



MAURO PERARO BARBOSA JUNIOR

**DIFERENTES MANEJOS DE IRRIGAÇÃO E DE
ADUBAÇÃO NO PROGRESSO DA FERRUGEM
DO CAFEIEIRO**

LAVRAS – MG

2015

MAURO PERARO BARBOSA JUNIOR

**DIFERENTES MANEJOS DE IRRIGAÇÃO DE ADUBAÇÃO NO
PROGRESSO DA FERRUGEM DO CAFEIEIRO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Pós-Graduação em Agronomia/Fitopatologia, área de concentração em Fitopatologia, para a obtenção do título de Mestre.

Orientador

Dr. Paulo Estevão de Souza

Coorientadores

Dr. Edson Ampélio Pozza

Dra. Mirian de Lourdes Oliveira e Silva

LAVRAS - MG

2015

**Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).**

Barbosa Junior, Mauro Peraro.

Diferentes manejos de irrigação de adubação no progresso da
ferrugem do cafeeiro / Mauro Peraro Barbosa Junior. – Lavras :
UFLA, 2015.

52 p. : il.

Dissertação(mestrado acadêmico)–Universidade Federal de
Lavras, 2015.

Orientador: Paulo Estevão de Souza.

Bibliografia.

1. *Hemileia vastatrix*. 2. Manejos de irrigação e de adubação. 3.
Coffea arabica. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

MAURO PERARO BARBOSA JUNIOR

**DIFERENTES MANEJOS DE IRRIGAÇÃO DE ADUBAÇÃO NO
PROGRESSO DA FERRUGEM DO CAFEIEIRO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Pós-Graduação em Agronomia/Fitopatologia, área de concentração em Fitopatologia, para a obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 06 de agosto de 2015.

Dra. Mirian de Lourdes Oliveira e Silva	UFLA
Dr. Mario Sobral de Abreu	UFLA
Dra. Milene Alves de Figueiredo	EMBRAPA

Dr. Paulo Estevão de Souza
Orientador

Dr. Edson Ampélio Pozza
Coorientador

LAVRAS - MG

2015

A Deus.

Aos meus amados pais, Valéria Pierazo e Mauro Peraro.

À minha querida irmã, Laura Peraro e noiva Deborah

Cerqueira.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A DEUS, por tudo...

À Universidade Federal de Lavras e ao Departamento de Fitopatologia, pela oportunidade de cursar o mestrado.

Ao departamento de cafeicultura, por ter cedido a área do experimento

À Fundação de Amparo a Pesquisa de Minas Gerais, FAPEMIG, pela concessão da bolsa de estudos.

Ao professor Paulo Estevão de Souza, pela orientação.

Aos coorientadores Edson Ampélio Pozza e Mirian de Lourdes Oliveira e Silva, pela orientação e apoio.

A todos os professores do Departamento de Fitopatologia da UFLA.

A todos os alunos do DFP, especialmente aos da turma 2013-2 e aos do laboratório de Epidemiologia.

A todos os funcionários da UFLA, pelos serviços prestados.

A todos que, direta e indiretamente, contribuíram para a concretização deste sonho.

RESUMO

A ferrugem é uma das principais doenças do cafeeiro, sendo sua ocorrência afetada pelo fornecimento de água e equilíbrio nutricional às plantas. Em certos casos, a irrigação pode conferir ao hospedeiro maior resistência. No entanto, o microclima proporcionado pode favorecer o aumento na taxa de progresso da doença. A nutrição mineral deficiente ou desequilibrada pode predispor as plantas à infecção pelo fungo. Dessa forma, objetivou-se, neste trabalho, avaliar a incidência da ferrugem, em lavoura cafeeira com diferentes manejos de irrigação e de adubação. O estudo foi realizado na área experimental do Departamento de Agricultura da Universidade Federal de Lavras, em Lavras, Minas Gerais, em cafeeiro adulto da cultivar MGS Travessia. As avaliações da doença foram realizadas, no período de março de 2012 a novembro de 2014. O delineamento experimental foi em blocos casualizados, com doze tratamentos (3 manejos de adubação) x (4 manejos irrigados por gotejamento) e três repetições, totalizando 36 parcelas. O resultado referente ao índice médio de incidência da doença foi plotado em gráfico na curva de progresso da doença para incidência de ferrugem (AACPDIF). Foi observado maior AACPDIF, ($P < 0,05$) no tratamento SI e I70, durante todo o período avaliado. Plantas que sofreram maior stress hídrico ficaram mais susceptíveis à infecção do patógeno.

Palavras-chave: *Hemileia vastatrix*. Manejos de irrigação e de adubação. *Coffea arabica*. Incidência da doença.

ABSTRACT

Rust is an important disease for coffee. Its occurrence affects nutritional balance and water supply to plants. In certain cases, irrigation can impart greater resistance to the host. However, a provided microclimate can increase the progress rate of the disease. Poor or unbalanced mineral nutrition may predispose plants to fungus infection. Thus, the aim of this study was to evaluate the incidence of rust in coffee plantations with different irrigation and fertilization managements. The study was conducted with adult coffee of cultivar MGS Travessia, in an experimental area of the Department of Agriculture of the Universidade Federal de Lavras, in Minas Gerais, Brazil. Disease ratings were elaborated from March of 2012 to November of 2014. The experimental design was a completely randomized block design, with twelve treatments (3 fertilization managements) x (4 drip irrigated managements) and three replicates, in a total of 36 installments. The results for the average rate of disease incidence was graphically plotted in a disease progress curve for rust incidence (AACPDIF). We observed higher AACPDIF values ($P < 0.05$) in no irrigation (NI) and treatment with suspended irrigation for 70 days (I70) throughout the study period. Plants that have suffered greater water stress were more susceptible to infection.

Keywords: *Hemileia vastatrix*. Irrigation and fertilization managements. *Coffea arabica*. Disease incidence.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
2	REFERENCIAL TEÓRICO	12
2.1	<i>Coffea arabica</i> Lineu, 1753	12
2.2	Ferrugem do cafeeiro: etiologia, sintomatologia e epidemiologia.....	14
2.3	Influência da irrigação como fator ambiental nas doenças do cafeeiro	18
2.4	Influência da nutrição mineral como fator ambiental nas doenças do cafeeiro	22
3	MATERIAL E MÉTODOS	28
3.1	Caracterização da área experimental.....	28
3.2	Delineamento experimental e tratamentos	28
3.3	Manejos de irrigação, adubação e tratos culturais	29
3.4	Sistema de irrigação	30
3.5	Dados meteorológicos utilizados	30
3.6	Avaliação da incidência da doença	31
3.7	Avaliação de enfolhamento.....	32
3.8	Produtividade do cafeeiro irrigado.....	32
3.9	Análise estatística	32
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	34
4.1	Progresso da incidência da ferrugem no cafeeiro	34
4.2	Correlações entre as variáveis climatológicas e a ferrugem do cafeeiro	37
4.3	Incidência da ferrugem em função dos manejos de irrigação e adubação	39
5	CONCLUSÕES	42
	REFERÊNCIAS	43

1 INTRODUÇÃO

O Brasil é o maior produtor mundial de café, com participação, na safra 2014, de 44,57 milhões de sacas de 60 kg do produto beneficiado, houve uma redução de 9,83% comparado ao ano anterior 49,15 milhões de sacas. Essa redução deve-se a forte estiagem no começo de 2014, entre outros fatores, a ocorrência de doenças e pragas. Além disso, o país é o segundo maior mercado consumidor. Assim, a cultura do cafeeiro tem grande importância socioeconômica para o país, sendo o estado de Minas Gerais, responsável por cerca de 50% da produção nacional e a região sul aquela em que está localizada a maior área plantada (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB, 2014b).

A região sul do estado de Minas Gerais tem índices pluviométricos favoráveis à cultura do cafeeiro. Entretanto, em trabalhos recentes, concluiu-se que, em razão das adversidades climáticas em épocas específicas e à demanda crescente na obtenção de incrementos de produtividade e da qualidade do café, a técnica da irrigação, nessa região, tornou-se economicamente recomendada aos cafeicultores (COELHO et al., 2009; LIMA; CUSTÓDIO; GOMES, 2008). Apesar dos benefícios, o cultivo em sistema irrigado pode influenciar a intensidade de doenças, como a ferrugem (*Hemileia vastatrix* Berkeley e Broome) do cafeeiro, ocasionando perdas na lavoura (POZZA; CARVALHO; CHALFOUN, 2010). A presença de água fornecida por irrigação, principalmente pelo tipo aspersão, pode modificar o microclima da lavoura, com aumento do período de molhamento foliar e da umidade relativa e redução da temperatura na copa do cafeeiro. Tal modificação do microclima não ocorre em áreas irrigadas por gotejamento (ROTEM; PALTÍ, 1969; SUBBARAO; HUBBARD; SCHKABACH, 1997).

Vários outros fatores do ambiente são relatados por pesquisadores como componentes responsáveis por doenças na cafeicultura. Citam-se, entre eles, o tipo de sistema de plantio, o período de molhamento foliar e a intensidade luminosa, a textura e a fertilidade do solo e, por consequência, a nutrição mineral das plantas. Com isso, observa-se que a ferrugem do cafeeiro depende de uma ampla gama de fatores, responsáveis por incrementar essa doença.

Apesar dos estudos e das hipóteses já formuladas, existem ainda indagações que devem ser esclarecidas sobre a influência dos fatores ambientais mencionados interagindo nos processos epidêmicos. Entre essas indagações, destacam-se os nutrientes minerais, extensamente utilizados na cafeicultura, em todo o país. A nutrição mineral de plantas está diretamente relacionada à intensidade de doenças, sendo um fator ambiental passível de ser manipulado (DATNOFF; ELMER; HUBER, 2007; POZZA; POZZA, 2012). Isso ocorre, porque a nutrição mineral de plantas, quando manejada corretamente, pode ser utilizada como complemento ou método alternativo na redução e no controle de enfermidades, por proporcionar às plantas maior resistência ou tolerância às doenças. Associa-se a isso a menor dependência de defensivos agrícolas no sistema.

Algumas pesquisas relacionaram alguns efeitos da irrigação e da nutrição mineral na intensidade da ferrugem do cafeeiro. Porém, escassos são os trabalhos nos quais são feitos relatos da influência dos métodos e épocas de irrigação utilizada e de doses e parcelamentos de nutrientes fornecidas no campo.

A produtividade de uma cultura é fortemente influenciada pelo suprimento de água e de nutrientes minerais. Justifica-se, assim, obter informações nessa linha de pesquisa, na maior região produtora de café do mundo, o sul do estado de Minas Gerais. Pretendeu-se elaborar estratégias para reduzir perdas ao cafeicultor, com manejo eficaz da água e épocas de irrigação e

dos fertilizantes, o que refletirá na redução de impactos ambientais, melhor posicionamento de fungicida e maior sustentabilidade do agroecossistema.

