



EUGÊNIO CHAVES

**POTÁSSIO, FÓSFORO, BORO E IRRIGAÇÃO
NA DISTRIBUIÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL DA
CERCOSPORIOSE DO CAFEIEIRO**

LAVRAS - MG

2015

EUGÊNIO CHAVES

**POTÁSSIO, FÓSFORO, BORO E IRRIGAÇÃO NA DISTRIBUIÇÃO
ESPAÇO-TEMPORAL DA CERCOSPORIOSE DO CAFEIEIRO**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, área de concentração em Fitopatologia, para obtenção do título de Doutor.

Orientador
Dr. Edson Ampélio Pozza

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).

Chaves, Eugênio.

Potássio, Fósforo, Boro e irrigação na distribuição espaço-temporal da cercosporiose do cafeeiro / Eugênio Chaves. – Lavras : UFLA, 2015.

156 p. : il.

Tese (doutorado)–Universidade Federal de Lavras, 2015.

Orientador(a): Edson Ampélio Pozza.

Bibliografia.

1. *Cercospora coffeicola*. 2. *Coffea arabica*. 3. Controle Cultural. 4. Nutrição Mineral. 5. Geoestatística. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

EUGÊNIO CHAVES

**POTÁSSIO, FÓSFORO, BORO E IRRIGAÇÃO NA DISTRIBUIÇÃO
ESPAÇO-TEMPORAL DA CERCOSPORIOSE DO CAFEIEIRO**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, área de concentração em Fitopatologia, para obtenção do título de Doutor.

APROVADA em 10 de julho de 2015.

Dr. Hudson Teixeira	EPAMIG
Dr. Rubens José Guimarães	UFLA
Dr. Gilberto Coelho	UFLA
Dr. Mário Sobral de Abreu	UFLA

Dr. Edson Ampélio Pozza
Orientador

LAVRAS - MG

2015

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Lavras, em especial ao Departamento de Fitopatologia, pela excelente formação acadêmica na realização do Doutorado.

Ao meu orientador, professor Edson Ampélio Pozza, pela oportunidade, conselhos, ensinamentos e amizade durante o curso de pós-graduação.

Aos membros da banca pela contribuição valiosa e pelas críticas.

À equipe de trabalho: Paulo Victor, Gabriel Vasco, Gabriel Dornellas, Leandro, Marília, Aurivan, Mírian, Humberson e a todos os colegas e funcionários do Departamento de Fitopatologia. À equipe do Setor de Cafeicultura da UFLA, principalmente aos funcionários Agrimar (*in memoriam*) e Alexandre.

A minha família, principalmente aos meus pais, José Marinho e Gercina, pelo constante incentivo aos estudos, aos meus irmãos, Alexandre, Giovani, Patrícia, José Humberto e Rogério, pelo apoio incondicional, e a Aida, Deca e Lorena e aos meus sobrinhos Maria Eduarda, Vinícius, Thiago, Pedro, Enzo e Luisa.

A minha esposa, Merian, pelo seu amor, carinho, paciência e compreensão, estando sempre ao meu lado em todos os momentos, ajudando a superar as dificuldades.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), por conceder a bolsa de estudos. Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e o Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia do Café (INCT Café), por fomentar a execução dos experimentos.

A todos aqueles que, de alguma forma, contribuíram para a concretização desta tese, assim como para meu crescimento pessoal e profissional.

MUITO OBRIGADO!!!

RESUMO GERAL

A cercosporiose (*Cercospora coffeicola*) é umas das principais doenças do cafeeiro, sendo sua ocorrência afetada pelo fornecimento de água e desequilíbrio nutricional. O fornecimento de água, que é realizado primordialmente pela chuva, mas pode ser feito pela irrigação por gotejamento ou aspersão. A nutrição mineral deficiente ou desequilibrada pode predispor as plantas à infecção pelo fungo. Pouco se conhece sobre a influência da nutrição mineral, principalmente com relação aos elementos boro (B), fósforo (P) e potássio (K), e da fertilidade do solo na intensidade da doença e sua distribuição espacial. Dessa forma, foram realizados três experimentos em campo, sendo que, no primeiro experimento, objetivou-se avaliar a interação entre lâminas de água com diferentes doses de fósforo (cinco lâminas de irrigação x quatro doses de fósforo). Realizaram-se avaliações de cercosporiose nas folhas a cada 30 dias. A curva de progresso da média da incidência da cercosporiose variou entre os dois anos, no Ano 1 (novembro de 2011 a dezembro de 2012), a incidência da cercosporiose teve seu pico em 22/08/2012 (22,45%) enquanto, no Ano 2 (janeiro de 2013 a janeiro de 2014), a incidência atingiu seu maior nível na avaliação no dia 12/09/2013 (16,29%). Houve interação entre lâminas de irrigação e doses de fósforo na avaliação realizada em 10/07/2012. O aumento de doses de P em menores lâminas de irrigação e, na ausência de adubação fosfatada em maiores lâminas de irrigação, obteve-se maiores incidências. No segundo experimento, objetivou-se avaliar a interação entre doses de K e de B (quatro doses de K, sendo 0, 100, 200 e 400 kg/ha de K x quatro doses de B, sendo as doses 0, 1, 2 e 4 kg/ha de B). Realizaram-se 24 avaliações da cercosporiose nas folhas do cafeeiro, a cada 30 dias. A curva média de progresso da incidência da cercosporiose variou entre os dois anos de avaliação. Os picos das incidências ocorreram em 28/02, 23/05 e 12/09 de 2013, 24/02 e 22/05 de 2014 respectivamente. No ano de 2014, a incidência foi menor em comparação com o ano de 2013, mesmo com alta carga pendente, possivelmente, devido às maiores temperaturas registradas. Houve interação significativa entre as doses de K e de B com a área abaixo da curva do progresso da incidência (AACPI), na qual as doses acima de 200 kg/ha de K com doses abaixo de 1 kg/ha de B, apresentaram os maiores níveis de doença. E no terceiro experimento, objetivou-se avaliar o padrão espacial da relação da cercosporiose com a fertilidade do solo e a nutrição da planta em lavoura cafeeira irrigada por gotejamento e pivô central. Em duas áreas experimentais, uma com sistema de irrigação por gotejamento de 11 ha, com 52 pontos amostrais georreferenciados, e a outra área de pivô central de 17 ha, com 50 pontos amostrais. Em cada ponto avaliou-se as folhas de cinco plantas a cada 60 dias. Houve correlação positiva da AACPI com as incidências em 17/04/2013,

24/08/2013, 04/06/2014 e 18/08/2014, e dos teores foliares de B, P e K. Na análise geoestatística para o sistema de irrigação por gotejamento, na relação das variáveis analisadas para 2014, do lado sudeste da área, foram observadas as menores produções, as maiores intensidades da cercosporiose e os maiores teores foliares de K, P e B, enquanto para o sistema por pivô central, na relação das variáveis analisadas para 2014, do lado Sudeste da área, foram observadas as menores produções, as maiores intensidades da cercosporiose e os maiores teores foliares de P e K e menor teor de B.

Palavras-chave: Nutrição Mineral. Irrigação. Geoestatística. Boro. Fósforo. Potássio. Cercosporiose.

ABSTRACT

Brown eye spot (*Cercospora coffeicola*) is one of the major diseases of coffee, and its occurrence affected the supply of water and nutritional imbalance. The supply of water, which is primarily carried out by rain, but can be done by drip irrigation or sprinkling. Poor or unbalanced mineral nutrition may predispose plants to infection by the fungus. Little is known about the influence of mineral nutrition, particularly in relation to the elements boron (B), phosphorus (P) and potassium (K), and soil fertility in the intensity of the disease and its spatial distribution. Thus, three experiments were carried out in the field, being the first experiment aimed to evaluate the interaction between water slides with different phosphorus levels (5 irrigation depths x 4 levels of phosphorus). Evaluations were performed on leaves of brown eye spot every 30 days. The average progress curve of the incidence of brown eye spot varied between the two years, in Year 1 (November 2011 to December 2012), the incidence of brown eye spot peaked at 22/08/2012 (22.45%) while, in Year 2 (January 2013 to January 2014), the incidence reached its highest level in the evaluation on 12/09/2013 (16.29%). There was interaction between irrigation and phosphorus levels in the evaluation held in 10/07/2012. Increased levels of P in smaller irrigation levels and in the absence of phosphate fertilizers in higher irrigation levels was obtained higher incidences. In the second experiment aimed to evaluate the interaction between doses of K and B (4 doses of K, with 0, 100, 200 and 400 kg/ha of K x 4 doses of B, the doses being 0, 1, 2 and 4 kg/ha B). They performed Twenty-four evaluations of brown eye spot on coffee leaves, every 30 days. The average progress curve of the incidence of brown eye spot was between the two years of evaluation. The peaks of incidences occurred in 28/02, 23/05 and 12/09 of 2013, 24/02 and 22/05 of 2014 respectively. In 2014, the incidence was lower compared to the year 2013, even with high load pending, possibly because the largest recorded temperatures. There was a significant interaction between doses K and B with the area under the impact of the progress curve (AACPI) in which doses above 200 kg/ha of K at doses below 1 kg/ha of B showed the higher levels of disease. And in the third experiment aimed to evaluate the spatial pattern of the relationship of brown eye spot with soil fertility and plant nutrition in irrigated coffee crop drip and center pivot. In two experimental areas, one with a drip irrigation system of 11 ha, with 52 georeferenced sampling points, and the other central pivot area of 17 ha, with 50 sampling points. At each point leaves the five plants was evaluated every 60 days. There was a positive correlation with the incidence of AACPI on 04/17/2013, 08/24/2013, 06/04/2014 and 18/08/2014, and foliar B, P and K. In geostatistical analysis for the system drip irrigation, the list of variables for 2014, the right side of the area, the lowest yields were observed, the highest intensities of gray leaf spot and major foliar K, P and B while for the system by

central pivot, in list of variables for 2014, the right side of the area, the lowest yields were observed, the highest intensities of gray leaf spot and higher foliar P and K and lower content of B.

