15	30	45	60	
8 as 10	1,5 ¹	0,90** ²	0,30	0,62** ³	0,64**	0,45	0,41
	3,0		0,36	0,63**	0,65**	0,63**	0,60**
10 as 12	1,5	0,92**	0,52**	---	---	---	---
	3,0		0,60**	---	---	---	---
12 as 14	1,5	0,89**	0,16	---	---	0,46*	0,48*
	3,0		-0,06	---	---	0,41	0,52*
14 as 16	1,5	0,72**	0,28	---	---	---	---
	3,0		0,02	---	---	---	---
Valor diário	1,5	0,83**	0,43*	---	0,44*	0,48*	---
	3,0		0,21	---	0,32	0,45*	---

¹ Altura dos coletores em relação ao solo: baixo (1,5 metro) e alto (3,0 metros); ² correlação entre os coletores a 1,5 (baixo) e 3,0 metros (alto) da altura do solo; ³ correlação entre o número de conídios coletados e a incidência da cercosporiose observada aos 15, 30 e 45 dias anteriores a cada dia de coleta. * significativo a 5% de probabilidade; ** significativo a 1% de probabilidade.

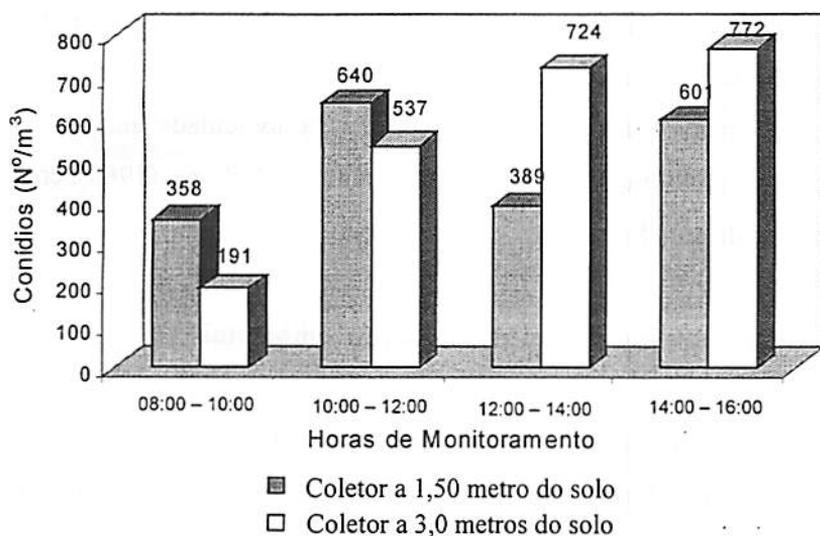


FIGURA 3. Número de uredósporos de *Hemileia vastatrix* por m³ de ar em diferentes horários de coleta. UFLA, Lavras, MG, 2005.

Em cada intervalo de coleta (a cada 2 horas), notou-se o aumento linear do número de esporos amostrados pelo coletor posicionado 3,0 metros. Ou seja, o aumento na quantidade de conídios no ar foi menor no primeiro intervalo (8:00 às 10:00 horas), aumentando até o último intervalo de coleta (14:00 às 16:00 horas). Esses resultados estão de acordo com os encontrados por Kaiser e Lukezic (1966). Monitorando a dispersão de conídios de *Cercospora hayi* em plantações de banana, estes autores verificaram que o maior número de esporos do fungo ocorria no intervalo das 14:00 às 18:00 horas. Nesse intervalo, o pico ocorreu às 18:00 horas. Quanto à *C. beticola*, a maior quantidade de conídios coletados no ar ocorreu entre 9:00 e 17:00 horas, com o pico às 11 horas (Wallin, 1972). Portanto, para os diferentes patossistemas, os conídios do gênero *Cercospora* estão presentes durante todo o período diurno, mas diferenciam-se nos horários do pico de esporos coletados.

Segundo Gregory citado por Amorim (1995), a liberação de esporos fúngicos segue, muito freqüentemente, um ritmo circadiano. Ou seja, a remoção, a produção e a maturidade dos esporos seguem uma periodicidade diária. Isso foi observado no presente trabalho e no estudo de Kaiser e Lukezic (1966), com a maior quantidade de conídios sendo coletada no período da tarde.

5.2 Relação entre esporos no ar e variações ambientais

A média das variáveis ambientais (estação meteorológica localizada no campus da Universidade Federal de Lavras) aos 15, 30 e 45 dias anteriores a cada avaliação não apresentou correlação com a quantidade de conídios no ar.

A correlação entre a quantidade de esporos coletados no ar e as variáveis ambientais armazenadas no data-logger foi significativa somente para a umidade relativa do ar no intervalo de 10:00h às 12:00h e para o valor diário acumulado de conídios (Tabela 1).

Apesar da falta de correlação, as variáveis ambientais podem ter influenciado a maior dispersão de conídios. No período de janeiro a maio, a quantidade de conídios correspondeu a períodos com velocidade média do vento de 1,6 m/s, precipitação entre 33 mm a 190 mm por mês, temperatura média entre 21°C a 26°C e umidade relativa menor que 80% (Figuras 3 e 4).