De acordo com o apresentado, esta pesquisa foi desenvolvida na área experimental da Universidade Federal de Lavras (UFLA), no setor de cafeicultura, com o objetivo de avaliar o progresso da ferrugem do cafeeiro em função de diferentes manejos de irrigação e de adubação, em lavoura irrigada por gotejamento.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 *Coffea arabica* Lineu, 1753

O cafeeiro pertence à família rubiácea, sendo o subgrupo *Erythrocoffea*, do grupo *Eucoffea*, o de maior importância econômica por compreender as espécies *Coffea arabica* Lineu (café arábica) e *Coffea canephora* Pierre ex Froehner (café robusta), que possuem cafeína e são as mais cultivadas em todo o mundo (CARVALHO, 1952; KRUG; MENDES; CARVALHO, 1939). Juntas, essas espécies dominam o mercado de café, respondendo por cerca de 99% de toda a produção mundial e o consumo de café arábica em torno de 70% (DAMATTA; RAMALHO, 2006).

Em 1753, Carlos Lineu, criador da nomenclatura binomial (ou binária), descreveu a espécie *Coffea arabica* utilizando como modelo a variedade ‘Típica’, também conhecida por ‘Nacional’, ‘Comum’, ‘Sumatra’ ou ‘Arábica’. As plantas caracterizam-se por serem de porte arbustivo ou arbóreo, podendo atingir até 4,0 m e apresentam uma raiz principal amplamente ramificada nas primeiras camadas de solo. A espécie tem caule lenhoso e lignificado, ramos laterais longos e flexíveis que crescem horizontalmente, denominados plagiotrópicos e um ramo principal que cresce verticalmente, denominado ortotrópico (MELO; BARTHOLO; MENDES, 1998; RENA; MAESTRI, 1986).

O cafeeiro (*Coffea arabica*) é originário das regiões altas da Etiópia (Cafa e Enária), no continente africano, podendo ser a região de Cafa responsável pela origem do nome café. É uma planta de sub-bosque, de nome ‘café’, sendo esse nome também designado ao fruto, à semente, à bebida e aos estabelecimentos que a comercializam (GRANER; GODOY JÚNIOR, 1967).

A espécie *Coffea arabica* é nativa das florestas tropicais da Etiópia, Quênia e Sudão, em altitudes de 1.500 a 2.800m. Nessa região, a temperatura

média do ar situa-se entre 18,0° e 22,0°C, com precipitações de 1.600 a 2.000 mm (CAMARGO, 2010). Entretanto, de acordo com Camargo (1985), para o café arábica, a amplitude térmica do ar anual considerada ótima, situa-se entre 18,0° e 23,0°C. Acima dessa temperatura, o amadurecimento do fruto é acelerado, levando, muitas vezes, à perda de qualidade.

O café arábica é cultivado em mais de 80% dos países produtores, sendo mais difundido no continente americano (CAMARGO, 2010). No Brasil, o cultivo de café arábica é amplamente realizado, sendo adaptado e generalizado para pleno sol, em razão das altas latitudes (19,0° a 24,0° Sul) e altitudes mais baixas (500 a 1.300 m) que do local de origem (FAZUOLI et al., 2007). Atualmente, os seis principais estados produtores de café são, na seguinte ordem: Minas Gerais, Espírito Santo, São Paulo, Bahia, Rondônia e Paraná. Na safra 2014/2015, foram estimados 73% da produção proveniente de lavouras formadas com cultivares de *Coffea arabica* e 27% de cultivares da espécie *Coffea canephora* (CONAB, 2014a).

Nas condições tropicais brasileiras, a espécie *C. arabica* possui seis fases fenológicas, vegetativas e reprodutivas, que ocorrem de forma simultânea durante 24 meses (CAMARGO; CAMARGO; 2001). São elas: vegetação e formação das gemas vegetativas (1° fase); indução, crescimento e dormência das gemas florais (2° fase); florada, chumbinho e expansão dos frutos (3° fase); granação dos frutos (4° fase); maturação dos frutos (5° fase) e repouso e senescência dos ramos terciários e quaternários (6° fase).

No Brasil, entre as variedades de cafeeiro arábica, extensamente cultivadas, pode-se citar a Travessia. A cultivar MGS Travessia é resultado do cruzamento entre os cafeeiros Catuaí e Mundo Novo. Essa cultivar apresenta porte baixo (2,0 a 2,50 m), diâmetro da copa médio (1,80 m), bom vigor vegetativo e produtivo, frutos maduros amarelos, além de ser susceptível a

ferrugem (OLIVEIRA; PEREIRA, 2008; SILVA; RESENDE; BOTELHO, 2010).

2.2 Ferrugem do cafeeiro: etiologia, sintomatologia e epidemiologia

Doença de etiologia fúngica, a ferrugem é conhecida desde 1869, na Ásia e na África (KUSHALAPPA; ESKES, 1989). É, sem dúvida, considerada a mais limitante e devastadora enfermidade do cafeeiro (MCCOOK, 2006; RAYNER, 1972). Segundo Wellman (1970), foi constatada, pela primeira vez no Brasil, em 1970 e encontrada em todos os países latinos cafeicultores, em 1984 (KUSHALAPPA; ESKES, 1989).

Ward (1882b) descreveu, pela primeira vez, o agente etiológico, o fungo *Hemileia vastatrix* Berkeley & Broome. Porém, o nome do patógeno foi estabelecido, adequadamente, pelo respeitado inglês Berkeley e seu assistente Broome (BERKELEY; BROOME, 1869). Essa espécie é um parasita celular obrigatório (biotrófico), pertence ao Reino Fungi, Filo Basidiomycota, Ordem Uredinales e Família Chaconiaceae. A fase sexuada do patógeno é formada por teliósporos com curtos pedicelados unicelulares, télio em forma de pústula com teliósporos produzidos em basídios externos. Os urediniósporos (fase assexuada) são formados em urédias supraestomacais, podendo ocasionar a ruptura da epiderme vegetal. O formato dos urediniósporos é tipicamente reniforme, sendo metade da superfície côncava e equinulada e a outra, convexa e lisa (CUMMINS; HIRATSUKA, 1983).

Conforme Rayner (1972), a fonte de inóculo é constituída de folhas com lesões infectadas, que formam os urediniósporos responsáveis pela ocorrência de epidemias no campo. A confirmação autêntica da primeira ocorrência de epidemias no campo, ocorrência de teliósporos (fase sexuada) do patógeno, no Brasil, foi reportada por Fernandes, Evans e Barreto (2009).

A presença de água no estado líquido, na forma de molhamento foliar, é fator indispensável para a germinação do patógeno, que penetra nos estômatos (WARD, 1882b), situados na face abaxial das folhas (MCCAIN; HENNEN, 1984). Porém, são necessárias, ao menos, 48 horas de molhamento foliar para que ocorra a infecção no hospedeiro (WARD, 1882b).

Sob condições ideais, essa germinação pode ocorrer entre 3 e 6 horas, com temperatura ótima de 22,0°C e baixa luminosidade. Ainda, o intervalo de tempo que melhor favorece o processo de infecção ocorre entre 22 e 8 horas, principalmente com presença de molhamento foliar durante a noite (RAYNER, 1972). No campo, a baixa luminosidade ocorre, principalmente, em lavouras estabelecidas em locais sombreados (STAVER et al., 2001).

A influência da temperatura, da umidade e da luminosidade também foi objeto de estudo de Saccas e Charpentier (1971), que fizeram comparações de estudos *in vitro* com o que possivelmente pode ocorrer *in situ*. Os autores afirmam que a temperatura ótima entre 22,0° a 24,0°C, presença de uma camada de água e ausência de luz favorecem a germinação dos urediniósporos de *H. vastatrix*.

Resultados semelhantes foram obtidos por Montoya e Chaves (1974). Segundo esses autores, na ausência de luz ou com pouca luminosidade e a temperatura ótima de 23,7°C houve maiores porcentagens de germinação dos urediniósporos, resultando em períodos de latência mais curtos e, assim, um ciclo mais rápido da doença. Dessa forma, observa-se que o estudo dos fatores climáticos associados ao comportamento do patógeno pode auxiliar na compreensão da ocorrência de epidemias em campo, permitindo aplicações de medidas de controle adequadas (MONTROYA; CHAVES, 1974).

Ward (1982a) caracterizou a aparência externa de uma folha intensamente afetada pela ferrugem do cafeeiro, correspondendo ao modo típico de desenvolvimento dos “sintomas” (o que corresponde aos sinais do

patógeno), que podem ser resumidos como se segue: inicialmente, ocorre o surgimento de pequenas manchas levemente amarelas na face inferior da folha, de formato tendendo a circular, espalhando-se por centrifugação a partir de um ponto. Em poucos dias, formam-se corpos granulares pulverulentos de coloração vermelho-alaranjada da “ferrugem”, correspondendo aos esporos desenvolvidos pelo micélio do fungo interno na folha. Com o passar do tempo, a cor amarela torna-se mais escura, apresentando uma tonalidade marrom no centro da lesão, em decorrência da destruição da célula vegetal, resultando, posteriormente, em uma coloração marrom-escura, decorrente da morte de todo o tecido da área afetada.

As perdas de produção na lavoura atribuídas a essa doença devem-se, basicamente, à desfolha prematura, que reduz a área fotossintética da planta, com conseqüente morte dos ramos plagiotrópicos (GREE, 1993). Nutman e Roberts (1970) reportam que apenas uma pústula por folha pode ocasionar a sua queda. Após a queda das folhas velhas, as folhas novas são afetadas (SCHIEBER, 1972). Desfolhas prematuras e sucessivas da planta reduzem a vida útil da lavoura, tornando o seu cultivo antieconômico, comprometendo a safra futura (CARVALHO; CHALFOUN, 1998; SCHIEBER, 1972). Embora não seja uma situação comum encontrada em campo, já foi registrada, segundo Schieber (1975), a esporulação de *Hemileia vastatrix* em frutos de café, principalmente na espécie *Coffea liberica* originária da Libéria, pertencente ao subgrupo *Pachycoffea*, do grupo *Eucoffea*.

Zadoks e Schein (1979) afirmam que epidemias de doenças de plantas podem ser consideradas sistemas biológicos constituídos de complexos e interligados processos epidemiológicos. Dessa forma, existem processos policíclicos em que cada um deles é constituído de uma série de processos monocíclicos, na qual são realizados subprocessos acíclicos e subprocessos (ZADOKS; SCHEIN, 1979). Kushalappa e Eskes (1989) citam que, para

Hemileia vastatrix, três subprocessos podem ser reconhecidos: a infecção (germinação, penetração e colonização), a esporulação e a disseminação (liberação, dispersão e deposição) do patógeno.

O hospedeiro e os fatores ambientais que influenciam a epidemia podem ser compreendidos estudando seus efeitos pelo desenvolvimento de submodelos para cada subprocesso individual, sob condições ambientais controladas. Dessa forma, o manejo da epidemia pode ser realizado diretamente, controlando-se cada subprocesso ou indiretamente, pela manipulação dos fatores que influenciam esses subprocessos, reduzindo a taxa de progresso da doença (ZADOKS, SCHEIN, 1979).