Keywords: Mineral nutrition, irrigation, geostatistics, boron, phosphorus, potassium, Brown eye spot

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	11
1. INTRODUÇÃO GERAL	11
2. REFERENCIAL TEÓRICO	13
2.1 <i>Coffea arabica</i> lineu, 1753	13
2.2 Cercosporiose do cafeeiro: etiologia, sintomatologia e epidemiologia	14
2.3 Influência da irrigação como fator ambiental nas doenças do cafeeiro	16
2.4 Influência da nutrição mineral como fator ambiental nas doenças do cafeeiro	19
2.5 Geoestatística e estudos de variabilidade espacial	25
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	28
CAPÍTULO 2	36
1. INTRODUCTION	37
2. MATERIAL AND METHODS	39
3. RESULTS	44
4. DISCUSSION	52
5. CONCLUSIONS	55
6. ACKNOWLEDGEMENTS	56
REFERENCES	56
CAPÍTULO 3	61
1. INTRODUÇÃO	63
2. MATERIAL E MÉTODOS	66
3. RESULTADOS	71
4. DISCUSSÃO	78
5. CONCLUSÕES	84
6. AGRADECIMENTOS	85
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	85
CAPÍTULO 4	91
1. INTRODUÇÃO	93
2. MATERIAL E MÉTODOS	96
2.1 Localização das áreas experimentais e georreferenciamento	96
2.2 Avaliação da intensidade da cercosporiose e do enfolhamento	99
2.3 Curva de progresso da doença	100
2.4 Área abaixo da curva de progresso da incidência e do enfolhamento	100
2.5 Colheita	101
2.6 Análise nutricional das plantas e da fertilidade do solo	101

2.7	Variáveis meteorológicas	102
2.8	Correlações.....	103
2.9	Análise geoestatística e da dependência espacial	104
3.	RESULTADOS	105
3.2	Gotejamento	106
3.2.1	Curva de progresso da cercosporiose e correlação com as variáveis meteorológicas.....	106
3.2.2	Correlações da cercosporiose com a produção, fertilidade do solo e a nutrição de plantas	109
3.2.3	Distribuição espacial da cercosporiose, da produção e da nutrição mineral das plantas.....	111
3.3	Pivô central.....	115
3.3.1	Curva de progresso da cercosporiose e correlação com as variáveis climáticas	115
3.3.2	Correlações entre a cercosporiose e a fertilidade do solo e a nutrição de plantas.....	118
3.3.3	Distribuição espacial da cercosporiose, da produção e da nutrição mineral das plantas.....	120
4.	DISCUSSÃO	125
4.1	Gotejamento	125
4.1.1	Curva de progresso da cercosporiose e correlação com as variáveis climáticas	125
4.1.2	Correlações entre a cercosporiose e a produção, fertilidade do solo e a nutrição de plantas	127
4.1.3	Distribuição espacial da cercosporiose, da produção, da fertilidade do solo e da nutrição mineral das plantas.....	128
4.2	Pivô central.....	132
4.2.1	Curva de progresso da cercosporiose e correlação com as variáveis climáticas	132
4.2.2	Correlações entre a cercosporiose e a produção, fertilidade do solo e a nutrição de plantas	136
4.2.3	Distribuição espacial da cercosporiose, da produção, da fertilidade do solo e da nutrição mineral das plantas.....	137
5.	CONCLUSÕES.....	141
6.	ANEXO.....	142
	REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA.....	148
	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	156

CAPÍTULO 1

Sistema de Informação Geográfica em diferentes sistemas de irrigação e a nutrição mineral no progresso da cercosporiose do cafeeiro

1. INTRODUÇÃO GERAL

O Brasil é o maior produtor mundial de café, com participação na safra 2014 estimada em 44,57 milhões de sacas de 60 kg do produto beneficiado, redução de 9,33% comparada ao ano anterior, de 49,15 milhões de sacas. Essa redução deveu-se a forte estiagem no início de 2014, entre outros fatores, a ocorrência de pragas e doenças. Além disso, o país é o segundo maior mercado consumidor. Assim, a cultura do cafeeiro tem grande importância sócio-econômica para o país, sendo Minas Gerais responsável por cerca de 53,9% da área plantada e com 51,7% da produção nacional, concentrada principalmente no sul do Estado (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO, 2014).

O Sul de Minas Gerais tem índices pluviométricos favoráveis à cultura do cafeeiro. Em trabalhos recentes, verificou-se adversidades climáticas em épocas específicas e com isso, recomenda-se ao cafeicultor em determinadas situações o emprego da irrigação, devido a uma demanda crescente para se obter incrementos de produtividade e da qualidade do café (COELHO et al., 2009; LIMA; CUSTÓDIO; GOMES, 2008). Apesar desses benefícios, o cultivo em sistema irrigado pode influenciar a intensidade da cercosporiose (*Cercospora coffeicola* Berkeley e Cooke) do cafeeiro, ocasionando perdas na lavoura (POZZA; CARVALHO; CHALFOUN, 2010). A presença da água fornecida por irrigação, principalmente por aspersores, 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 (TALAMINI et al., 2001;

TALAMINI et al., 2003). Em lavouras irrigadas por gotejamento, esse microclima não ocorre devido à aplicação localizada da água (ROTEM; PALTI, 1969; XIAO; SUBBARAO, 2000).

As variáveis ambientais podem influenciar a intensidade de doenças na cafeicultura. Observa-se a dependência da cercosporiose do cafeeiro a uma série de fatores, entre eles o sistema de plantio, o período de molhamento foliar, a intensidade luminosa, a fertilidade do solo, a nutrição mineral das plantas e o padrão de distribuição de todos esses fatores descritos anteriormente. Com isso, a nutrição mineral pode contribuir para reduzir de forma significativa a aplicação de fungicidas para o controle da cercosporiose (POZZA, 1999).

Apesar dos estudos sobre a influência dos fatores ambientais, ainda há necessidade de novos trabalhos para avaliar a interação entre eles e com epidemias ao longo do tempo e do espaço. Entre esses fatores, destaca-se a nutrição mineral, diretamente relacionada à intensidade de doenças, sendo um fator ambiental passível de ser manipulado para incrementar as barreiras de resistência, principalmente as horizontais (DATNOFF; ELMER; HUBER, 2007; POZZA, 1999; POZZA; POZZA, 2012). Pesquisas já relacionaram alguns efeitos da irrigação e da nutrição mineral na intensidade da cercosporiose do cafeeiro. Porém, escassos são os trabalhos nos quais são feitos relatos da influência dos métodos de irrigação utilizados e a distribuição espacial desses nutrientes e da doença. Além disso a produtividade de uma cultura é fortemente influenciada por suprimento de água e de nutrientes minerais.

Justifica-se, assim, obter informações sobre irrigação e a nutrição mineral, na maior região produtora de café do mundo, o sul do estado de Minas Gerais, no Brasil. Com isso, pretendeu-se elaborar novas estratégias para reduzir perdas na cafeicultura, com um manejo eficaz da água de irrigação e da nutrição, podendo refletir na redução de custo, impactos ambientais e maior sustentabilidade do agroecossistema.

Sendo assim os objetivos deste trabalho foram:

a) avaliar a incidência da cercosporiose na formação do cafeeiro fertirrigado, em diferentes doses de fósforo e lâminas de irrigação;

b) Avaliar a cercosporiose do cafeeiro em diferentes níveis de potássio e de boro no campo.

c) descrever a cercosporiose ao longo do tempo e do espaço, empregando o sistema de informação geográfica em cafeeiro irrigado por gotejamento e pivô central;

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 *Coffea arabica* Lineu, 1753

O número de espécies de café existentes em todo o mundo ainda é incerto, porém, essas espécies são de extrema importância, principalmente em programas de melhoramento genético, possuindo alguma resistência a fatores bióticos e abióticos (CARVALHO, 1956). 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), as mais cultivadas em todo o mundo (CARVALHO, 1952; KRUG; MENDES; CARVALHO, 1939). Juntas, estas espécies dominam o mercado de café, respondendo por cerca de 99% de toda a produção mundial. O consumo de café arábica está em torno de 70% (DAMATTA; RAMALHO, 2006).

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 este nome também designado ao fruto, à semente, à bebida e aos

estabelecimentos que a comercializam (GRANER; GODOY JUNIOR, 1967). A espécie *Coffea arabica* é nativa das florestas tropicais da Etiópia, Quênia e Sudão, em altitudes de 1.500 a 2.800 m. Nesta região, a temperatura média do ar situa-se entre 18° e 22°C, com precipitação 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° e 23°C. Acima dessa temperatura, o amadurecimento do fruto é acelerado, levando, muitas vezes, à perda de qualidade.

2.2 Cercosporiose do cafeeiro: etiologia, sintomatologia e epidemiologia

O fungo heminecrotrofico *Cercospora coffeicola* Berkeley & Cooke (= *Mycosphaerella coffeicola* (Cooke) Stev. & Wellman, 1944), é o agente etiológico da cercosporiose do cafeeiro. É classificada como pertencente ao Reino Fungi, Filo Ascomycota, Classe Dothideomycetes, Ordem Capnodiales e Família Mycosphaerellaceae (ELLIS, 1976), sendo que, a fase teleomórfica do patógeno é desconhecida no Brasil. As características do patógeno incluem células conidiogênicas holoblásticas integradas com cicatrizes, conídios hialinos e individuais com septos apenas transversais e estroma presente. Os conídios possuem de quatro a sete septos, sendo aciculares a obclavados, com dimensões variando de 50 a 100 µm de comprimento por 3 a 4 µm de largura (ELLIS, 1976).

A doença foi descrita, pela primeira vez, em 1881, sendo umas das mais antigas (BERKELEY; COOKE, 1881) do cafeeiro. Em 1971, ocorreu o primeiro relato de epidemias da cercosporiose no Brasil (CARVALHO; CHALFOUN, 1998). É encontrada na maioria das regiões cultivadas com café no país e no mundo, podendo ocasionar lesões nas folhas e nos frutos (CADENA-GÓMEZ, 1982; CARVALHO; CHALFOUN, 1998; ECHANDI, 1959; LIMA, 2009).

As condições ambientais ideais para o desenvolvimento e crescimento do fungo são temperaturas entre 24° e 30°C para a germinação dos conídios, umidade relativa do ar entre 75% e 85%, desde que a precipitação total no período seja menor que 15 mm e pelo menos duas horas de molhamento foliar para germinação dos conídios (ECHANDI, 1959; FERNÁNDEZ-BORRERO; MESTRE; LÓPEZ-DUQUE, 1966).