Essas observações estão de acordo com os resultados obtidos por Wallin et al.(1972), que observou que a maior quantidade de conídios de *C. beticola* ocorria no período de baixa umidade relativa do ar (60%) e temperatura acima de 22°C. O aumento da quantidade de conídios dispersos no ar também foi observado, logo após a ocorrência das chuvas e longas horas de orvalho durante a noite, tendo os primeiros conídios sido coletados logo após a seca do orvalho (08:00 horas). Além disso, geralmente, a máxima concentração de conídios ocorria dois dias após a chuva.

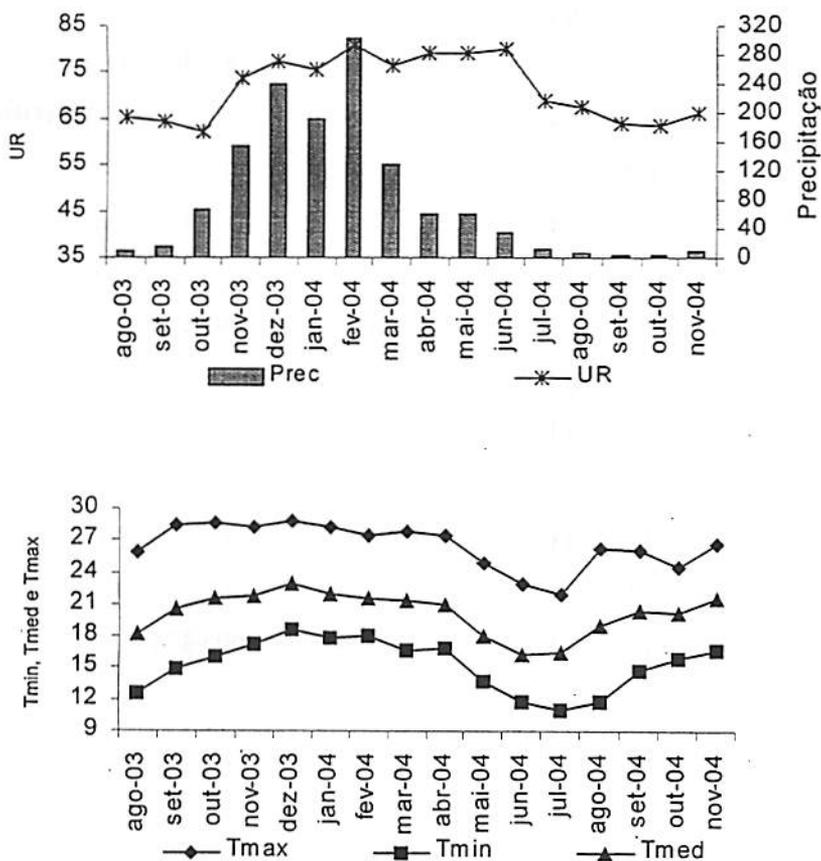


FIGURA 4. Variáveis ambientais entre agosto de 2003 a novembro de 2004. Linha: UR-umidade relativa do ar, Tmax-temperatura máxima, Tmed-temperatura média, Tmin-temperatura mínima. Coluna: Precipitação.

5.3 Correlação entre a quantidade de conídios no ar e incidência da cercosporiose

As correlações entre o número de esporos coletado e a incidência da cercosporiose apresentaram coeficientes significativos e positivos (Tabela 1).

Para os intervalos de avaliação entre 08:00h e 10:00h, 12:00h e 14:00h e o total diário, verificou-se a importância da intensidade da doença na quantidade de conídios dispersos aos 15, 30, 45 e 60 dias posteriores (Tabela 1). Em estudos realizados por Kaiser & Lakezic (1966) e Wallin et al. (1972) também verificou-se correlação positiva entre intensidade da doença e a quantidade de conídios coletados no ar. No entanto, essa correlação foi realizada somente com os dados coletados no mesmo período.

Após o mês de maio, a incidência da doença reduziu, mesmo com uma grande quantidade de conídios dispersos no ar. Isso pode estar relacionado a vários fatores, como a quantidade de conídios ineficientes para infectar o tecido foliar, a baixa viabilidade desses conídios dispersos no ar ou mesmo a falta de chuva e poucas horas de molhamento foliar, dificultando a germinação dos conídios. Nesse contexto, é importante confirmar essas e outras hipóteses para conhecer mais a respeito da epidemiologia do patógeno no campo.

6 CONCLUSÕES

- A quantidade de conídios de *C. coffeicola* coletados nas duas alturas (1,5 e 3,0 metros do solo) não coincidiu com o progresso da ferrugem.

- O período de maior quantidade de conídios coletados ocorreu nos meses de fevereiro a maio, no intervalo de 10:00h às 12:00h para o coletor a 1,5 m e 14:00 às 16:00 horas, na altura 3,0 m do solo.