O progresso da ferrugem está relacionado a diversos fatores que influenciam o cafeeiro (hospedeiro), o patógeno (*Hemileia vastatrix*) e o ambiente. Podem ser exemplificados, entre outros, os fatores relativos:

- a) ao hospedeiro: a densidade de plantio (CARVALHO; CHALFOUN, 1998; PAIVA et al., 2011), a carga pendente da lavoura (CARVALHO et al., 2001; COSTA; ZAMBOLIM; RODRIGUES, 2006; MEIRA; RODRIGUES; MORAES, 2008; SILVA-ACUÑA et al., 1994) e o nível de susceptibilidade das cultivares (CARVALHO, 1956; OLIVEIRA; PEREIRA, 2008);
- b) ao patógeno: principalmente a raças e o nível de inóculo (FLOR, 1971; KUSHALAPPA; ESKES, 1989; RODRIGUES JÚNIOR; BETTENCOURT; RIJO, 1975);
- c) ao ambiente: a textura, a fertilidade do solo e a presença de minerais úteis (ALVES et al., 2009; AVELINO; WILLOCQUET; SAVARY, 2004; FIGUEIREDO; HIROCE; OLIVEIRA, 1976; MARTINATI et al., 2008), a água de irrigação (BOLDINI, 2001; CARVALHO, 1998; MIRANDA et al., 2006; PAIVA et al., 2011; TALAMINI et

al., 2001, 2003), o molhamento foliar no campo (SILVA-ACUÑA et al., 1998), o regime de precipitação e a temperatura (CHALFOUN; CARVALHO; PEREIRA, 2001; KUSHALAPPA; AKUTSU; LUDWIG, 1983) e o sombreamento da lavoura (RAYNER, 1961; STAVIER et al., 2001).

2.3 Influência da irrigação como fator ambiental nas doenças do cafeeiro

Taiz e Zaiger (2013) citam que, de todos os recursos de que a planta necessita para crescer e se desenvolver, a água é o mais abundante e, ao mesmo tempo, o mais limitante para a produtividade agrícola. Segundo os autores, em condições naturais e agricultáveis, as plantas normalmente são expostas ao estresse ambiental, em razão do excesso ou à falta de água, sendo este último o mais frequente.

Gopal (1974) ressalva que a deficiência hídrica no solo tem reflexos negativos no cafeeiro, particularmente sobre as raízes absorventes das plantas, responsáveis pela absorção de água e de nutrientes, limitando o crescimento e a produção da cultura.

Assim, procurando evitar o risco dos baixos índices pluviométricos na lavoura, em áreas com escassez hídrica, o uso da irrigação suplementar torna-se uma técnica promissora. Burman et al. (1983) citam ser o principal objetivo da irrigação o fornecimento de água às plantas em quantidades suficientes para prevenir o estresse hídrico, que pode ocasionar redução na produção ou baixa qualidade do produto colhido.

Diversos trabalhos em todo o mundo relatam resultados positivos, podendo-se citar, entre outras, a cultura da batata (DETAR et al., 1996), da alface (SUBBARAO; HUBBARD; SCHULBACH, 1997), do tomate (HARMANTO et al., 2005), do amendoim (WOORDWARD et al., 2008). De

acordo com os autores, entre as principais vantagens da irrigação, podem-se incluir o cultivo em localidades antes impróprias, o aumento da eficiência de utilização de fertilizantes via água de irrigação e, sobretudo, os incrementos significativos de produtividade.

No Brasil, principalmente no estado de Minas Gerais, vários outros autores também citam que a irrigação na cultura do cafeeiro promove incrementos significativos de produtividade e rendimento, além de favorecer o crescimento e o desenvolvimento da lavoura, justificando técnica e economicamente a sua adoção pelos produtores (ARANTES; FARIA; RESENDE, 2009; COELHO et al., 2009; GOMES; LIMA; CUSTÓDIO, 2007; SILVA; TEODORO; MELO, 2008). O uso da irrigação pode também conferir às plantas maior resistência a algumas doenças. Isso, porque, quando comparado ao cultivo não irrigado, pela falta de umidade no solo, podem ocorrer deficiências e desequilíbrios nutricionais, afetando a quantidade de doenças na área (SIDDIQI, 1970).

A influência negativa da irrigação no progresso de epidemias do cafeeiro também já foi relatada por alguns pesquisadores, em Minas Gerais, no oeste do estado, Carvalho (1998) e Juliatti et al. (1998), estudaram a influência do método de irrigação no progresso de doenças do cafeeiro. Os autores observaram maior intensidade da ferrugem e da cercosporiose nos tratamentos que receberam irrigação por pivô central, com lâmina única de água (100 mm mês^{-1}), quando comparado ao irrigado por gotejamento, malha perfurada (60, 80 e 100 mm mês^{-1}) ou ao tratamento não irrigado. Constatou-se que o molhamento foliar proporcionado pela irrigação por pivô central favoreceu o progresso das doenças, que apresentou comportamento cíclico, com frequentes picos durante todo o período avaliado.

Gomes et al. (2002) avaliaram a ferrugem do cafeeiro em lavoura irrigada por pivô central sob diferentes lâminas de água, no sul de Minas Gerais

observaram menor incidência da doença nas lâminas de irrigação de 100%, 120% e 140% da evaporação do tanque classe 'A' (ECA), comparado às lâminas de 60% e 80% ECA ou ao tratamento não irrigado. Verificou-se que, possivelmente, nas maiores lâminas de irrigação houve a remoção dos propágulos de *Hemileia vastatrix* nas folhas infectadas.

Talamini et al. (2001) estudaram a incidência da ferrugem e da cercosporiose em plantas de cafeeiro com um ano de idade, irrigado por gotejamento, com lâminas de 0%, 40%, 60%, 80% e 100% ECA. Os autores não verificaram influência de diferentes lâminas de irrigação, assim como de parcelamentos de adubação para ferrugem, porém, houve maior incidência da cercosporiose no tratamento não irrigado, comparado aos irrigados, pelo fato de a deficiência hídrica dificultar a absorção de nutrientes pela planta.

Em lavoura com doze anos de cultivo, Talamini et al. (2003) também avaliaram a incidência da ferrugem e da cercosporiose em cafeeiro irrigado por gotejamento, com diferentes épocas de irrigação e parcelamento de adubação. Os diferentes parcelamentos de adubação e épocas de irrigação influenciaram somente a cercosporiose do cafeeiro. Segundo os autores, a aplicação em doze parcelamentos de adubação, distribuído manualmente e em 24 parcelamentos via fertirrigação, apresentaram menor incidência da doença, assim como nos tratamentos irrigados, entre os meses de junho a outubro.

A incidência da cercosporiose em folhas e frutos de cafeeiro, em lavoura de quatro anos e meio de plantio, irrigada por gotejamento, em diferentes lâminas (0%, 40%, 60%, 80% e 100% ECA) de irrigação e parcelamentos (3, 6 e 9 vezes) de adubação, foi estudada por Santos, Souza e Pozza (2004), que verificaram influência significativa apenas para a lâminas de água fornecida de 100% ECA. Ainda, as parcelas não irrigadas apresentaram menor produtividade, menor enfolhamento e maior incidência da cercosporiose.

A severidade da ferrugem em cafeeiro irrigado com diferentes lâminas de irrigação (0%, 40%, 60%, 80% e 100% ECA) por gotejamento foi avaliada em anos distintos, em mesma área experimental citada acima, no município de Lavras, MG. No ano agrícola 1999/2000, Boldini (2001) observou menor severidade da doença no tratamento não irrigado e maior na máxima lâmina de irrigação aplicada (100% ECA). Segundo o autor, isso ocorreu porque as maiores lâminas apresentaram maior produtividade e enfolhamento da lavoura. Porém, no ano agrícola 2002/2003, Miranda et al. (2006) observaram maior severidade da doença no tratamento não irrigado, quando comparado aos tratamentos irrigados. Esse comportamento pode estar associado ao fato de que o maior adensamento do cafeeiro criou um microclima favorável à ferrugem, esse fato, aliado ao déficit hídrico, criou uma maior dificuldade de absorção dos nutrientes pelas plantas, quebrando sua resistência horizontal, facilitando, assim, penetração do patógeno. Na mesma localidade, os autores ainda verificaram que houve redução do progresso da cercosporiose em folhas do cafeeiro com o aumento do fornecimento da lâmina de irrigação até 100% ECA, fato esse atribuído à alta umidade do solo, tornando os nutrientes facilmente disponíveis às plantas, dificultando, assim, a infecção do patógeno. Citam os autores que em menores lâminas ou, até mesmo, no tratamento não irrigado, ocorreu maior incidência da cercosporiose do cafeeiro.

Conforme Bernardo, Soares e Mantovani (2006), o manejo da irrigação deve ser adequado para cada condição de ambiente, assim como para as características de cada patógeno, a fim de minimizar seus efeitos negativos sobre as doenças no campo. Segundo os autores, deve-se evitar o prolongamento do período de molhamento das folhas e do colo das plantas, fazendo-se a irrigação durante a noite, quando, geralmente, o orvalho já está presente e aumentar o intervalo entre os dias de irrigação. Dessa forma, observa-se que, em cultivos irrigados, estudos são necessários para relacionar os métodos e os níveis de água

fornecidos pela irrigação e suas variações apresentadas com relação aos aspectos epidemiológicos de doenças de plantas.

2.4 Influência da nutrição mineral como fator ambiental nas doenças do cafeeiro

A produtividade agrícola está diretamente relacionada com a fertilização mineral. As plantas obtêm os nutrientes minerais do solo, principalmente, por meio da absorção pelo sistema radicular via fluxo de massa, na forma inorgânica (ESPSTEIN, 1999).

Segundo critérios estabelecidos por Arnon e Stout (1939), apenas 16 elementos químicos atualmente são determinados como essenciais para o crescimento e desenvolvimento dos vegetais, sendo 13 classificados como nutrientes minerais. Estes estão divididos em dois grupos de exigência pelas plantas, que são os macros (N, P, K, Ca, Mg e S) e os micronutrientes (B, Cl, Cu, Mn, Mo e Zn) (EPSTEIN, 1999).

O efeito da nutrição mineral com macronutrientes e micronutrientes em diversas 'commodities' agrícolas influenciando a intensidade de doenças foi tema intensamente discutido por Datnoff, Elmer e Huber (2007). Segundo os autores, o adequado manejo dos elementos minerais no campo pode auxiliar na sanidade das plantas, como também na qualidade dos produtos agrícolas. Assim, os nutrientes minerais podem incrementar ou reduzir a intensidade de doenças de plantas, determinando, muitas vezes, a resistência ou a suscetibilidade do hospedeiro (MARSCHNER, 1995). A nutrição mineral deficiente ou desequilibrada pode predispor as plantas à infecção por patógenos, por afetar suas estruturas histológicas, morfológicas e a composição química do tecido vegetal (AGRIOS, 2005; MARSCHNER, 2012).

Em diversos trabalhos, há menção ao fato de que a nutrição mineral, quando bem manejada, promove incrementos significativos de produtividade na lavoura, além de favorecer o crescimento e o desenvolvimento da mesma, sendo sua adoção solidamente recomendada na agricultura. Especificamente na cultura do cafeeiro, vários trabalhos relatam a influência positiva da fertilização mineral e dos níveis adequados de nutrientes na planta, ocasionando significativos ganhos de produtividade na lavoura (COELHO et al., 2009; MARTINEZ et al., 2003; SILVA; LIMA; TEXEIRA, 2009). Entretanto, como desvantagem, a adubação insuficiente e ou desequilibrada em plantas de cafeeiro pode influenciar a intensidade de severas doenças (POZZA; POZZA, 2012).