A penetração de *C. coffeicola* em folhas de café é realizada apenas na superfície abaxial das folhas, onde é capaz de penetrar no hospedeiro. Essa penetração ocorre pelos estômatos presentes no limbo foliar ou através de fissuras, colonizando o tecido vegetal de forma inter e intracelular, resultando no desenvolvimento da doença (SOUZA et al., 2011). O fungo é capaz de esporular em toda região abaxial da folha e em frutos de café, formando esporodóquios que disseminam seus conídios pelo vento, pela água ou pelos insetos (ECHANDI, 1959). Período de molhamento foliar de 6 a 12 horas é considerado favorável à severidade da doença, resultando em período de incubação médio entre 17 e 20 dias, dependendo das condições locais de temperatura, molhamento foliar e umidade do ar (FERNANDES et al., 1991). A cercosporiose do cafeeiro apresenta comportamento policíclico em campos de produção (FERNANDES, 1988).

Os sintomas da cercosporiose são observados em folhas e em frutos (LÓPEZ-DUQUE; FERNÁNDEZ-BORRERO, 1969). Os sintomas em folhas, ocorrem através de lesões de formato circular, de cor marrom-escuro, rodeadas por um halo amarelo-claro, devido à toxina cercosporina produzida pelo fungo, com anéis concêntricos. A resposta da planta à presença da cercosporina é o aumento da produção de etileno acima do normal, sendo este precursor de outro hormônio, o ácido abscísico, provocando abscisão, ou a queda precoce de folhas e frutos afetados (VALÊNCIA, 1970). Com a desfolha, a planta reduz sua área fotossintética, resultando em morte dos ramos plagiotrópicos do cafeeiro

(DAUB; HERRERO; CHUNG, 2005; GREE, 1993; LÓPEZ-DUQUE; FERNÁNDEZ-BORRERO, 1969).

Em frutos, os sintomas surgem como pequenas lesões necróticas, tornando-se deprimidas devido ao fato do tecido exocarpo se aderir ao endocarpo. Posteriormente, as lesões se estendem na direção polar do fruto, atingindo a coloração marrom-escura. Ocorre maturação precoce e deficiência no enchimento dos frutos, ocasionando queda prematura dos frutos. Assim, os danos ocasionados pela enfermidade podem ser quantitativos, com redução do rendimento e produção da cultura e qualitativos, depreciando o tipo do produto e a qualidade da bebida (FERNÁNDEZ-BORRERO; MESTRE; LÓPEZ-DUQUE, 1966; LIMA, 2009; LÓPEZ-DUQUE; FERNÁNDEZ-BORRERO, 1969). Perdas de 30% na produção foram relatados por Carvalho e Chalfoun (2001) e na produção no ano agrícola de 1971 relatado por Zambolim et al. (1997).

2.3 Influência da irrigação como fator ambiental nas doenças do cafeeiro

Segundo Taiz e Zeiger (2013), de todos os recursos necessários para a planta crescer e se desenvolver, a água é o mais limitante para a produtividade agrícola. Em condições naturais, as plantas normalmente são expostas ao estresse ambiental, devido ao excesso ou à falta de água. Gopal (1974) ressalta os reflexos negativos no cafeeiro causado pela deficiência hídrica no solo, particularmente nas raízes absorventes das plantas, responsáveis pela absorção de água e de nutrientes, limitando o crescimento e a produção da cultura. Assim, torna-se necessário o uso da irrigação suplementar para evitar riscos de índices pluviométricos baixos na lavoura, principalmente em áreas com escassez hídrica. Burman et al. (1983) citam o fornecimento de água às plantas, em

quantidade suficiente para prevenir o estresse hídrico, o principal objetivo da irrigação podendo ocasionar redução na produção e na qualidade do produto.

No Brasil, principalmente no estado de Minas Gerais, vários autores citam a irrigação na cultura do cafeeiro como responsável por incrementar a produtividade e rendimento, além de favorecer o crescimento e o desenvolvimento da lavoura, justificando a sua adoção (ARANTES; FARIA; REZENDE, 2009; COELHO et al., 2009; GOMES; LIMA; CUSTÓDIO, 2007; SILVA; TEODORO; MELLO, 2008). O uso da irrigação pode também conferir às plantas maior resistência a algumas doenças. Isso porque, quando comparado ao cultivo não irrigado, devido à baixa umidade no solo, podem ocorrer deficiências e desequilíbrios nutricionais, afetando as barreiras de resistência horizontais (POZZA; POZZA, 2012). Como desvantagem, a técnica da irrigação pode, muitas vezes, submeter a cultura a um microclima diferenciado em relação ao cultivo não irrigado (ROTEM; PALTI, 1969), resultando em severas epidemias no campo (OLANYA; PORTER; LAMBERT, 2010), responsáveis por expressivas perdas na lavoura. Entre as explicações, os autores afirmam que água fornecida pela irrigação do tipo aspersão pode formar água livre na superfície foliar, aumentando o período de molhamento, favorecendo diferentes etapas da relação patógeno-hospedeiro.

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, Juliatti et al. (2000) 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 com irrigação por pivô central, com lâmina única de água (100 mm/mês), quando comparado ao irrigado por gotejamento, malha perfurada (60, 80 e 100 mm/mês) ou ao tratamento não irrigado. Constatou-se que o molhamento foliar proporcionado pela irrigação por

pivô central favoreceu o progresso das doenças, com comportamento cíclico e frequentes picos da doença durante todo o período avaliado.

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% evaporação do tanque classe A (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, devido ao fato de a deficiência hídrica dificultar a absorção de nutrientes pela planta.

Em outro estudo, 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 início de irrigação e parcelamentos 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 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, em lavoura de quatro anos e meio de plantio, irrigada por gotejamento sobre diferentes lâminas (0%, 40%, 60%, 80% e 100% ECA) de irrigação e parcelamentos (3, 6 e 9 vezes) de adubação, também foi estudada por Santos, Souza e Pozza (2004). Os autores verificaram influência significativa apenas para lâminas de irrigação, sendo registrada tendência de redução da doença com o aumento da lâmina de água fornecida até 100% ECA. Ainda, as parcelas não irrigadas apresentaram menor enfolhamento e maior incidência da cercosporiose menor produtividade.

Dessa forma, observa-se que, em cultivos irrigados, estudos são necessários para relacionar os sistemas de irrigação e seu efeito na cercosporiose do cafeeiro. Em geral a maior disponibilidade de água proporcionou redução na intensidade da doença.

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

O cafeeiro depende de vários fatores para crescer e desenvolver, dentre eles o suprimento e a intensidade de absorção de nutrientes minerais (SOUZA et al., 1975). As plantas obtêm os nutrientes minerais do solo principalmente por meio da absorção pelo sistema radicular via fluxo de massa, na forma inorgânica (EPSTEIN, 1999). São 13 nutrientes minerais existentes e estes estão divididos em dois grupos de exigência pelas plantas: macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S) e micronutrientes (B, Cl, Cu, Fe, Mn, Mo e Zn) (EPSTEIN, 1999). Em plantas de café, as flores, em relação a folhas e ramos, apresentam teores mais elevados de N, P, K, Ca, Mg, S, Fe e Zn na cultivar Catuaí Amarelo, e de P, K, Ca e Mg na Mundo Novo. A principal fonte de carboidratos para os botões florais é a fotossíntese e não as reservas em folhas e ramos (MALAVOLTA et al., 2002). As exigências nutricionais do café Conilon (*Coffea canephora* Pierre ex Froenher) com relação a macronutrientes é alta, sendo que a 3,6 anos a absorção de macronutrientes em ordem crescente é $P < S < Mg < Ca < K < N$ (BRAGANÇA; COSTA; LANI, 2000). Com isso, sugeriu-se a elevada dependência do estado nutricional da planta, além de outros fatores como temperatura e disponibilidade de água (MALAVOLTA et al., 2002). Conhecer a demanda de micronutrientes do cafeeiro ao longo do seu ciclo produtivo leva a condição favorável para se obter altas produtividades (BRAGANÇA et al., 2007).

Os efeitos dos nutrientes minerais no crescimento das plantas, na produção e na resistência a doenças podem ser explicados pelas funções exercidas no metabolismo da planta. A nutrição mineral deficiente ou desequilibrada pode predispor as plantas à infecção por patógenos, devido a afetar suas estruturas histológicas, morfológicas e a composição química do tecido vegetal, alterando seu crescimento padrão (MARSCHNER, 1995). Segundo Datnoff, Elmer e Huber (2007), o adequado manejo dos elementos minerais no campo pode auxiliar na sanidade das plantas como também na qualidade dos produtos agrícolas.

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, por, possivelmente, induzir à deficiência de cálcio e favorecer a entrada do patógeno pela lamela média da parede celular. Assim, pode-se comprovar, em viveiros que doses excessivas de potássio favorecem a cercosporiose do cafeeiro e que a nutrição adequada com nitrogênio foi medida eficaz no controle da doença (POZZA et al., 2001).

Garcia Junior et al. (2003) também estudaram o efeito da nutrição mineral na intensidade da cercosporiose em mudas de cafeeiro sobre solução nutritiva, com diferentes doses de cálcio e de potássio. Esses autores verificaram redução linear no progresso da doença com o aumento das doses de cálcio, maior absorção de Ca em detrimento do K, devido à competição entre estes nutrientes (MARSCHNER, 1995).

No estudo com *Phoma tarda*, Lima et al. (2010) observaram que o desequilíbrio da relação N/K influenciou a incidência e a severidade da mancha-de-phoma em mudas, além de alterar o estado nutricional das plantas. Ocorreu aumento linear (34,8%) da intensidade da doença com o aumento das doses de

nitrogênio, porém, com o aumento das doses de potássio, verificou-se redução quadrática (34,3%) até a dose de 7 mmol/L. Catarino (2011), estudando a influência das doses de Ca e de K em solução nutritiva também para a mancha de phoma, observou interação significativa entre os nutrientes, em que na menor dose de Ca (2 mmol/L) e na maior de K (7 mmol/L), houve menor incidência da doença, obtida pelo equilíbrio nutricional desses nutrientes.