- Altos coeficientes de correlação positivos e significativos foram observados entre a quantidade de conídio coletados nas duas alturas de coleta em todos os intervalos de amostragem.

- A quantidade de conídios, coletadas nas duas alturas, está relacionada à intensidade da doença ocorrida aos 15, 30, 45 e 60 dias anteriores a cada avaliação.

- O monitoramento de conídio de *C. coffeicola* poderá ser otimizado, utilizando somente uma altura e intervalo de coleta.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMORIM, L. Disseminação. In: BERGAMIM FILHO, A; KIMATI, H; AMORIM, L. **Manual de fitopatologia: princípios e conceitos**. 3.ed. São Paulo: Agronômica Ceres, 1995. p.268-294.

BOLDINI, J.M. **Epidemiologia da ferrugem e da cercosporiose em cafeeiro irrigado e fertirrigado**. 2001. 67p. Dissertação (Mestrado em Fitopatologia)- Universidade Federal de Lavras, Lavras.

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

CARVALHO, V.L.; CHALFOUN, S.M. Manejo integrado das principais doenças do cafeeiro. **Informe agropecuário**, Belo Horizonte, v.19, n.193, p.27-35, 1998.

GODOY, C.V.; BERGAMIM FILHO, A.; SALGADO, C.L. Doenças do cafeeiro (*Coffea arabica* L.). In: KIMATI, H. et al. **Manual de fitopatologia: princípios e conceitos**. 3.ed. São Paulo: Agronômica Ceres, 1995. p.184-200.

HAUSBECK, M.K.; PENNYPACKER, S.P. Influence of grower activity and disease incidence on concentrations of airborne conidia of *Botrytis cinerea* among geranium stock plants. **Plant Disease**, v.75, n.8, p.798-803, 1991.

KAISER, W.J; LUKEZIC, F.L. Influence of certain environmental conditions on spore dispersal and survival of *cercospora hayi* from banana. **Phytopathology**, v.56, n.11, p.1290-1293, 1966.

KERSSIES, A. Influence of environmental conditions on dispersal of *Botrytis cinerea* conidia and on post-harvest infection of gerbera flowers grown under glass. **Plant Pathology**, v.42, p.754-762, 1993.

MENDES, C.S.; REIS, E.M.; SÔNEGO, O.R. Flutuação anual de esporangiosporos de *Plasmopara viticola*, no ar, em Bento Gonçalves, RS. **Summa Phytophologica**, v.29, n.4, p.362-364, 2003.

PANISSON, E.; REIS, E.M.; BOLLER, W. Quantificação de propágulos de *Gibberella zeae* no ar e infecção de anteras em trigo. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v.27, n.5, p.489-494, 2002.

REIS, E.M.; MÁRIO, J.L. Quantificação do inóculo de *Diplodia macrospora* e de *D. maydis* em restos culturais, no ar, e sua relação com a infecção em grãos de milho. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v.28, n.2, p.143-147, 2003.

SANTOS, F.S.; SOUZA, P.E.; POZZA, E.A. epidemiologia da cercosporiose em cafeeiro (*Coffea arabica* L.) fertirrigado. **Summa Phytopathologia**, v.30, n.1, p.31-37, 2004.

TALAMINI, V. **Progresso da ferrugem e da cercosporiose do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) irrigado e fertirrigado por gotejamento**. 1999. 89p. Dissertação (Mestrado em Fitopatologia)-Universidade Federal de Lavras, Lavras.

WALLIN, J.R.; LOORAN, D.V. The increase of Cercospora Leaf Spot in Sugar Beets and periodicity of spore release. **Phytopathology**, v.62, n.5, p.570-573, 1972.

XU, X.; HARRIS, D. C.; BERRIE, A.M. **Horticulture Research Internatinal**, East Malling, v.90, n.12, 2000.

ZAMBOLIM, L. et al. Café (*Coffea arabica* L.), controle de doenças. In: RIBEIRO DO VALE, F.X.; ZAMBOLIM, L. **Controle de doenças de plantas: grandes culturas**. Viçosa: Departamento de Fitopatologia; Brasília: Ministério da Agricultura e Abastecimento, 1997. v.2, p.83-179.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir dos trabalhos conduzidos nesse estudo verificou-se que os modelos de previsão para a ferrugem do cafeeiro poderão auxiliar na tomada de decisão para a aplicação racional de fungicidas na lavoura cafeeira. A aplicabilidade prática desses modelos é viável, devido à fácil obtenção de suas variáveis. Com isso, espera-se o uso racional de fungicidas diminuindo o impacto ambiental e reduzindo os custos de produção.

Outros modelos podem ser construídos utilizando a concentração de esporos no ar como variável independente. Para isso, é importante a quantificação de esporos fúngicos no ar. Os resultados obtidos durante a condução dos experimentos de monitoramento de uredósporos de *Hemilea vastatrix* e conídios de *Cercospora coffeicola* podem auxiliar futuros trabalhos nessa área, otimizando o intervalo e o período de coleta de esporos no ar.