Pozza et al. (2000) avaliaram a intensidade da cercosporiose em mudas de cafeeiro com diferentes doses de potássio (K) e nitrogênio (N), cultivado em solução nutritiva. Os autores observaram aumento do progresso do total de lesões e do número de lesões da doença por folha, com acréscimo de doses de potássio, possivelmente por induzir à deficiência de cálcio e favorecer a entrada do patógeno pela lamela média da parede celular. Assim, pôde-se comprovar, em viveiros (POZZA et al., 2000), que doses excessivas de potássio favorecem a cercosporiose do cafeeiro e que a nutrição adequada com nitrogênio é uma medida eficaz no controle da doença.

O efeito da nutrição mineral na intensidade da cercosporiose também foi estudado por Garcia Júnior et al. (2003), em mudas de cafeeiro sobre solução nutritiva. Esses autores trabalharam com diferentes doses de cálcio e de potássio e verificaram redução linear no progresso da doença com o aumento das doses de cálcio, maior absorção de Ca em detrimento de K, em razão da competição desse nutriente com o potássio (MARSCHNER, 2012). A incidência da doença nas plantas decresceu linearmente até a dose máxima de cálcio fornecida.

No campo, Alves et al. (2009) estudaram a intensidade da ferrugem e da cercosporiose, em folhas e em frutos de cafeeiro e observaram variabilidade

espacial da nutrição mineral nas plantas da lavoura, possivelmente, interferindo na distribuição das enfermidades, indicando que o manejo das doenças pode ser realizado em pontos específicos na propriedade.

Ainda, o efeito da fertilização com prática cultural no aumento da suscetibilidade do cafeeiro à ferrugem foi relatado por Avelino, Willocquet e Savary (2004), por incrementar a área foliar das plantas e diminuir o período de latência do patógeno. Os autores observaram que o enfolhamento favorece a germinação, a penetração e a colonização dos urediniósporos, processos monocíclicos essenciais da epidemia, em tecidos tenros do cafeeiro.

Nutriente mineral mais abundante na matéria seca das plantas, o nitrogênio (N) é reportado como elemento químico essencial que mais influencia as doenças em plantas. O nitrogênio é um elemento fornecido às plantas em grande quantidade e, frequentemente, deficiente nos solos cultiváveis (HUBER; THOMPSON, 2007). Esse elemento está presente na natureza na forma de gás (N_2) ou como íon na solução do solo ($N-NH_4^+$ ou $N-NO_3^-$). Encontra-se como parte de compostos de orgânicos (aminoácidos, amidas, proteínas, ácidos nucleicos, etc.) da célula vegetal, participando de processos enzimáticos, sendo assimilado na planta por reações de óxido-redução (RICE, 2007).

Condições como taxa e momento de aplicação do N, tipo de solo e a interação desses fatores, podem influenciar o incremento ou decréscimo da doença. Ainda, a fisiologia da planta hospedeira, o crescimento e a virulência do patógeno, assim como a modificação do ambiente biótico ou abiótico também influenciam a intensidade da doença. Algumas estratégias de manejo da nutrição nitrogenada, a fim de reduzir a intensidade da doença e maximizar a produtividade da lavoura, podem ser adotadas como parte do controle cultural, citando-se: (i) programar uma adubação balanceada com quantidade suficiente para melhor crescimento das plantas; (ii) aplicar N evitando períodos de excesso, perda ou condições ambientais que predisõem o patógeno; (iii) utilizar

diferentes formas de N para melhor controle da doença e (iv) modificar as condições ambientais para influenciar a forma predominante de N que seja ótima para a resistência da planta ou menos favorável ao patógeno (HUBER; THOMPSON, 2007).

O potássio (K^+) está disponível na solução do solo na forma de íons. Esse elemento possui diversas funções bioquímicas e fisiológicas nas plantas, podendo-se citá-lo com regulador do potencial osmótico de células (a exemplo dos estômatos) e ativador enzimático de proteínas envolvidas na respiração e na fotossíntese e na permeabilidade de membranas (RICE, 2007). Em algumas culturas, a exemplo da cana-de-açúcar, o potássio tem maior exigência que o nitrogênio.

O (K^+) é considerado um dos nutrientes que mais influenciam as doenças, podendo apresentar efeito positivo, negativo ou neutro. Em geral, a nutrição adequada em potássio resulta em menor incidência de doenças, em razão do aumento da resistência à penetração e à colonização de muitos patógenos. A deficiência ou o excesso de potássio, os tipos de genótipos de plantas e a concentração de potássio no tecido da planta, assim como a interação desses fatores, podem influenciar de forma expressiva o aumento ou a redução de doenças. Práticas apropriadas de manejo da fertilização potássica podem auxiliar no controle de doenças, ao mesmo tempo, incrementando a produtividade das culturas. Citam-se, como importantes práticas no manejo do potássio, (i) momento, quantidade e método de aplicação adequado; (ii) utilização de cultivares eficientes na absorção de potássio; (iii) incorporação no solo de resíduos culturais; (iv) suprimento adequado de umidade no solo e (v) realizar a adequada calagem de solos ácidos (PHABHU et al., 2007).

Marschner (2012) cita que o potássio, quando presente em grandes quantidades no tecido vegetal, pode ocasionar interferência na translocação e na

disponibilidade fisiológica do magnésio e do cálcio, resultando em desordens metabólicas.

Taiz e Zeiger (2013) citam que íons de cálcio (Ca^{+2}), absorvidos na solução do solo na forma divalente, são utilizados na síntese de novas paredes celulares na lamela média, assim como no fuso mitótico, durante a divisão celular. O cálcio é requerido em diversos processos bioquímicos e fisiológicos para o funcionamento normal das membranas vegetais, sendo-lhe atribuído o papel de mensageiro secundário em várias respostas das plantas e sinais ambientais, hormonais e na defesa das plantas a patógenos (MARSCHNER, 1995; SANDERS; BROWNLEE; HARPER, 1999). Após o nitrogênio, o cálcio é o nutriente que tem maior influência no manejo de doenças em commodities agrícolas, plantas ornamentais e gramados. Em várias pesquisas, já foi relatado o efeito positivo desse elemento, reduzindo enfermidades em diversas espécies vegetais, seja aplicando no solo, nas folhas ou nos frutos.

Embora não ocorram generalizações nas recomendações da utilização do cálcio nas culturas, sabe-se que o principal papel do cálcio consiste no fortalecimento da parede celular e sua resistência à penetração por patógenos (RAUHMANN; PUNJA, 2007).

O fósforo (P) talvez seja o nutriente mais investigado na literatura, em função da sua importância para os seres vivos, limitando a produção das culturas, principalmente em solos com alto grau de intemperismo, caso dos solos brasileiros, sendo também finito e insubstituível (MARSCHNER, 2012).

O P representa elementos ricos em energia, sendo o exemplo mais comum o ATP (adenosina trifosfato), utilizado em todas as reações necessárias para a produção de energia. O P encontra-se na fase sólida nas formas orgânicas e inorgânicas, na fase líquida e em formas inorgânicas na solução do solo, na forma de (HPO_4^-). Quando absorvido desempenha papel importante na fotossíntese, respiração, metabolismo de açúcares, divisão celular, alargamento

das células e também na transferência de informações genéticas. Seu suprimento adequado promove o uso mais eficiente da água e, conseqüentemente, dos outros nutrientes. É ainda componente de muitas proteínas, coenzimas, ácidos nucléicos e substratos metabólicos. Sendo imprescindível, para o crescimento, desenvolvimento e reprodução das plantas (MARSCHNER, 2012).

Esse nutriente deve receber atenção especial em solos de regiões tropicais, pois, em razão do avançado grau de intemperismo apresentam elevados teores de óxidos e hidróxido de ferro (Fe) e alumínio (Al) na fração argila. De 75% a 90% do P aplicado nesse tipo de solo, fica retido em suas partículas, aumentando a quantidade necessária a ser aplicada no solo. A quantidade de P acumulada nos solos agrícolas, se pudessem ser disponibilizados, seriam suficientes para sustentar a produção agrícola mundial (MARSCHNER, 2012).

Os níveis de P no solo variam em função da espécie cultivada. As plantas perenes, de modo geral, apresentam mecanismos de acúmulo de reservas de P, em razão de déficits hídricos prolongados, possível razão, na qual, as respostas das culturas perenes em produção à adubação fosfatada sejam baixas (MARSCHNER, 2012). O cafeeiro necessita de doses baixas de P, sendo também pouco exportado comparado aos outros macronutrientes.

Dessa forma, existe a necessidade de se conhecer a influência dos níveis de nutrientes empregados pelos cafeicultores, como nitrogênio (N-NH_4^+ ou N-N_3^-), o potássio (K^+), o cálcio (Ca^{+2}) e o fósforo (HPO_4^-) e os reflexos de sua utilização nas principais enfermidades que acometem a cultura.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Caracterização da área experimental

O ensaio foi conduzido de 16/03/2012 a 12/11/2014, em área de pesquisa do setor de cafeicultura da Universidade Federal de Lavras (MG), com latitude de 21°13'S, longitude de 45°00'W e altitude média de 919m, apresentando clima tipo Cwa, de acordo com a classificação de Köppen, com chuvas predominantes no verão e tendo o inverno considerado como seco. O solo da área experimental foi classificado como Latossolo Vermelho distroférico.

A cultivar de café utilizada foi MGS Travessia, sendo implantada no final do ano de 2008, com espaçamento de 2,60 x 0,60 m (6.410 plantas.ha⁻¹), ocupando uma área de aproximadamente 3000 m².

3.2 Delineamento experimental e tratamentos

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados, com doze tratamentos e três repetições. Os tratamentos constam de 3 manejos de adubação e 4 manejos de irrigação, em esquema fatorial de análise de variância, totalizando 36 parcelas.

Os tratamentos de irrigação utilizados durante o ano foram: sem irrigação (SI); irrigação o ano todo (IT); suspensão da irrigação por 30 dias no mês de julho (I30); suspensão de irrigação por 70 dias entre os meses de julho a setembro (I70). A umidade no solo foi determinada por sensores com sonda de perfil (Delta-T “Profile Probe”) em tubos de acesso instalados em cada parcela.

Os tratamentos de adubação foram: (A) Adubação tradicional com base na análise de fertilidade do solo e recomendações da Comissão de Fertilidade do

Solo do Estado de Minas Gerais – CFSEMG (1999), (B) 300 kg ha⁻¹ de P₂O₅, 550 kg ha⁻¹ de N e 550 kg ha⁻¹ de K₂O e (C) 550 kg ha⁻¹ de N e 550 kg ha⁻¹ de K₂O.

Todos os tratamentos foram fertirrigados, utilizando uma bomba injetora Amiad[®], durante os meses de outubro a fevereiro, exceto as testemunhas que foram adubadas manualmente, no mesmo período. A aplicação de P₂O₅ foi feita com 2/3 da dose nos meses de setembro/outubro e 1/3 em janeiro/fevereiro. Já a aplicação de N e K₂O foi feita com 2/3 da dose entre os meses de outubro e dezembro e 1/3 nos meses de janeiro e fevereiro.