O potássio (K^+) é o segundo elemento mais exigido por cafeeiros e um dos nutrientes de maior importância para a cultura, disponível na solução do solo na forma de íons (ANDRADE, 2001). Ele é exigido em maior proporção para crescimento foliar, e concentra-se nos frutos (MALAVOLTA; YAMADA; GUIDOLIN, 1981). Possui diversas funções bioquímicas e fisiológicas na planta, ativando enzimas na fotossíntese e respiração, regulador do potencial osmótico das células, auxilia na formação de aminoácidos e açúcares, atua na absorção celular, é importante no transporte de carboidratos para os frutos e outros órgãos do cafeeiro e contribui para aumentar a resistência das plantas a doenças, pragas e veranicos (ANDRADE, 2001; RICE, 2007). Além disso, o K pode levar ao desenvolvimento de paredes mais espessas nas células epidérmicas, endurecimento de tecido e mudança nos padrões de abertura de estômato evitando assim a infecção por patógenos (DORDAS, 2008).

Em algumas culturas, o potássio tem maior exigência que o nitrogênio, como em cana-de-açúcar. O potássio (K^+) é considerado um dos nutrientes de maior influência em doenças, podendo apresentar efeito positivo, negativo ou neutro, dependendo do hospedeiro e do patossistema. A nutrição adequada com potássio pode resultar em menor incidência de doenças, com aumento da resistência à penetração e à colonização por muitos patógenos. A deficiência ou o excesso de potássio, bem como o genótipo e, a concentração de potássio no tecido da planta e a interação entre esses fatores, podem influenciar no aumento ou na redução de doenças. Em caso de deficiência, ocorre inicialmente

amarelecimento das bordas das folhas mais velhas, concomitantemente seca das pontas e da margem, e mudança de verde-escuro para marrom. Com a progressão, ocorrerá desfolha e seca dos ramos. Pode ainda causar grande queda de chumbinhos, e os frutos serão menores. Se a deficiência não for corrigida, pode causar até a morte. Normalmente, os sintomas de deficiência mais severos ocorrem na fase de granação dos frutos, nos anos de carga pendente (ANDRADE, 2001).

A adubação de forma equilibrada é importante no bom desenvolvimento e na resistência a pragas e doenças. É necessário conhecer esse equilíbrio e o papel da interação entre os nutrientes na planta. Marques, Faquin e Guimarães (1999) relataram que doses de calcário aumentaram os teores foliares de Ca e Mg e reduziram os teores de K. Segundo Huber (1980), a quantidade de K presente nas plantas depende da disponibilidade de Ca, sendo que o Ca altera a proporção Ca:K na planta e também interage com outros elementos. A função do K na organização celular e na permeabilidade é complementada por meio de grandes reservas de Ca no tecido maduro da planta. A adição de N causa efeito positivo no teor foliar de N e de Ca e negativo no teor foliar de K, S e B. A adição de P causa efeito positivo no teor foliar de P, Mo e Ca e negativo no teor foliar de K, Cl, Cu, Zn e B. A adição de K causa efeito positivo no teor foliar de K e negativo no teor foliar de Ca e Mg. A adição de Ca causa efeito positivo no teor foliar de Ca e negativo no teor foliar de K, Mg e Mn em decorrência da competição nos sítios de absorção nas raízes (MARSCHNER, 1995; MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997).

O Cálcio (Ca^{+2}) é absorvido na solução do solo na forma divalente, porém somente pela ponta da coifa da raiz em crescimento. É utilizado na síntese de novas paredes celulares na lamela média, assim como no fuso mitótico, durante a divisão celular (TAIZ; ZEIGER, 2013). 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 a 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 aplicado no solo, nas folhas ou frutos. Embora não se possam fazer generalizações de recomendações da utilização do cálcio nas culturas, sabe-se que o principal papel do cálcio consiste no fortalecimento da parede celular celulósica e sua resistência à penetração por patógenos (DATNOFF; ELMER; HUBER, 2007).

O fósforo (P) é um nutriente pouco exigido pelo cafeeiro, porém de grande importância nos processos de geração de energia, sendo também pouco exportado em relação aos outros micronutrientes. Porém, apenas 5 a 20% do P solúvel aplicado é aproveitado pela cultura, sendo o restante aproveitado ou não, dependendo da reação do P no solo (ALCARDE; PROCHNOW, 2003), motivo pelo qual as quantidades aplicadas devem ser bem superiores aquelas exigidas pela cultura (FURTINI NETO, 2001). O P desempenha importante função nas transformações energéticas dos processos vitais da planta, como, fotossíntese, respiração, síntese de aminoácidos, lipídeos, entre outros. Portanto, influi na síntese e armazenamento de energia, compondo a ATP (Adenosina Trifosfato) e a ADP (Adenosina difosfato) (CARVALHO et al., 2010; MATIELLO et al., 2010).

A ação do P na resistência às doenças é variável e não é evidente. No entanto, no solo, o fósforo pode reduzir a disponibilidade de Fe, Mn, Zn e Ca, muito envolvidos no mecanismo de resistência das plantas às doenças. Com isso, o excesso de fósforo poderia afetar a sanidade de mudas (YAMADA, 1995). O P encurta o período vegetativo, acelera a maturidade da planta e auxilia no escape

a patógenos que infectam tecidos jovens e com isso reduz o período infectivo de ferrugens e outros patógenos foliares. A combinação do fósforo com o potássio em doses crescentes, para uma mesma dose de nitrogênio, foi importante para a redução da mancha de olho pardo em cafeeiro, em trabalho realizado por Fernandes (1988), entretanto não se observou a relação do fósforo com o potássio no trabalho realizado por Pozza (1999). Sendo assim, Necessita-se de novos estudos para observar os efeitos da nutrição com P na cercosporiose do cafeeiro, pois as informações ainda são inconsistentes.

O boro (B) apesar de ser micronutriente, é importante no desenvolvimento de plantas. Dentre os micronutrientes utilizados pela planta, a deficiência de B é uma das mais comuns no Brasil, ao lado do Zn, em diversas culturas anuais ou perenes (MALAVOLTA, 2006). Ele participa do metabolismo dos fenóis, do ácido ribonucleico (RNA), na translocação dos açúcares, na atividade dos ácidos giberélicos e na atividade da amilase (ANDRADE, 2001; MALAVOLTA; YAMADA; GUIDOLIN, 1981). Tem função na estrutura da parede celular e na estabilidade da membrana plasmática e dá estabilidade e tem efeito benéfico na redução da severidade de doenças (BROWN et al., 2002; DORDAS, 2008; MARSCHNER, 1995). No entanto a função do B em resistência contra patógenos ainda é pouco compreendida (BLEVINS; LUKASZEWSKI, 1998; BROWN et al., 2002). Além de ser limitante para o crescimento do cafeeiro, esse elemento quando deficiente, afeta o pegamento das flores. O B e o Ca participam juntos nas funções desempenhadas na planta. Os sintomas de deficiência aparecem nas folhas novas inicialmente, com deformações generalizadas, tornando-se afiladas e tendo uma curvatura na nervura central. Posteriormente, ocorre morte das extremidades dos ramos, nos quais ocasiona uma superbrotação em forma de leque. Poderá ocorrer a morte dos ramos, tanto dos ortotrópicos como dos plagiotrópicos. Os sintomas de morte dos ponteiros se assemelham muito aos danos causados pela doença

conhecido como *Phoma*. Além desses sintomas, a deficiência de boro causa a morte das extremidades das raízes (ANDRADE, 2001; MALAVOLTA; YAMADA; GUIDOLIN, 1981). O B reduziu algumas doenças causadas por *Plasmodiophora brassicae*, *Fusarium solani*, *Verticillium albo-atrum*, *Tobacco mosaic virus*, *Tomato yellow leaf curl virus*, *Gaeumannomyces graminis*, e *Blumeria graminis* (DORDAS, 2008; MARSCHNER, 1995).

2.5 Geoestatística e estudos de variabilidade espacial

A geoestatística surgiu, na África do Sul, quando Krige, em 1951, trabalhando com dados de concentração de ouro, concluiu que não conseguia encontrar sentido nas variâncias se não considerasse a distância de amostragem (FARIAS et al., 2002; FARIAS et al., 2003; LANDIM, 2006). Matheron (1971) desenvolveu a “Teoria das Variáveis Regionalizadas”, contendo os fundamentos da geoestatística, definida como conjunto de métodos estatísticos apropriados para analisar atributos de fenômenos que apresentam distribuição contínua numa área geográfica. Essa continuidade, ou dependência espacial, pode ser estimada por meio do semivariograma, principal componente da geoestatística (LANDIM, 2006; MACHADO; BERNARDI; SILVA, 2004).

A determinação do semivariograma é necessária para estimar a geoestatística, pois o modelo escolhido será utilizado em todo o processo de Krigagem. O semivariograma é caracterizado por três parâmetros: i) efeito pepita, que indica a descontinuidade na origem, proveniente de limitações na estimativa do semivariograma em pequenos espaçamentos (BURROUGH; MCDONNELL, 1998; CURRAN, 1988; LANDIM, 2006); ii) patamar, que representa o nível de variabilidade em que a semivariância se estabiliza. À medida que a distância aumenta, o valor da semivariância também aumenta, até um valor máximo no qual o semivariograma se estabiliza. Esse valor chama-se

patamar, sendo aproximadamente igual a variância dos dados (BURROUGH; MCDONNELL, 1998; CURRAN, 1988; LANDIM, 2006); e iii) alcance, que é a distância na qual a semivariância atinge o patamar. O alcance demonstra o intervalo de dependência espacial. Com isso, amostras separadas por distâncias menores do que o valor do alcance são correlacionadas uma com a outra, e distâncias maiores apresentam uma distribuição espacial aleatória sendo independentes entre si (BURROUGH; MCDONNELL, 1998; CURRAN, 1988; LANDIM, 2006).