3.3 Manejos de irrigação, adubação e tratos culturais

Visando a trabalhar com manejo mais fácil para o agricultor, definiram-se as lâminas de irrigação com base na estimativa da evapotranspiração da cultura a partir da Evaporação do Tanque Classe A (ECA), dos coeficientes de tanque, recomendados por Doorembos e Pruit (1984) e coeficientes de cultura, baseados na idade das plantas e no espaçamento de plantio, conforme publicação de (ALLEN et al., 1998).

O acompanhamento indireto da umidade do solo e o consequente armazenamento de água foram feitos, por meio da instalação de sensores de água no solo. Caso os manejos da irrigação, com base na evapotranspiração, não estivessem atendendo à recomendação, foram efetuados ajustes na lâmina de água de irrigação, corrigindo os respectivos coeficientes adotados nos cálculos da evapotranspiração, a partir da evaporação do Tanque Classe A.

Nos tratamentos com suspensão da irrigação, ao reiniciá-la, a umidade do solo foi elevada à condição de capacidade de campo e, posteriormente, seguiu-se com o manejo proposto.

A adubação com micronutrientes foi via foliar de acordo com as necessidades definidas com base na análise foliar realizada nos meses de janeiro de cada ano. As lavouras foram mantidas livres de plantas daninhas mediante capina manual e os tratamentos fitossanitários foram os exigidos pela cultura e não diferenciados nas parcelas.

3.4 Sistema de irrigação

O sistema de irrigação utilizado foi o de gotejamento, do tipo localizado, e constou de reservatório com capacidade de 5000 litros, cabeçal de controle composto de bomba centrífuga, filtros de areia e disco, bomba injetora de fertilizante, manômetro e conexões, linha principal de tubo de PVC, linha de derivação de PVC e linhas laterais de polietileno com gotejadores inseridos a cada 0,50m. Periodicamente, foi avaliada a uniformidade de distribuição de água do sistema. A irrigação de cada tratamento foi controlada por registros instalados na entrada de cada parcela.

O turno de rega era fixo (as terças e sextas-feiras) e a lâmina aplicada foi definida com base no balanço hídrico simplificado entre duas irrigações.

3.5 Dados meteorológicos utilizados

Foram coletados os dados climáticos diários da Estação climatológica localizada no campus da Universidade Federal de Lavras. O período de monitoramento foi compreendido de acordo com a mesma época das avaliações da ferrugem do cafeeiro.

Os dados obtidos corresponderam aos valores médios diários da temperatura máxima, média e mínima, umidade relativa do ar, radiação e precipitação.

3.6 Avaliação da incidência da doença

Foram realizadas 24 avaliações no período compreendido entre 16/03/2012 a 12/11/2014. Para avaliar a incidência da doença foi determinada a porcentagem de folhas com sintomas da doença em relação ao total amostrado. As folhas foram avaliadas aleatoriamente por método não- destrutivo, no terço médio da planta, entre o terceiro e quarto par de folhas dos ramos plagiotrópicos, sendo amostradas 12 folhas por planta, em 8 plantas, totalizando 96 folhas por parcela. A incidência da ferrugem foi obtida por meio da fórmula:

$$I (\%) = \left(\frac{NFD}{NTF} \right) * 100$$

Em que:

I (%) = incidência da ferrugem no cafeeiro;

NFD = número de folhas doentes;

NTF = número total de folhas amostradas.

O resultado referente ao índice médio de incidência da doença foi plotado em gráfico da curva de progresso da doença, durante o período de avaliação. Os dados obtidos da incidência nas folhas de cafeeiro, ao longo das avaliações e por períodos separados, foram integrados em área abaixo da curva de progresso da doença para incidência de ferrugem (AACPDIF), segundo a equação de Shaner e Finney (1977).

$$AACPDIF = \sum_{i=1}^{n-1} \frac{(Y_i + Y_{i+1})}{2} * (T_{i-1} - T_i)$$

Em que

AACPDIF= área abaixo da curva de progresso doença para incidência de ferrugem

Y_i = proporção da doença na i -ésima observação;

T_i = tempo em dias na i -ésima observação;

n = número total de observação.

3.7 Avaliação de enfolhamento

Concomitante à avaliação das doenças, também foi avaliado o enfolhamento das parcelas, por meio de uma escala de notas desenvolvida por Boldini (2001). Foram atribuídas notas de 1 a 5, de acordo com a porcentagem de enfolhamento das plantas, sendo 1 (0 a 20% de enfolhamento); 2 (21 a 40%); 3 (41 a 60%); 4 (61 a 80%) e 5 (81 a 100%).

3.8 Produtividade do cafeeiro irrigado

A colheita das parcelas experimentais foi feita de forma manual sobre pano, iniciando-se quando houve 10% de frutos verdes nas plantas. Após a derriça, o volume, em litros do café, colhido da lavoura foi registrado. Em seguida, estimou-se a produtividade (sacas de 60 Kg há⁻¹) referente à safra dos anos agrícolas 2012/2013, com base no volume de café da lavoura.

3.9 Análise estatística

Foi utilizado, para a análise estatística do experimento, o programa Sisvar[®] (FERREIRA, 2005) versão 4.0. Realizou-se a análise de variância em

esquema fatorial e as variáveis significativas no teste F foram comparadas utilizando-se o teste de Scott-Knott.

Em seguida, foi realizada a correlação de Pearson com a incidência da ferrugem em folhas e as variáveis climáticas, com a média de 30 dias anteriores a avaliações, com o auxílio do software SAS® 9.3 (STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM – SAS, 2002).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Progresso da incidência da ferrugem no cafeeiro

Foi plotada a curva de progresso média da incidência da ferrugem (Figura 1 A), durante todo período avaliado (março de 2012 a novembro de 2014) e foram encontradas pústulas (urediniósporos) do patógeno. Nesse período, observaram-se picos da doença em 05/07/2012 (9,58%), 21/05/2013 (13,47%) e 03/06/2014 (54,57%). A maior incidência observada no ano de 2014 pode ser explicada pela maior produção registrada no ano de 2013, 65,30 sacas ha^{-1} (Tabela 1). Essa maior produtividade e, conseqüentemente, maior carga pendente, fez com que grande parte dos nutrientes presentes no solo fosse translocados para os frutos, deixando as plantas desequilibradas nutricionalmente, predispondo-as à penetração do patógeno. Alguns trabalhos mostram que maior produtividade e carga pendente são fatores que determinam maior ou menor grau de infecção do patógeno (COSTA; ZAMBOLIM; RODRIGUES, 2006; MEIRA; RODRIGUES; MORAIS, 2008).

Nos meses posteriores, após esses pontos máximos da incidência, observaram-se valores próximos de zero, isso pode ser explicado pelo fato de que a colheita realizada no final de julho, juntamente com as folhas com pústulas de ferrugem, ocasionaram desfolha intensa nas plantas (Figura 2), reduzindo a incidência da doença.

Silva-Acuña, Zambolim e Gonzalez-Molina (1994), citam existir relação direta entre o progresso da ferrugem e a queda de folhas do cafeeiro. Segundo os autores, maiores desfolhas ocorrem em tratamentos com maiores índices de infecção que refletem na produção da safra seguinte, reduzindo a índices baixos ou muitos baixos os rendimentos da produção. Ainda, Nutman e Roberts (1970)

afirmam que uma pústula pode ocasionar a queda da folha do cafeeiro. Depois das folhas mais velhas, as folhas mais novas são afetadas (SCHIEBER, 1972).

Entre os meses de dezembro a março observaram-se maiores precipitações e temperaturas (Figura 1B e 1C), condições ideais para a penetração do patógeno. A partir do mês de março, foram observadas pústulas da ferrugem e, nos meses posteriores, a incidência aumentou atingindo maior intensidade no mês de julho. Hirst (1953), afirma que, no início das chuvas, frequentemente ocorre aumento da concentração de inóculo nas amostras volumétricas, em razão do desalojamento dos esporos nas lesões existentes nas plantas. Esse fato foi registrado na quantificação de urediniósporos de *Puccinia arachidis*, agente etiológico da ferrugem do amendoim, coletado por rotorods (SAVARY; JANEAU, 1986).

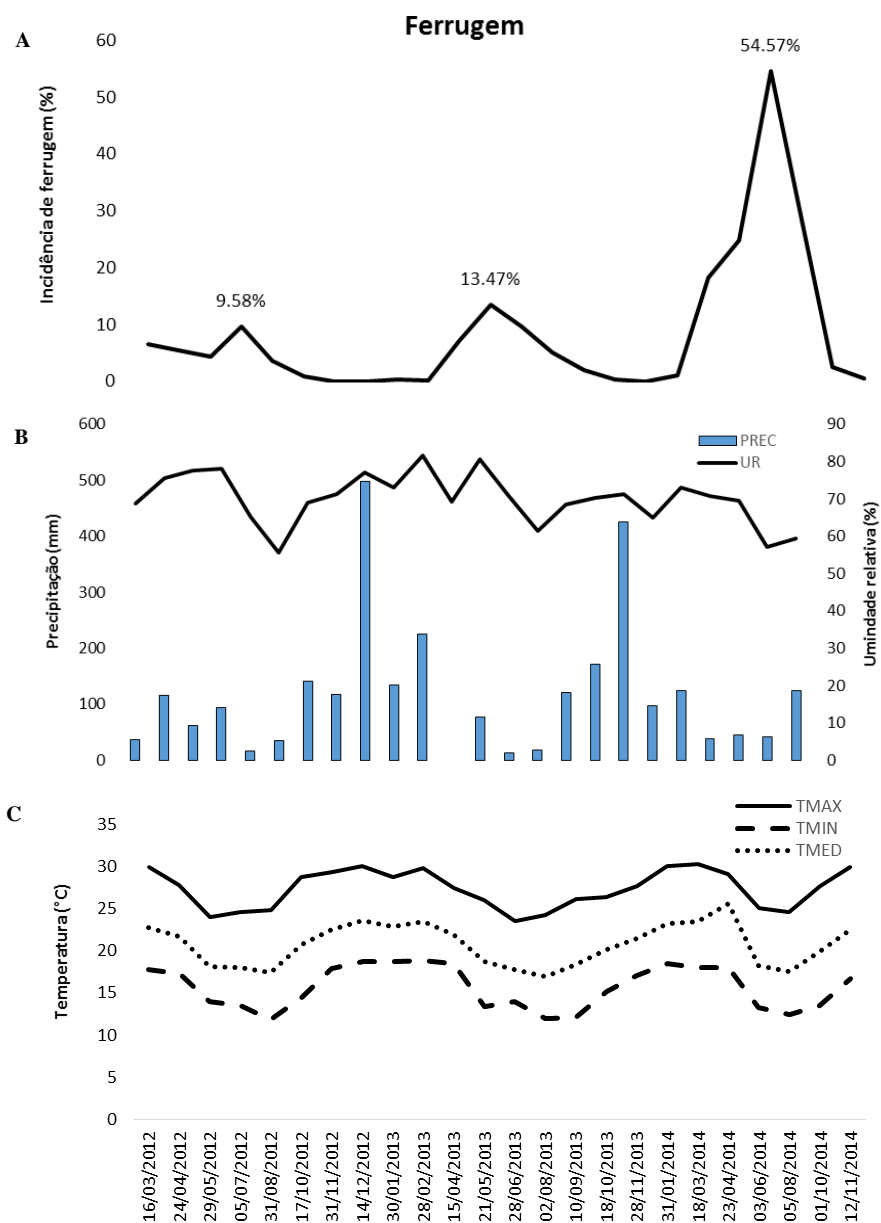


Figura 1 Curva de progresso da incidência da ferrugem (A), médias mensais das variáveis climáticas, umidade relativa (**UR**) e precipitação acumulada (**PREC**) (B) e temperatura máxima (**TMAX**), temperatura mínima (**TMIN**) e temperatura média (**TMED**) (C). No período compreendido entre março de 2012 e novembro de 2014. UFLA, Lavras – MG

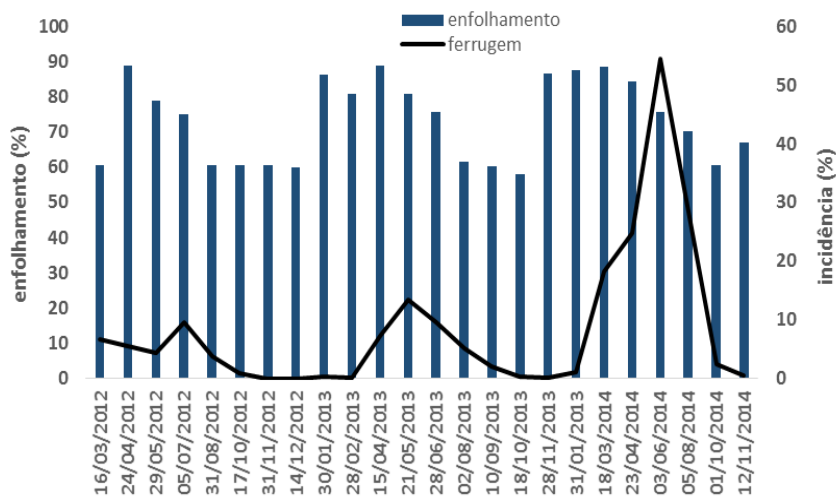


Figura 2 Enfolhamento do cafeeiro e curva de progresso da doença para incidência de ferrugem, referente ao período de março de 2012 a novembro de 2014, UFLA, Lavras – MG

4.2 Correlações entre as variáveis climatológicas e a ferrugem do cafeeiro

De acordo com os dados meteorológicos (Figura 1B e 1C), as condições foram favoráveis ao progresso da ferrugem do cafeeiro. Nos períodos de maior intensidade da doença, observou-se temperatura média máxima de 24,36°C, temperatura média mínima de 13,58°C, temperatura média de 18,01°C, umidade relativa do ar média de 76,49%, precipitação média de 69,9 mm e insolação média de 6,59 horas/dia.

A correlação entre a incidência da doença e as variáveis ambientais no período avaliado, apresentou correlação negativa com todas as variáveis, com exceção da umidade relativa (Tabela 2). Ou seja, menores valores de temperatura mínima, média, máxima e precipitação, proporcionam maiores incidências da doença. Os pontos de máxima incidência da ferrugem ocorreram nos pontos de inflexão das curvas das variáveis climáticas.

Independentemente do tratamento, foram observadas maiores incidências nos meses de maio a julho, e a partir daí a taxa de progresso da doença tornou-se negativa (Figura 1 A). Souza (1980) monitorando a incidência da ferrugem observou pontos de máxima incidência nos meses de maio a julho, resultados semelhantes aos obtidos nesse trabalho. Provavelmente, a queda na temperatura e precipitação favoreceu o aumento das pústulas da ferrugem no cafeeiro.

Talamini et al. (2001), observaram a máxima incidência da doença por volta dos meses de julho a setembro. Resultado semelhante ocorreu em Lavras, em 1998, onde a doença atingiu pontos máximos nos meses de julho a outubro. Chalfoun e Zambolim (1985) observaram condições semelhantes no ano agrícola 1982/1983, quando ocorreu atraso no início da epidemia da ferrugem, em razão da ocorrência de chuvas intensas durante os meses de dezembro a janeiro, promovendo a lavagem do inóculo da superfície foliar. Isso pode ter desfavorecido a doença, fazendo com que a ferrugem progredisse apenas a partir de março. Em seguida, a ocorrência de um inverno atípico (chuvas frequentes e temperaturas elevadas) condicionou a maior incidência da ferrugem, atingindo seu ponto máximo em setembro, diferindo completamente do padrão normal do comportamento da doença.

Observou-se grande variação com relação aos períodos de máxima incidência da doença, tanto de um ano para outro, quanto de uma região para outra. Assim sendo, consolida-se a ideia de Chalfoun (1997), na qual o deslocamento da curva está condicionado a variações climáticas de cada ano agrícola e local de produção.

Tabela 1 Coeficientes de correlação entre a incidência da ferrugem do cafeeiro e as variáveis climatológicas ocorridas nos trinta dias anteriores à avaliação de ferrugem do cafeeiro, no período compreendido entre março de 2012 e novembro de 2014, UFLA, Lavras – MG

	Tmax. (°C)	Tmin. (°C)	Tmed. (°C)	Umidade relativa (%)	Precipitação (mm)
Inc.	-0.26*	-0.22*	-0.18*	0.10*	-0.23*

* Significativo a 5% pelo teste t, ^{ns} não significativo

Inc. = incidência, **Tmax.** = temperatura máxima, **Tmin.** = temperatura mínima, **Tmed** = temperatura média.

4.3 Incidência da ferrugem em função dos manejos de irrigação e adubação

Os diferentes tratamentos de adubação não influenciaram significativamente o progresso da ferrugem durante o período avaliado. Segundo Marschener (2012), a nutrição mineral das plantas é um dos fatores que podem aumentar ou reduzir a resistência das plantas aos patógenos. Provavelmente os índices pluviométricos e sua distribuição durante o período avaliado, foram suficientes para a absorção dos nutrientes presentes no solo, protegendo as plantas contra a infecção de *Hemileia vastatrix*.

Houve influência significativa ($P < 0,05$) apenas para o tratamento de irrigação. (Figura 3). Houve maior área abaixo da curva de progresso da doença para incidência da ferrugem (AACPDIF), para os tratamentos testemunha (sem irrigação) e I70 (suspensão da irrigação por 70 dias entre os meses de julho a setembro), com valores de 6.353,24 e 5.979,06, respectivamente (Figura 3).

Para o tratamento IT (irrigação o ano todo) e I30 (suspensão de irrigação no mês de julho), observaram-se menores AACPDIF, com valores de 4.940,45 e 5.117,17, respectivamente. Nos manejos com suspensão da irrigação, era realizada, após esse período, irrigação nas parcelas até a capacidade de campo.

No presente estudo, os resultados obtidos discordaram de alguns trabalhos conduzidos no sul do estado de Minas Gerais, em cafeeiro irrigado por

gotejamento (BOLDINI, 2001; MIRANDA et al., 2006; ROTEM; PALTÍ, 1969; SANTOS, 2002; TALAMINI et al., 2001), não verificaram efeito de diferentes lâminas de água (0%, 40%, 60%, 80% e 100% ECA), sobre a incidência da doença, atribuindo esse resultado à distribuição de água, realizada de forma localizada. Citam esses autores que a falta de molhamento foliar não criou um microclima favorável à germinação e disseminação do patógeno.

Ao avaliar a ferrugem do cafeeiro no oeste de Minas Gerais, Carvalho (1998) observou maior incidência na área irrigada por pivô central, com lâmina única (100 mm mês⁻¹), comparada àquela irrigada por gotejamento (0, 60, 80 e 100 mm mês⁻¹). O autor cita que, em razão do molhamento foliar, desenvolveu-se um microclima favorável ao progresso da ferrugem.

Resultados semelhantes aos obtidos no presente experimento foram observados por (MIRANDA et al., 2006; PAIVA, 2008; SANTOS; SOUZA; POZZA, 2004), que observaram maior severidade da ferrugem do cafeeiro no tratamento não irrigado, comparados aos irrigados (% ECA), atribuindo esse fato à dificuldade de absorção dos nutrientes pela planta em função do déficit hídrico provocado pelo tratamento não irrigado.

A incidência da ferrugem observada em períodos com menores precipitações, juntamente com os manejos com suspensão de irrigação, possivelmente está relacionada à falta de água em períodos críticos e/ou de alta demanda pela cultura. Provavelmente, esse déficit, associado à falta de absorção adequada de nutrientes, favoreceu a susceptibilidade da planta ao patógeno. Conforme Rotem e Palti (1969) e Lima et al. (2010), a irrigação supre as necessidades de água pela planta, além de nutri-la melhor, não predispondo a planta à infecção do patógeno.

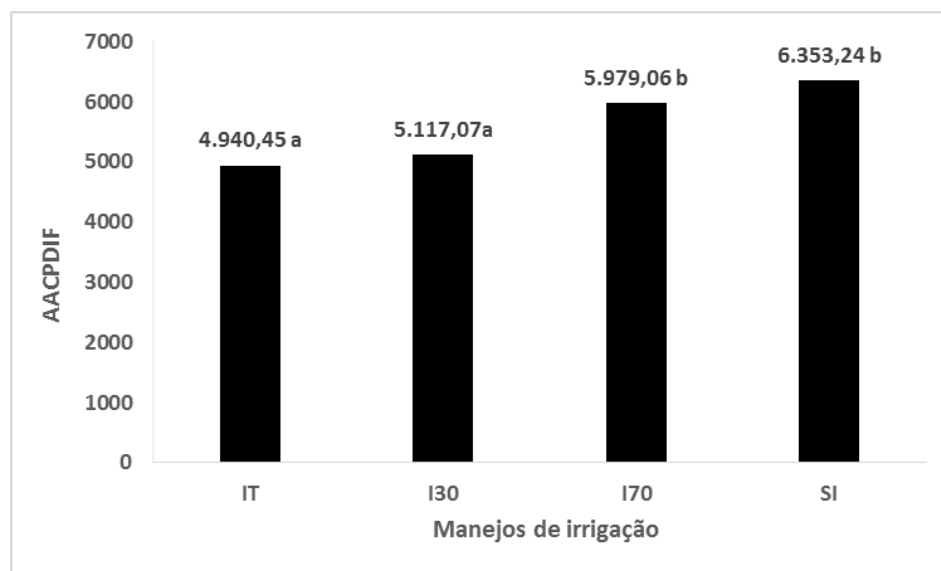


Figura 3 AACPDIF, em folhas de café, em função de diferentes manejos de irrigação, no período compreendido entre março de 2012 e novembro de 2014, UFLA, Lavras – MG

Legenda: **IT** = irrigação o ano todo, **I30** = suspensão de irrigação por 30 dias no mês de julho, **I70** = suspensão de irrigação por 70 dias entre os meses de julho a setembro, **SI** = sem irrigação.