Após o conhecimento do semivariograma, havendo dependência espacial entre as amostras, podem-se interpolar valores utilizando-se a técnica de Krigagem. Essa técnica consiste em interpolar valores em qualquer posição de uma propriedade em locais não amostrados, a partir de valores vizinhos resultantes da amostragem realizada sem tendência e com variância mínima. Assim é possível confeccionar os chamados mapas de Krigagem, que permitem uma leitura direta do comportamento do atributo estudado (LANDIM, 2006). Essa técnica foi utilizada com sucesso no estudo de doenças de plantas. Aplicou-se a técnica de geoestatística no estudo do padrão espacial de isolados de *Aspergillus flavus*, produtores de toxinas com base no padrão de isolados não toxicogênicos (NELSON et al., 1999). Alves et al. (2006) utilizaram metodologia de análise geoestatística no estudo da dinâmica espaço-temporal de doenças causadas por *Colletotrichum* em sementes de feijão e algodão. Segundo os autores, as vantagens da geoestatística com relação aos métodos tradicionais é a possibilidade de identificar a magnitude e o grau de dependência espacial, mapear a variabilidade espacial das epidemias, além de observar o progresso espacial ao longo do tempo. Outra vantagem é que os modelos de semivariogramas podem ser utilizados em trabalhos posteriores principalmente em áreas naturalmente infectadas. Segundo Fu et al. (2011), a geoestatística é uma ferramenta eficiente para o estudo do padrão espacial dos nutrientes.

Segundo os autores, as concentrações de P, Mg, pH e necessidade de calagem tiveram uma autocorrelação espacial positiva e padrões espaciais definidos em ambos estudos. Numa região montanhosa na China, a biomassa microbiana do solo, os teores de C, N e P tiveram uma dependência espacial de moderada a forte e uma elevação da variabilidade espacial (LIU et al., 2010). No campo, Alves et al. (2006) estudaram a intensidade da ferrugem e da cercosporiose, em folhas e em frutos, em agroecossistema cafeeiro. Segundo os autores, a variabilidade espacial da nutrição mineral das plantas na lavoura, possivelmente, foi um dos fatores que contribuíram para a distribuição das enfermidades, indicando que o manejo das doenças pode ser realizado em pontos específicos na propriedade.

Segundo Mouen-Bedimo et al. (2007) a distribuição espacial da “Coffee Berry Disease” causado por *Colletotrichum kahawae* ao longo do tempo indicaram que as plantas em parcelas foram contaminadas por etapas a partir da primeira árvore de café infectado. Os autores fizeram uma análise dos semivariogramas e dos mapas de dispersão de doenças obtidas por krigagem foram observados focos de infecção primária em ambos os terrenos.

Rezende et al. (2012) em estudo do pH na solução do solo em função da adubação química aplicada via fertirrigação e, manualmente, em plantas irrigadas e não irrigadas respectivamente, observou-se dependência espacial do pH no solo. Segundo os autores, o pH da solução tende a ser menor na área em que a aplicação do fertilizante foi realizada via fertirrigação. Desta forma, observa-se a necessidade de estudos com relação a nutrição mineral, em diferentes sistemas de irrigação na intensidade da cercosporiose.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALCARDE, J. C.; PROCHNOW, L. I. Metodologias de extração para avaliar a eficiência de fertilizantes fosfatados. In: SIMPÓSIO DE FÓSFORO NA AGRICULTURA BRASILEIRA, 1., 2003, São Pedro. **Anais...** São Pedro: Potafos, 2003.

ALVES, M. C. et al. Geoestatística como metodologia para estudar a dinâmica espaço-temporal de doenças associadas a *Colletotrichum* spp. transmitidos por sementes. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 31, n. 6, p. 557-563, nov./dez. 2006.

ANDRADE, C. E. **Calagem e adubação do café**. Viçosa: Aprenda Fácil, 2001. 130 p.

ARANTES, K. R.; FARIA, M. A. D.; REZENDE, F. C. Recuperação do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) após recepa, submetido a diferentes lâminas de água e parcelamentos da adubação. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 31, n. 2, p. 313-319, abr./jun. 2009.

BERKELEY, J. M.; COOKE, M. C. *Cercospora coffeicola*. **Grevillea**, [s.l.], v. 9, n. 49-52, p. 99, 1881.

BLEVINS, D. G.; LUKASZEWSKI, K. M. Boron in plant structure and function. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, Palo Alto, v. 49, n. 1, p. 481-500, 1998.

BRAGANÇA, S. M. et al. Acúmulo de B, Cu, Fe, Mn e Zn pelo cafeeiro conilon. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 54, n. 314, p. 398-404, jan./fev. 2007.

BRAGANÇA, S. M.; COSTA, A. N. D.; LANI, J. A. Absorção de nutrientes pelo cafeeiro conilon (*Coffea canephora* Pierre ex Froenher) aos 3,6 anos de idade : Macronutrientes. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 1., 2000, Poços de Caldas. **Resumos Expandidos...** Brasília: EMBRAPA Café, 2000. p. 1350-1352.

BROWN, P. H. et al. Boron in plant biology. **Plant Biology**, Stuttgart, v. 4, n. 2, p. 205-223, Feb. 2002.

BURMAN, R. D. et al. Water requirements. In: JENSEN, M. E. (Ed.). **Design and operation of farm irrigation systems**. Saint Joseph: ASAE, 1983. p. 189-232.

BURROUGH, P. A.; MCDONNELL, R. A. **Principles of geographical information systems**. 2. ed. Oxford: Oxford University Press, 1998. 333 p.

CADENA-GÓMEZ, G. Uso de la pulpa de café para el control de la mancha de hierro (*Cercospora coffeicola* Berk y Cooke) en almácigos. **Cenicafé**, Chinchina, v. 33, n. 3, p. 76-90, set. 1982.

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

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

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

CARVALHO, J. L. N. et al. Potencial de sequestro de carbono em diferentes biomas do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, n. 2, p. 277-289, mar./abr. 2010.

CARVALHO, V. L. D.; 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. **Cercospora: doenças do cafeeiro também chamada de "olho pardo" ou "olho de pomba"**. Lavras: EPAMIG, 2001. 5 p.

CATARINO, A. M. **Intensidade da mancha de Phoma em mudas de cafeeiro em função de doses de cálcio e de potássio**. 2011. 52 p. Dissertação (Mestrado em Fitopatologia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2011.

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

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira: café**. Brasília: CONAB, 2014. 55 p. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/14_05_20_08_49_17_boletim_maio-2014.pdf>. Acesso em: 14 mar. 2014.

CURRAN, P. J. The semivariogram in remote sensing: an introduction. **Remote Sensing of Environment**, New York, v. 24, n. 3, p. 493-507, 1988.

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**, Campinas, v. 18, n. 1, p. 55-81, Jan./Mar. 2006.

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

DAUB, M. E.; HERRERO, S.; CHUNG, K. R. Photoactivated perylenequinone toxins in fungal pathogenesis of plants. **FEMS Microbiology Letters**, Amsterdam, v. 252, n. 2, p. 197-206, Nov. 2005.

DORDAS, C. Role of nutrients in controlling plant diseases in sustainable agriculture: a review. **Agronomy for Sustainable Development**, Paris, v. 28, n. 1, p. 33-46, 2008.

ECHANDI, E. La chasparria de los cafetos causada por el hongo /Cercospora coffeicola/ Berk and cooke. **Turrialba**, San José, v. 9, n. 2, p. 54-67, Apr./June 1959.

ELLIS, M. B. **More dematiaceous hyphomycetes**. Surrey: Commonwealth Mycological Institute, 1976. 507 p.

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

FARIAS, P. R. S. et al. Agricultura de precisão: mapeamento da produtividade em pomares cítricos usando geostatística. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Cruz das Almas, v. 25, n. 2, p. 235-241, ago. 2003.

FARIAS, P. R. S. et al. Geostatistical analysis of the spatial distribution of *Rotylenchulus reniformis* on cotton cultivated in crop rotation. **Russian Journal of Nematology**, Rússia, v. 10, p. 1-9, 2002.

FERNANDES, C. D. **Efeito de fatores do ambiente e da concentração de inóculo sobre a cercosporiose do cafeeiro**. 1988. 73 p. Dissertação (Mestrado em Fitopatologia) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1988.

FERNANDES, C. D. et al. Influência da concentração de inóculo de *Cercospora coffeicola* e do período de molhamento foliar na intensidade da cercosporiose do cafeeiro. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 16, n. 1, p. 39-43, mar. 1991.

FERNÁNDEZ-BORRERO, O.; MESTRE, A. M.; LÓPEZ-DUQUE, S. Efecto de la fertilización en la incidencia de la mancha de hierro (*Cercospora coffeicola*) en frutos de café. **Cenicafé**, Chinchina, v. 17, n. 1, p. 5-16, mar. 1966.

FU, W. et al. Using moran's I and geostatistics to identify spatial patterns of soil nutrients in two different long-term phosphorus-application plots. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, Amsterdam, v. 174, n. 5, p. 785-798, Oct. 2011.

FURTINI NETO, A. E. **Fertilidade do solo**. Lavras: Editora da UFLA, 2001. 32 p.

GARCIA JUNIOR, 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.; LIMA, L. A.; CUSTÓDIO, A. A. D. 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 JUNIOR, C. **Manual do cafeicultor**. São Paulo: Melhoramentos, 1967. 320 p.

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

HUBER, D. M. The role of mineral nutrition in defense. In: HORSFALL, J. G.; COWLING, E. B. (Ed.). **Plant disease: an advanced treatise**. New York: Academic Press, 1980. p. 381-406.

JULIATTI, F. C. et al. Incidência e severidade de *Cercospora* sp. em café irrigado de Araguari-MG. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 2., 2000, Brasília. **Anais...** Brasília: Embrapa, 2000. p. 223-225.

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.

LANDIM, P. M. B. Sobre geoestatística e mapas. **Terra e Didática**, São Paulo, v. 2, n. 1, p. 19-33, 2006.

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. D. 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.

LIMA, L. M. **Variabilidade espacial da mancha de phoma relacionada à nutrição do cafeeiro e incidência da cercosporiose na qualidade do café.** 2009. 102 p. Tese (Doutorado em Fitopatologia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2009.

LIU, S. et al. Spatial variability of soil microbial biomass carbon, nitrogen and phosphorus in a hilly red soil landscape in subtropical China. **Soil Science and Plant Nutrition**, Tokyo, v. 56, n. 5, p. 693-704, Oct. 2010.

LÓPEZ DUQUE, S.; FERNÁNDEZ BORRERO, O. Epidemiología de la mancha de hierro del cafeto (*Cercospora coffeicola* Berk y Cook). **Cenicafé**, Chinchina, v. 20, n. 1, p. 3-19, Mar. 1969.