5 CONCLUSÕES

Nas condições do experimento realizado, o manejo sem irrigação e o manejo com suspensão por 70 dias, entre os meses de julho a setembro, ou seja, quando a planta estava exposta a maiores condições de estresse, promoveram, maiores intensidades da ferrugem, conseqüentemente aumento da AACPDIF.

A maior intensidade da doença ocorreu nos meses de maio a julho, meses com menores temperaturas e pluviosidades.

As maiores intensidades da doença, 05/07/2012 (9,58%), 21/05/2013 (13,47%) e 03/06/2014 (54,57%), ocorreram com temperatura média de (18,01°C) e precipitação abaixo de (69 mm).

REFERÊNCIAS

- AGRIOS, G. M. **Plant pathology**. 5th ed. Amsterdam: Elsevier Academic Press, 2005. 922 p.
- ALLEN, R. G. et al. **Crop evapotranspiration guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998. 328 p. (Irrigations and Drainage Paper, 56).
- ALVES, M. C. et al. Modeling spatial variability and pattern of rust and brown eye spot in coffee agroecosystem. **Journal Pest Science**, Berlin, v. 82, n. 2, p. 137-148, May 2009.
- ARANTES, K. R.; FARIA, M. A. de; REZENDE, F. C. Recuperação do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) após recepa, submetido a diferentes lâminas de água e parcelamento da adubação. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 31, n. 2, p. 313-319, abr./jun. 2009.
- ARNON, D. I.; STOUT, P. R. The essentiality of certain elements in minute quantity for plants with special reference to copper. **Plant Physiology**, Rockville, v. 14, n. 2, p. 371-375, Apr. 1939.
- AVELINO, J.; WILLOCQUET, L.; SAVARY, S. Effects of crop management patterns on coffee rust epidemics. **Plant Pathology**, Malden, v. 53, n. 5, p. 541-547, Oct. 2004.
- BERKELEY, J. M.; BROOME, C. E. *Hemileia vastatrix*. **Gardeners Chronicle**, London, v. 6, n. 9, p. 1157, Nov. 1869.
- BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 8. ed. Viçosa, MG: UFV, 2006. 625 p.
- BOLDINI, J. M. **Epidemiologia da ferrugem e da cercosporiose em cafeeiro irrigado e fertirrigado**. 2001. 67 p. Dissertação (Mestrado em Fitopatologia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2001.
- BURMAN, R. D. et al. Water requirements. In: JENSEN, M. E. (Ed). **Design and operation of farm irrigation systems**. St. Joseph: ASAE, 1983. p. 189-232.

CAMARGO, A. P. de; CARMARGO, M. B. P. Definição e esquematização das fases fenológicas do cafeeiro arábica nas condições tropicas do Brasil.

Bragantia, Campinas, v. 60, n. 1, p. 65-68, mar. 2001.

CAMARGO, A. P. de. Florescimento e frutificação do café arábica nas diferentes regiões cafeeiras do Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 20, n. 7, p. 831-839, jul. 1985.

CAMARGO, A. P. de. The impact of climatic variability and climate change on arabic coffee crop in Brazil. **Bragantia**, Campinas, v. 69, n. 1, p. 239-247, Mar. 2010.

CARVALHO, A. Distribuição geográfica e classificação botânica do gênero *Coffea* com referência especial a espécie *arabica*. **Boletim da Superintendência dos Serviços do Café**, São Paulo, v. 31, n. 347, p. 1-33, jan. 1956.

CARVALHO, A. Taxonomia de *Coffea arabica* L. – V: algumas recombinações genéticas, **Bragantia**, Campinas, v. 12, n. 4/6, p. 171-178, jun. 1952.

CARVALHO, E. A. M. **Progresso da ferrugem (*Hemileia vastatrix*) em diferentes sistemas de irrigação**. 1998. 32 p. Monografia (Graduação em Agronomia) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 1998.

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

CARVALHO, V. L. et al. Influência de diferentes níveis de produção sobre a evolução da ferrugem do cafeeiro e sobre teores foliares de compostos fenólicos. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 25, n. 1, p. 49-54, jan./fev. 2001.

CHALFOUN, S. M.; CARVALHO, V. L. de; PEREIRA, M. C. Efeito de alterações climáticas sobre o progresso da ferrugem (*Hemileia vastatrix* Berk & Br.) do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 25, n. 5, p. 1248-1252, set./out. 2001.

CHALFOUN, S. M. **Doenças do cafeeiro**: importância, identificação e métodos de controle. Lavras: UFLA/FAEPE, 1997. 96 p.

CHALFOUN, S. M.; ZAMBOLIM, L. Ferrugem do cafeeiro. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 11, n. 126, p. 42-46, jun. 1985.

COELHO, G. et al. Efeito de épocas de irrigação e de parcelamentos de adubação sobre a produtividade do cafeeiro 'Catuaí'. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 33, n. 1, p. 67-73, jan./fev. 2009.

COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**. 5. ed. Lavras, 1999. 359 p.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira de café: safra 2014: terceira estimativa**. Brasília, 2014a. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/14_09_16_08_47_43_boletim_setembro_2014.pdf>. Acesso em: 03 fev. 2015.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Avaliação da safra agrícola cafeeira safra 2014**. Brasília, 2014b. 80 p.

COSTA, M. J. N.; ZAMBOLIM, L.; RODRIGUES, F. A. Efeito de níveis de desbastes de frutos do cafeeiro na incidência da ferrugem, no teor de nutrientes, carboidratos e açúcares redutores. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 31, n. 6, p. 564-571, nov./dez. 2006.

CUMMINS, G. B.; HIRATSUKA, Y. **Illustrated genera of rust fungi**. St. Paul: The American Phytopathological Society, 1983. 152 p.

DAMATTA, F. M.; RAMALHO, J. D. C. Impacts of drought and temperature stress on coffee physiology and production: a review. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, Londrina, v. 18, n. 1, p. 55-81, Jan./Mar. 2006.

DATNOFF, L. E.; ELMER, W. H.; HUBER, D. M. (Ed.). **Mineral nutrition and plant disease**. St. Paul: APS Press, 2007. 278 p.

DETAR, W. R. et al. Real-time irrigation scheduling of potatoes with sprinkler and subsurface drip systems. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON EVAPOTRANSPIRATION AND IRRIGATION SCHEDULING, 1996, St Joseph. **Proceedings...** St. Joseph: American Society of Agricultural Engineers, 1996. p. 812-824.

DOORENBOS, J.; PRUIT, W. O. **Guidelines for predicting crop water requirements**. Rome: FAO, 1984. 175 p. (FAO Irrigations and Drainage Paper, 24).

EPSTEIN, E. Silicon. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, Palo Alto, v. 50, p. 641-664, June 1999.

FAZUOLI, L. C. et al. Cultivares de café arábica do IAC. **O Agrônomo**, Campinas, v. 59, n. 1, p. 12-15, 2007.

FERNANDES, R. de C.; EVANS, H. C.; BARRETO, R. W. Confirmation of the occurrence of teliospores of *Hemileia vastatrix* in Brazil with observations on their mode of germination. **Tropical Plant Pathology**, Brasília, v. 34, n. 2, p. 108-113, Mar./Apr. 2009.

FERREIRA, D. F. **Sisvar 5.1** - Análises estatísticas por meio do Sisvar para Windows. Lavras: UFLA, 2005. Disponível em: <<http://www.dex.ufla.br/~danielff/software.htm>>. Acesso em: 09 jun. 2015.

FIGUEIREDO, P.; HIROCE, R.; OLIVEIRA, D. A. Estado nutricional e ataque da ferrugem do cafeeiro (*Hemileia vastatrix* Berk. & Br.). **O Biológico**, São Paulo, v. 42, n. 7/8, p. 164-167, ago. 1976.

FLOR, H. H. Current status of the gene-for-gene concept. **Annual Review of Phytopathology**, Palo Alto, v. 9, p. 275-296, Sept. 1971.

GARCIA JÚNIOR, D. et al. Incidência e severidade da cercosporiose do cafeeiro em função do suprimento de potássio e cálcio em solução nutritiva. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 28, n. 3, p. 286-291, maio/jun. 2003.

GOMES, N. M. et al. Evolução da ferrugem (*Hemileia vastatrix* Berk. & Br.) do cafeeiro (*coffea arabica* L.) sob diferentes regimes de irrigação por pivô central. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 28., 2002, Caxambu. **Anais...** Rio de Janeiro: MAPA/PROCAFÉ, 2002. p. 222-224.

GOMES, N. M.; LIMA, L. A.; CUSTÓDIO, A. A. de P. Crescimento vegetativo e produtividade do cafeeiro irrigado no sul do Estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 11, n. 6, p. 564-570, nov. dez. 2007.

GOPAL, N. H. Some physiological factors to be considered for stabilization of arabica coffee production in South India. **Indian Coffee**, Bangalore, v. 38, n. 8, p. 217-221, Aug. 1974.

GRANER, E. A.; GODOY JÚNIOR, C. **Manual do cafeicultor**. São Paulo: Melhoramentos, 1967. 320 p.

GREE, G. Epidemiology of coffee leaf rust in the Eastern Highlands. **Newsletter- Coffee Research Institute**, Karnataka, v. 2, p. 16-20, 1993.

HARMANTO, V. M. et al. Water requirement of drip irrigated tomatoes grown in greenhouse in tropical environment. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 71, n. 3, p. 225-242, Feb. 2005.

HIRST, F. **The conquest of plague**: a study of the evolution of epidemiology. London: Oxford University Press, 1953. 478 p.

HUBER, D. M.; THOMPSON, I. A. Nitrogen and plant disease. In: DATNOFF, L. E.; ELMER, W. H.; HUMBER, D. M. (Ed.). **Mineral nutrition and plant disease**. St. Paul: APS Press, 2007. chap. 3, p. 31-44.

JULIATTI, F. C. et al. Incidência da *Cercospora coffeicola* no café irrigado de Araguari-MG. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIIRAS, 24., 1998, Poços de Caldas. **Resumos...** Poços de Caldas: MAPA/PROCAFÉ, 1998. p. 212-213.

KRUG, C. A.; MENDES, J. E. T.; CARVALHO, A. **Taxonomia de Coffea arabica L.**: descrição das variedades e formas encontradas no Estado de São Paulo. Campinas: Instituto Agrônômico, 1939. 57 p. (Boletim técnico, 62).

KUSHALAPPA, A. C.; AKUTSU, M.; LUDWIG, A. Application of survival ratio for monocyclic process of *Hemileia vastatrix* in predicting coffee rust infection rates. **Phytopathology**, St. Paul, v. 73, n. 1, p. 96-103, Jan. 1983.

KUSHALAPPA, A. C.; ESKES, A. B. Advances in coffee rust research. **Annual Review of Phytopathology**, Palo Alto, v. 27, p. 503-531, Sept. 1989.

LIMA, L. A.; CUSTÓDIO, A. A. P.; GOMES, N. M. Produtividade e rendimento do cafeeiro nas cinco primeiras safras irrigado por pivô central em Lavras, MG. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 6, p. 1832-1842, nov./dez. 2008.