MACHADO, P. L. O.; BERNARDI, A. C.; SILVA, A. C. **Agricultura de precisão para o manejo da fertilidade do solo em sistema de plantio direto**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2004. 36 p.

MALAVOLTA, E. et al. Repartição de nutrientes nos ramos, folhas e flores do cafeeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 7, p. 1017-1022, jul. 2002.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006. 638 p.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba: Potafos, 1997. 319 p.

MALAVOLTA, E.; YAMADA, T.; GUIDOLIN, J. A. **Nutricao e adubacao do cafeeiro**. Piracicaba: Instituto da Potassa, 1981. 224 p.

MARQUES, E. S.; FAQUIN, V.; GUIMARÃES, P. T. G. Teores foliares de nutrientes no cafeeiro (*Coffea arabica* L.) em resposta a calcário e gesso. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 23, n. 1, p. 140-151, 1999.

MARSCHNER, H. Relationship between mineral nutrition and plant diseases and pests. In: MARSCHNER, H. (Ed.). **Mineral nutrition of higher plants**. 2. ed. London: Academic Press, 1995. Cap. 11, p. 436-460.

MATHERON, G. **The theory of regionalized variables and its applications**. Fontainebleau: Les Cahiers du Centre de Morphologie Mathematique, 1971. 211 p.

MATIELLO, J. B. et al. **Cultura do café no Brasil: manual de recomendações**. Rio de Janeiro: Fundação Procafé, 2010. 542 p.

MOUEN-BEDIMO, J. A. et al. Spatio-temporal dynamics of arabica Coffee Berry Disease caused by *Colletotrichum kahawae* on a plot scale. **Plant Disease**, Saint Paul, v. 91, n. 10, p. 1229-1236, 2007.

NELSON, M. R. et al. Applications of geographic information systems and geostatistics in plant disease epidemiology and management. **Plant Disease**, Saint Paul, v. 83, n. 4, p. 308 - 319, Apr. 1999.

OLANYA, O. M.; PORTER, G. A.; LAMBERT, D. H. Supplemental irrigation and cultivar effects on potato tuber diseases. **Australian Journal of Crop Science**, Austrália, v. 4, n. 1, p. 29-36, Jan 2010.

POZZA, A. A. A. et al. Influência da nutrição mineral na intensidade da mancha-de-olho-pardo em mudas de cafeeiro. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, Brasília, v. 36, n. 1, p. 53-60, jan. 2001.

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**, Jaguariuna, v. 26, n. 1, p. 29-34, Jan./Mar. 2000.

POZZA, A. A. A. **Influência da nutrição nitrogenada e potássica na intensidade da mancha de olho pardo (*Cercospora coffeicola* Berk. & Cook.) em mudas de cafeeiro**. 1999. 99 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1999.

POZZA, E. A.; CARVALHO, V. L.; CHALFOUN, S. M. Sintomas de injúrias causadas por doenças em cafeeiro. In: GUIMARÃES, R. J. et al. (Ed.). **Semiologia do cafeeiro: sintomas de desordens nutricionais, fitossanitárias e fisiológicas**. Lavras: Editora da UFLA, 2010. p. 69-101.

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

REZENDE, F. C. et al. Variabilidade espacial do pH em área com cafeeiro fertirrigado e sistema tradicional. **Coffee Science**, Lavras, v. 7, n. 3, p. 198-207, set./dez. 2012.

RICE, R. W. The physiological role of minerals in the plant. In: DATNOFF, L. E. et al. (Ed.). **Mineral nutrition and plant disease**. Saint Paul: APS Press, 2007. p. 9-29.

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

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

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

SOUZA, A. G. C. et al. Infection process of *Cercospora coffeicola* on coffee leaf. **Journal of Phytopathology**, Berlin, v. 159, n. 1, p. 6-11, Jan. 2011.

SOUZA, V. H. D. S. et al. Variações no teor de alguns elementos minerais nas folhas e frutos de café. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 22, n. 123, p. 318-331, 1975.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2013. 719 p.

TALAMINI, V. et al. Progress of coffee rust and brown eye spot with different periods at initial irrigation and fertirrigation time. **Ciencia 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. **Ciencia e Agrotecnologia**, Lavras, v. 25, n. 1, p. 55-62, jan./fev. 2001.

VALENCIA, A. G. Estudio fisiológico de la defoliación causada por *Cercospora coffeicola* en el café. **Cenicafé**, Chinchina, v. 21, n. 3, p. 105-114, Sept. 1970.

XIAO, C. L.; SUBBARAO, K. V. Effects of irrigation and *Verticillium dahliae* on cauliflower root and shoot growth dynamics. **Phytopathology**, Saint Paul, v. 90, n. 9, p. 995-1004, Sept. 2000.

YAMADA, T. **A nutrição mineral e a resistência das plantas às doenças**. Piracicaba: Potáfos, 1995. 72 p.

ZAMBOLIM, L. et al. Café: controle doenças. Doenças causadas por fungos, bactéria e vírus. In: VALE, F. V. R. do; ZAMBOLIM, L. (Ed.). **Controle de doenças de plantas: grandes culturas: volume 1**. Viçosa: Editora da UFV, 1997. p. 83-140.

CAPÍTULO 2

TEMPORAL ANALYSIS AND INTERACTION OF IRRIGATION WITH PHOSPHORUS LEVELS IN BROWN EYE SPOT OF COFFEE

Eugênio Chaves, Edson Ampélio Pozza, Gabriel Brandão Vasco, Gabriel Avelar Dornellas, Department of Plant Pathology, **Adélia Aziz Alexandre Pozza**, Department of Soil Science, **Myriane Stella Scalco**, Department of Engineering of Federal University of Lavras (UFLA), CEP 37200-000, Lavras, MG, Brazil.

ABSTRACT

Brown eye spot (BES - *Cercospora coffeicola*) is a major disease of coffee, and its occurrence is affected by water supply and nutritional balance. Water can be supplied by drip irrigation, with the advantage of providing fertigation. Phosphorus (P) is an essential nutrient, but little is known about its effect on the coffee field under irrigation. Thus, this study evaluated the interaction of different water application levels and phosphorus levels in the intensity of this disease. BES was assessed in coffee leaves, 12 leaves per plant from the middle third of the plant. Evaluations were performed at 30-day intervals for 26 months, from November 2011 to January 2014. The experiment used a randomized block design (RBD) factorial (5 irrigation levels x 4 phosphorus levels) with four replications. The area under the incidence progress curve (AUIPC) was calculated and subjected to analysis of variance. The progress curve of the average incidence of BES varied in both evaluation years. In year 1 (November 2011 to December 2012) the incidence peaked on Aug 12, 2012 (22.45%) while in year 2 (January 2013 to January 2014), the incidence reached its highest level on Sep 12, 2013 (16.29%). The exponential non-linear model was adjusted for two years. There was interaction between irrigation and phosphorus levels on Oct 07, 2012. AUIPC was not significant between treatments, but the incidence was significant to interaction in

harvest dates. In the first evaluation date, increase of phosphorus levels in smaller irrigation depths and absence of phosphate fertilizer in larger irrigation levels caused higher incidences.

1. INTRODUCTION

Brown eye spot (BES) caused by *Cercospora coffeicola* (Berkeley & Cooke) is a major disease of coffee (*Coffea arabica L.*), which causes severe defoliation and stunted plant growth (Fernández-Borrero et al., 1966). BES infects leaves and fruits causing yield losses estimated at 35 to 40% (Pozza et al., 2010) and decreasing grain quality when not under control (Lima et al., 2008). Variables related to the pathogen, the host and the environment, or their interaction can promote progress of disease. Environmental factors such as water supply (Santos et al., 2008, Talamini et al., 2001) and nutritional balance of plant (Pozza et al., 2002, Pozza et al., 2001) can lead to occurrence of BES. Soil water availability is required to translocate nutrients, which allows for nutritional balance of plant and resistance barriers such as wax layer and cell wall. In addition, soil water supplies metabolic pathways for the synthesis of resistance compounds (Belan et al., 2014).

The importance of water in plant growth and development is widely recognized (Taiz & Zeiger, 2013), and increased productivity is the main reason for maintaining water supply through management methods such as irrigation. Especially in coffee expansion areas in the Savana region, with Oxisol, water restrictions, and low soil fertility require efficient irrigation and fertilization management to make culture viable and financially sustainable (Mera et al., 2011). Although the climate in the South of Minas Gerais State, Brazil, where are planted about 25% of the coffee produced in this country, is favorable for coffee growing, the region has suffered water stress during crop critical periods

(Coelho et al., 2009, Lima et al., 2008). In this area, studies comparing drip irrigation and rainfed crop concluded that irrigation can be an alternative method to reduce intensity of coffee diseases and increase productivity (Santos et al., 2004, Talamini et al., 2003, Talamini et al., 2001). Irrigation also enables supply and split application of fertilizers through fertigation (Coelho et al., 2009, Silva et al., 2008), which increases humidity in a narrow strip of soil thus saturating fixation sites near the point of application (Zanini et al., 2007) and enabling nutrient absorption.

BES is the coffee disease most likely to be controlled by cultural practices, such as increased soil fertility and balanced plant nutrition. In some cases, the use of chemical control may be prevented or delayed to reduce the number of agrochemical sprays. Nitrogen (N), potassium (K) and calcium (Ca) are important nutrients already studied for this disease. Balanced application of Ca, K, and N supply according to plant needs can reduce disease intensity (Garcia Junior et al., 2003, Pozza et al., 2001); however, few studies have cited the influence of P on disease progress.

Phosphorus concentration in coffee plants and in the ground is relatively small, especially in Brazilian soils. However, excessive levels of phosphate fertilizers have been used in coverage and crop planting rows (Lin, 1990, Wanga et al., 2014). The remarkable response of plants to phosphorus nutrition in the initial growth stage may be related to the role of P in various host metabolic processes. Phosphorus is responsible for protein synthesis and enzyme reactions. Among them, protein synthesis and enzyme reactions, as nucleoproteins are necessary for cell division, acting on ion absorption process, energy transfer, reduction of alkaloids and lignin glycosides, besides having great influence on growth and development of root systems (Malavolta, 1980, Marschner, 2012, Pozza et al., 2007, Prabhu et al., 2007, Reis et al., 2011). Drip fertigation can increase the distribution of phosphorus in soils. When there

is lack of sufficient moisture in the rhizosphere, the absorption of P becomes restricted (Behera & Panda, 2009, Prabhu et al., 2007). Although phosphorus is an essential nutrient for plants, studies of its effect on BES and other diseases are still scarce and inconsistent (Prabhu et al., 2007, Wanga et al., 2014). Pozza et al. (2007) studied the effect of substrates and additional fertilization on coffee seedlings grown in nurseries and found no difference in the severity of BES.

Thus, this study evaluated the interaction of water levels with different phosphorus levels on the temporal progress and intensity of BES in coffee plants.

2. MATERIAL AND METHODS

The experiment was conducted for 2 years, from November 2011 to January 2014 in Lavras, southern Minas Gerais. The first assessment year was from November 2011 to December 2012 (Year 1) and the second year was January 2013 to January 2014 (Year 2). The experimental area is located 910 meters above sea level, latitude 21°14'06'' South and longitude 45°00'00'' West. The region has a subtropical climate. The climatic classification proposed by Köppen is tropical climate. The classification proposed by Köppen is Cwa type with dry winters and rainy summers (Dantas et al., 1866). The rainy season occurs from October to March (hydric excess of 661 mm) while the dry season occurs from April to September (hydric deficiency of 30mm). The annual average temperature is 19.4⁰C, ranging from 15.8⁰C in July to 22.1⁰C in February, and annual average total rainfall is 1,530 mm, ranging from 23 mm in July to 296 mm in December . The soil was classified as Oxisol (Eutroferic Red Latossol), with pH = 5.1, P-rem = 15.1 mg/L, P = 31.78 mg/dm³, K = 164.5 mg/dm³, Ca⁺² = 2.01 cmolc/dm³, Mg⁺² = 0.42

cmolc/dm³, V (%) = 28.8%, m (%) = 8.25%, MO = 3.59 dag/Kg, Zn = 8.63 mg/dm³ and Al⁺³ = 0.40 cmolc/dm³. The variety of *Coffea arabica* L. was Topazio MG 1190, which is susceptible to BES. Coffee plants grown conventionally but without fungicide spraying.

Level planting was conducted in Jan 15, 2010 with 3 by 0.6 m spacing (5571 plants ha⁻¹) in a randomized block design with four replications and 20 treatments derived from the combination of five irrigation levels corresponding to crop coefficient (Kc) 0.4; 0.7; 1.0; 1.3, and 1.6 and four levels of P₂O₅, D1 = 0 (phosphorus application only at planting, 50 grs de P₂O₅ per planting hole), D2 = 80 kg P₂O₅/ha (recommended by Guimarães et al. (1999) for productivity 60 sacks/ha), D3 = 240 kg of P₂O₅/ha and D4 = 720 kg of P₂O₅/ha constituting a scheme for factorial analysis of variance. Each replication consisted of the 3 rows of 13 plants, of which 11 plants in the center line were considered usable and the other were borders. Phosphorus levels were split into twelve applications through fertigation (Sobreira et al., 2011) along with nitrogen and potassium fertilizer following recommendations by Guimarães et al. (1999). Treatments were fertilized with soluble nutrient sources indicated for fertigation. At zero dose of P₂O₅, potassium nitrate (KNO₃) and livestock urea were used as sources of N and K₂O, respectively, due to their higher purity (45% N). In the treatments with different levels of P, we used purified MAP (11.9% N and 60.8% P₂O₅). Potassium nitrate KNO₃ (13% N and 44% K₂O) was used as source of K₂O, which was also able to provide part of the necessary nitrogen. In case of supplementation, livestock urea was used as source of nitrogen (N).

During planting, 100g dolomitic limestone were applied in the area with 10.9% magnesium oxide and 41% calcium oxide per linear meter of furrow, and then mixed with soil. Thirty days after planting the seedlings we applied 50% dose of P (Guimarães et al., 1999), equivalent to 25 grams P₂O₅

per furrow. Ten months after planting we applied the 50% remaining with 20 g/furrow of N and 20 g/furrow of K₂O through fertigation. Control of pests and weeds was carried out according to the level of control for the culture.

Micronutrients were applied three times a year through leaves, following recommendations by Guimarães et al. (1999). The amount was calculated according to leaf analysis using boric acid (1% B), zinc sulfate (20% Zn and 9 % S), potassium chloride (56% K₂O), copper hydroxide, and adhesive spreader.

Irrigation levels were calculated according to the crop coefficient (K_c) estimated by the method proposed by Villa-Nova et al. (2002). We used drip irrigation with drippers (nominal flow 3.75 L/h) spaced 0.40 m along the irrigation line, close to plant stems in the planting rows, forming a wet bulb. System pressure was measured periodically using manometer and maintained at 400 kPa. Irrigation was performed three times a week (Monday, Wednesday, and Friday) in fixed irrigation.

The incidence of BES was evaluated using non-destructive method in 12 leaves per plant from the middle third portion, in 11 plants, totaling 132 leaves per plot. These evaluations were performed at 30-day intervals for 26 months, from November 2011 to January 2014 in all plots. The incidence (I) was calculated according to equation 1 (Campbell & Madden, 1990).

$$I(\%) = \frac{NSD}{NLT} * 100 \text{ (Equation 1)}$$

Where:

I = incidence (%)

NSD = number of sick leaves;

NLT = number of leaves per treatment.

On the same assessment days we also evaluated leaf retention of plots using the diagrammatic scale proposed by Boldini (2001) note 1 (0 to 20% of

defoliation), 2 (21 to 40%), 3 (41 to 60%) 4 (61 to 80%) and 5 (81 to 100%).

Data of both incidence and defoliation were integrated in the area under the incidence progress curve (AUIPC) and defoliation progress curve (AUDEFPC) according to Shaner and Finney (1977) and Equation 2.

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

Where:

AUIPC= area under the incidence progress curve;

Y_i= proportion of disease in the i-nth observation;

T_i= time in days in the i-nth observation;

n= total number of observations

Plot harvesting was manual on cloth, starting from 20% green fruits. After detachment, coffee volume was measured in liters and recorded in Kg/ha.

Climate variables were provided by an automatic weather station µMetos® installed in the experimental area in the coffee crop: maximum (T_{max}), mean (T_{med}) and minimum temperature (T_{min}), relative humidity (UR), wind speed (Vel), incident solar radiation (rad) and total precipitation (Prec).

Using data of both incidence and defoliation means of all treatments, we plotted the progress curves of these two variables over time for year 1 (Nov 16, 2011 to Dec 13, 2012) and year 2 (Jan 22, 2013 to Jan 20, 2014) separately. The adjustment of nonlinear models was made for years 1 and 2 from May18, 2012 to Oct 22, 2012 and from May 05/2013 to Dec 09, 2013 respectively, i.e. from the onset of disease or incidence near zero to maximum incidence or stabilization period before incidence decrease. These data were subjected to analysis of variance of regression. Progress data with significant F

($P < 0.05$) were subjected to adjustment of nonlinear, exponential, logistic, monomolecular, and Gompertz models in procedure PROC GLM, SAS[®] software. The best model was chosen according to the highest coefficient of determination (R^2), the smallest mean square error, and best dispersion of points in the residual plot.

From January 2012 sampling was performed at two-month intervals to determine foliar nutrient levels in all treatments. A pair of leaves, the 3rd or 4th pair from the apex of reproductive branches in the middle region was collected from each side of all usable plants in the plots. We obtained foliar levels of nitrogen (N), phosphorus (P), potassium (K), calcium (Ca), magnesium (Mg), sulfur (S), zinc (Zn), iron (Fe), manganese (Mg), copper (Cu) and boron (B) and the soil levels of phosphorus resin (P-res), phosphorus remaining (P-rem) e phosphorus available (P-avl). Foliar nutrient levels were determined following the method by Malavolta et al. (1997). Chemical analysis of soil with respect to P-available, P-remaining, and P-resin in all treatments was made by sampling on November 21, 2012. The levels of this nutrient was determined as described by EMBRAPA (2011).

The statistical analysis of the experiment and comparison of treatments were performed using SAS[®] v.9.3 statistical software (SAS Institute). Data of incidence in each evaluation date, defoliation, production, and AUIPC were subjected to analysis of normality and homogeneity of variance of residuals to meet the conditions of analysis of variance using Levene's test. As the test was significant for incidence and defoliation, data were previously transformed into \log_{10} . Analyses of variance of the AUIPC and productivity were performed. Then the means of treatments were compared using the F test ($P < 0.05$). Significant quantitative variables were subjected to regression analysis by adjusting the statistical model suitable to explain pathosystem behavior.

We performed the Pearson's correlation of BES incidence in leaves using the mean of climatic variables collected up to 30 days prior to each evaluation, leaf nutrient levels obtained in the month of collection, and soil fertility regarding the year of soil sampling for AUIPC and the month of incidence evaluation during the experimental period (Nov 16, 2011 to Jan 20, 2014).

3. RESULTS

The average progress curve of incidence of BES in coffee had different behaviors between year 1 (November 2011 to December 2012) and year 2 (January 2013 to January 2014) (Figure 1A).