LIMA, L. M. et al. Relação nitrogênio/potássio com mancha de Phoma e nutrição de mudas de cafeeiro em solução nutritiva. **Tropical Plant Pathology**, Brasília, v. 35, n. 4, p. 223-228, Aug. 2010.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. London: Academic Press, 1995. 887 p.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. London: Academic Press, 2012. 672 p.

MARTINATI, J. C. et al. The potential use of a silicon source as a component of an ecological management of coffee plants. **Journal of Phytopathology**, Berlin, v. 156, n. 7/8, p. 458-463, Aug. 2008.

MARTINEZ, H. E. P. et al. Faixas críticas de concentrações de nutrientes e avaliação do estado nutricional de cafeeiros em quatro regiões de Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, n. 6, p. 703-713, jun. 2003.

MCCAIN, J. W.; HENNEN, F. Development of uredinial thallus and sorus in the orange coffee rust fungus *Hemileia vastatrix*. **Phytopathology**, St. Paul, v. 74, n. 6, p. 714-721, June 1984.

MCCOOK, S. Global rust belt: *hemileia vastatrix* and the ecological integration of world coffee production since 1850. **Journal of Global History**, Cambridge, v. 1, n. 2, p. 177-195, July 2006.

MEIRA, C. A. A.; RODRIGUES, L. H. A.; MORAES, S. A. Análise da epidemia da ferrugem do cafeeiro com árvore de decisão. **Tropical Plant Pathology**, Brasília, v. 33, n. 2, p. 114-124, mar./abr. 2008.

MELO, B.; BARTHOLO, G. F.; MENDES, A. N. G. Café: variedades e cultivares. **Informe Agropecuário**. Cafeicultura: tecnologia para produção, Belo Horizonte, v. 19, n. 193, p. 92-96, 1998.

MIRANDA, J. C. et al. Intensidade da ferrugem em cafeeiro fertirrigado. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 30, n. 5, p. 885-891, set./out. 2006.

MONTOYA, R. H.; CHAVES, G. M. Influência da temperatura e da luz na germinação, infectividade e período de geração de *Hemileia vastatrix* Berk & Br. **Experientiae**, Viçosa, MG, v. 18, n. 11, p. 239-266, dez. 1974.

NUTMAN, F. J.; ROBERTS, F. M. Coffee leaf rust. **Pans**, London, v. 16, n. 4, p. 606-624, 1970.

OLIVEIRA, A. C. B. de; PEREIRA, A. A. **Cultivares de café portadoras de fatores de resistência à ferrugem indicadas para o plantio em Minas Gerais**. Belo Horizonte: EPAMIG, 2008. 30 p. (EPAMIG. Circular Técnica, n. 34).

PAIVA, B. R. T. L. et al. Progresso da ferrugem do cafeeiro irrigado em diferentes densidades de plantio pós-poda. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n. 1, p. 137-143, jan./fev. 2011.

PAIVA, B. R. T. L. **Progresso da ferrugem e da cercosporiose na cultura do cafeeiro irrigado em várias densidades de plantio**. 2008. 50 p. Dissertação (Mestrado em Fitopatologia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2008.

POZZA, A. A. A. et al. Intensidade da mancha de olho pardo em mudas de cafeeiro em função de doses de N e de K em solução nutritiva. **Summa Phytopathologica**, Brasília, v. 26, n. 1, p. 29-34, 2000.

POZZA, E. A.; CARVALHO, V. L.; CHALFOUN, S. M. Sintomas de injúrias causadas por doenças em cafeeiro. In: GUIMARÃES, R. J.; MENDES, A. N. G.; BALIZA, D. P. **Semiologia do cafeeiro: sintomas de desordens nutricionais, fitossanitárias e fisiológicas**. Lavras: UFLA, 2010. p 69-101.

POZZA, E. A.; POZZA, A. A. A. Relação entre a nutrição e as doenças de plantas: implicações práticas. In: MACHADO, A. K. F. M. et al. (Ed.). **Avanços da otimização no uso de defensivos agrícolas no manejo fitossanitário**. São Carlos: Suprema Grafica e Editora, 2012. p. 259-282.

PHABHU, A. S. et al. Potassium and plant disease. In: DATNOFF, L. E.; ELMER, W. H.; HUBER, D. M. (Ed.). **Mineral nutrition and plant disease**. St. Paul: APS Press, 2007. chap. 5, p. 57-78.

RAUHMANN, M.; PUNJA, Z. K. Calcium and plant disease. In: DATNOFF, L. E.; ELMER, W. H.; HUBER, D. M. (Ed.). **Mineral nutrition and plant disease**. St. Paul: APS Press, 2007. chap. 6, p. 79-93.

RAYNER, R. W. Germination and penetration studies on coffee rust (*Hemileia vastatrix* B. & Br.). **Annals of Applied Biology**, Cambridge, v. 49, n. 3, p. 493-505, Oct. 1961.

RAYNER, R. W. **Micologia, historia y biologia de la roya del cafeto.** Turrialba, Costa Rica: Instituto Interamericano de Ciências Agrícolas, 1972. 68 p. (Publicación Miscelánea, n. 94).

RENA, A. B.; MAESTRI, M. Fisiologia do cafeeiro. In: RENA, A. B. et al. (Ed.). **Cultura do cafeeiro: fatores que afetam a produtividade.** Piracicaba: POTAFOS, 1986. p. 13-85.

RICE, R. W. The physiological role of minerals in the plant. In: DATNOFF, L. E.; ELMER, W. H.; HUBER, D. M. (Ed.). **Mineral nutrition and plant disease.** St. Paul: APS Press, 2007. chap. 2, p. 9-29.

RODRIGUES JÚNIOR, C. J.; BETTENCOURT, A. J.; RIJO, J. Races of the pathogen and resistance to coffee rust. **Annual Review of Phytopathology**, Palo Alto, v. 13, p. 49-70, Sept. 1975.

ROTEM, J.; PALT, J. Irrigation and plant diseases. **Annual Review of Phytopathology**, Palo Alto, v. 7, n. 1, p. 267-288, Sept. 1969.

SACCAS, A. M.; CHARPENTIER, J. La rouille des caféiers due a *Hemileia vastatrix* Berk. & Br. **Bulletin Institut Français du Café et du Cacao**, Paris, n. 10, p. 1-123, 1971.

SANDERS, D.; BROWNLEE, C.; HARPER, J. F. Communicating with calcium. **The Plant Cell**, Rockville, v. 11, n. 4, p. 691-706, Apr. 1999.

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

SANTOS, F. S. **Progresso da ferrugem e da cercosporiose em cafeeiro (*Coffea arabica* L.) irrigado.** 2002. 71 p. Dissertação (Mestrado em Fitopatologia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2002.

SAVARY, S.; JANEAU, J. L. Rain induced dispersal in *Puccinia arachidis*, studied by means of a rainfall Simulator. **Netherlands Journal of Plant Pathology**, Wageningen, v. 92, n. 4, p. 163-174, July 1986.

SCHIEBER, E. Economic impact of coffee rust in Latin America. **Annual Review of Phytopathology**, Palo Alto, v. 10, p. 491-510, Sept. 1972.

SCHIEBER, E. Present status of coffee rust in South America. **Annual Review of Phytopathology**, Palo Alto, v. 13, p. 375-382, Sept. 1975.

SHANER, G.; FINNEY, R. E. The effect of nitrogen fertilization on the expression of slow-milde wing resistance in Knox wheat. **Phytopathology**, St. Paul, v. 67, n. 3, p. 1051-1056, Feb. 1977.

SIDDIQI, M. A. Incidence, development and symptoms of *Cercospora* disease of coffee in Malawi. **Transactions of the British Mycological Society**, London, v. 54, n. 3, p. 415-421, June 1970.

SILVA-ACUÑA, R. et al. Estudo epidemiológico da ferrugem do cafeeiro (*Hemileia vastatrix*) utilizando a análise de trilha. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 23, n. 4, p. 425-430, dez. 1998.

SILVA-ACUÑA, R.; ZAMBOLIM, L.; GONZALEZ-MOLINA, E. de C. Estratégias de controle químico da ferrugem em cafeeiros sombreados na Venezuela. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 19, n. 3, p. 377-383, set. 1994.

SILVA, C. A. da; TEODORO, R. E. F.; MELO, B. de. Produtividade e rendimento do cafeeiro submetido a lâminas de irrigação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, n. 3, p. 387-394, mar. 2008.

SILVA, S. A.; LIMA, J. S. S.; TEIXEIRA, M. M. Variabilidade espacial da produtividade e teores de macronutrientes nas folhas de duas variedades de café arábica. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, MG, v. 17, n. 5, p. 337-345, set./out. 2009.

SILVA, V. A.; REZENDE, J. C. de; BOTELHO, C. E. **Novas cultivares de café desenvolvidas pelo programa de melhoramento genético da EPAMIG**. Belo Horizonte: EPAMIG, 2010. 50 p.

SOUZA, S. M. C. **Importância da chuva e da temperatura do ar na incidência da ferrugem (*Hemileia vastatrix* Berk. & Br.) em cafeeiros, de três localidades do estado de Minas Gerais**. 1980. 50 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1980.

STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM. **SAS User's guide: statistics**. Ver. 9.1.1. Cary, NC, 2002. 153 p.

STAVER, C. et al. Designing pest-surpressive multistrata perennial crop systems: shade-grown coffee in Central America. **Agroforestry Systems**, Dordrecht, v. 53, n. 2, p. 151-170, Nov. 2001.

SUBBARAO, K. V.; HUBBARD, J. C.; SCHULBACH, K. F. Comparison of lettuce diseases and yield under subsurface drip and furrow irrigation.

Phytopathology, St. Paul, v. 87, n. 8, p. 877-883, Aug. 1997.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. Porto Alegre: Artmed, 2013. 954 p.

TALAMINI, V. et al. Progresso da ferrugem e da cercosporiose do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) com diferentes épocas de início e parcelamentos da fertirrigação. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 27, n. 1, p. 141-149, jan./fev. 2003.

TALAMINI, V. et al. Progresso da ferrugem e da cercosporiose do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) em diferentes lâminas de irrigação e diferentes parcelamentos de adubação. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 25, n. 1, p. 55-62, jan./fev. 2001.

WARD, H. M. On the morphology of *Hemileia vastatrix* Berk and Br. (the fungus of the coffee disease of Ceylon). **Quarterly Journal of Microscopical Science**, Oxford, v. 22, n. 2, p. 1-11, Apr. 1882a.

WARD, H. M. Research on the life history of *Hemileia vastatrix*, the fungus of the coffee leaf disease. **Journal of the Linnean Society of London, Botany**, London, v. 19, n. 121, p. 299-335, Aug. 1882b.

WELLMAN, F. L. The rust *Hemileia vastatrix* now firmly established on coffee in Brazil. **Plant Disease Reporter**, Washington, v. 54, n. 7, p. 539-541, Sept. 1970.

WOODWARD, J. E. et al. Use of resistant cultivars and reduced fungicide programs to manage peanut diseases in irrigated and nonirrigated fields. **Plant Disease**, St. Paul, v. 92, n. 6, p. 896-902, June 2008.

ZADOKS, J. C.; SCHEIN, R. D. **Epidemiology and plant disease management**. Oxford: University Press, 1979. 427 p.