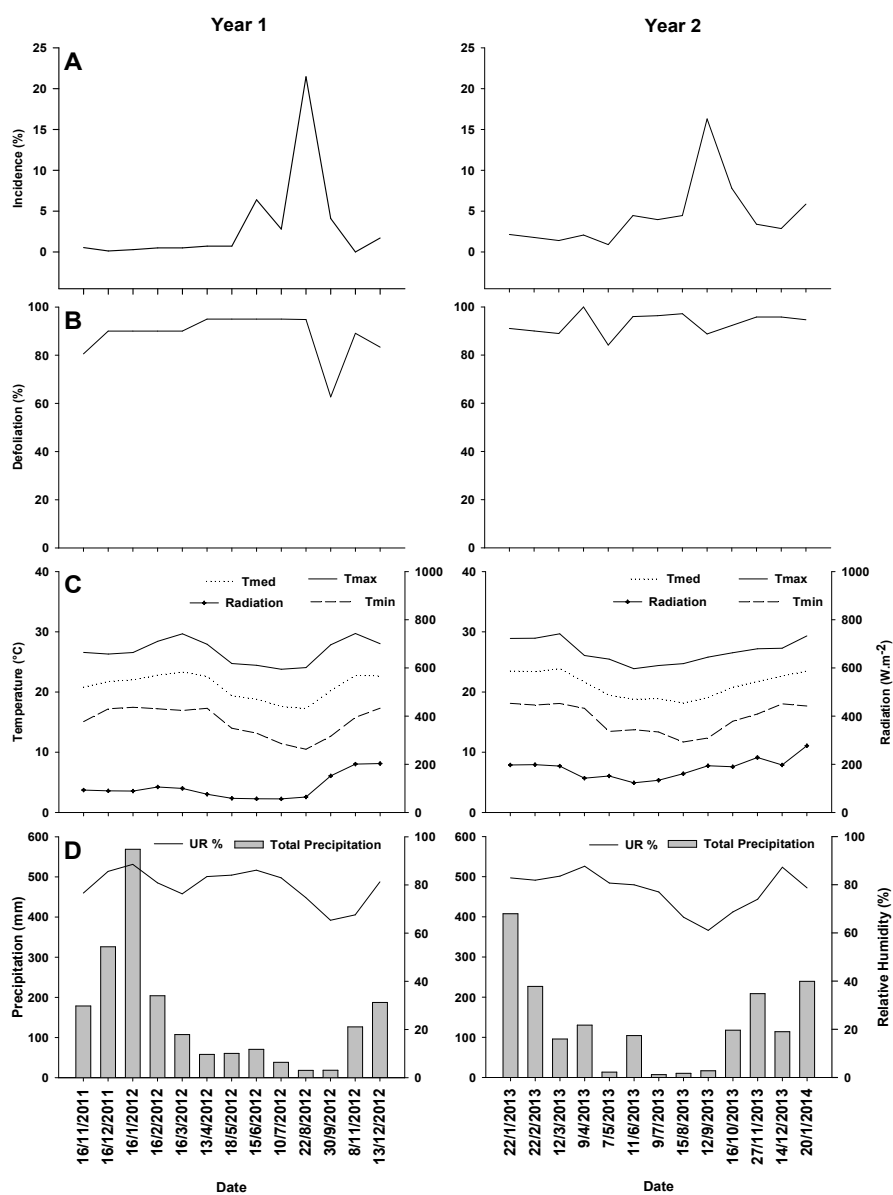


Figure 1 – Progress curve of incidence of Brown Eye Spot in coffee (A), defoliation (B) and behavior of climate variables (C, D) from November 2011 to December 2012 (Year 1) and the second year was January 2013 to January 2014 (Year 2).

The progress of incidence in year 1 and year 2 started on 05/18/2012 and 05/07/2013 respectively. From these dates in both years in days of higher

mean incidence on Aug 22, 2012 (21.45%) and Sep 12, 2013 (16.3%) we found lower maximum, medium and minimum temperatures, lower relative humidity, reduced cumulative monthly rainfall, and increased mean radiation, 24°C, 17°C and 10°C, 18.12 mm, 64.21 W/m², and 25.8°C, 19.1°C 12°C, 61%, 16.6 mm, 194.15 W/m², respectively (**Figures 1C and 1D**). There was also a significative (P<0.05) and negative correlation of incidence of BES with the maximum, mean and minimum temperature, relative humidity and total precipitation, and positive correlation with wind speed (**Table 1**).

Table 1 - Coefficients of correlation between climatic variables, and incidence thirty days prior to the assessment of Brown Eye Spot in coffee, November, 2011 to January, 2014

	Tmax (°C)	Tmed (°C)	Tmin (°C)	UR (%)	Rad (W/m ²)	Prec (mm)	Veloc (mm)
Incidence	-0.34*	-0.46*	-0.50*	-0.39*	-0.09NS	-0.30*	0.38*

* = significant at 5% probability by F test. NS = Not Significant. Tmax = maximum temperature; Tmed = mean temperature; Tmin = minimum temperature; UR = relative humidity; Rad = incident solar radiation; Prec = total precipitation and Vel = wind speed.

There was also a significant difference of AUIPC (P<0,05) between the two evaluation years (**Figure 2**). Year 1 had value 180, lower than year 2 with 432, i.e. 41.6% lower.

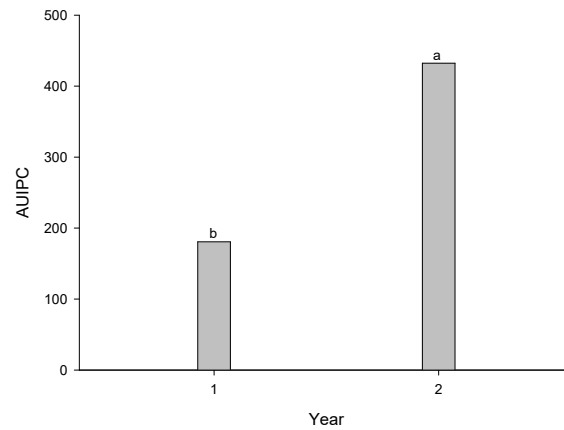


Figure 2 - Area under incidence progress curve (AUIPC) of Brown Eye Spot of coffee in years 1 (2013) and 2 (2014).

There was significant difference in production ($P < 0.05$) between year 1 and year 2 (**Figure 3**). Production was higher in year 1, with average 3650.4 Kg/ha whereas year 2 produced 723 Kg/ha.

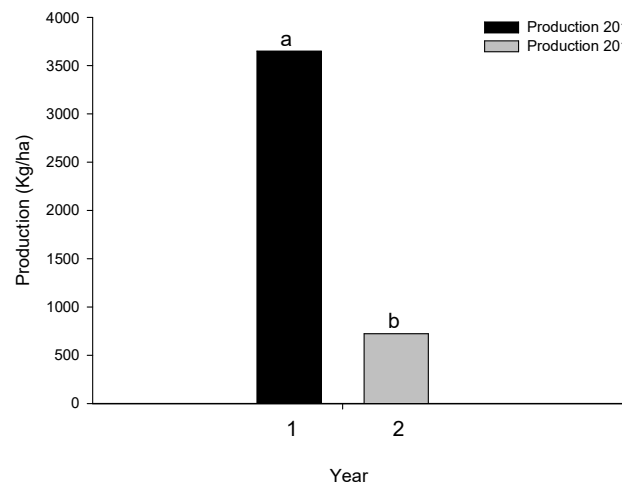


Figure 3 – Coffee production (Kg/ha) between year 1 (2012) and 2 (2013).

With regard to fitting of disease progress curves, exponential was the non-linear model which best fitted in both year 1 ($R^2 = 0.86$) and year 2 ($R^2 = 0.74$) (Figure 4 and Table 2). There was no final period of curve stabilization, i.e. there was a peak of maximum amount of disease and then a sudden drop in intensity.

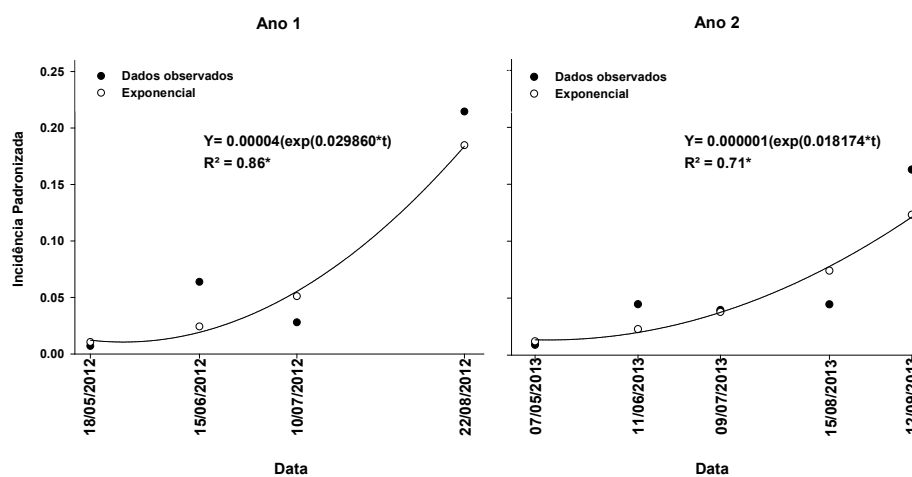


Figure 4 – Graph of standardized incidence of Brown Eye Spot between 0 and 1 with observed data and the data set with the set of exponential curve model for year 1 and year 2. * = Significant at 5% t test.

Table 2 – Progress rate of Brown Eye Spot (r), initial inoculum or interceptor (y_0), coefficient of determination (R^2) and mean square error (MSE) of non-linear models for years 1 and 2.

Models	Year 1				Year 2			
	r	y_0	R^2	MSE	r	y_0	R^2	MSE
Actual	0.002*	-0.380*	0.72	0.001	0.001	-0.050*	0.60	0.0008
Expon.	0.029*	0.000*	0.86	0.000	0.018	0.000*	0.74	0.0004
Monom.	0.002*	0.548*	0.69	0.001	0.001	-0.757*	0.58	0.0009
Logistic	0.032*	0.000*	0.85	0.007	0.019	0*	0.73	0.0004
Gompertz	0.010*	0*	0.82	0.000	0.005	0*	0.69	0.0005

* = Significant at 5% t test, ^{NS} = Not significant by t test, MSE = Mean Square Error, Expon. = Exponential, Monom. = Monomolecular,

There was no interaction effect between phosphorus levels and irrigation levels for AUIPC ($P < 0.05$). However, there was significant

interaction ($P < 0.05$) between irrigation levels and phosphorus levels specifically on July 10, 2012, soon after harvesting (**Figure 5**). On this date the incidence of BES was higher (6.53%) in the irrigation depth corresponding to $K_c = 0.7$ with increasing phosphorus levels up to 720 Kg P/ha. In the irrigation levels corresponding to $K_c = 1.6$ with no phosphorus application there was high incidence of disease (6%). With increasing application of phosphorus the incidence reduced until stabilizing (1.7%) on dose 240 Kg/ha and $K_c = 0.4, 1, 1.3, \text{ and } 1.6$. Irrigation levels with $K_c = 0.4, 0.7, \text{ and } 1$ and P levels = 0, 80, and 720 Kg P/ha showed lower incidence (**Figure 5B**).

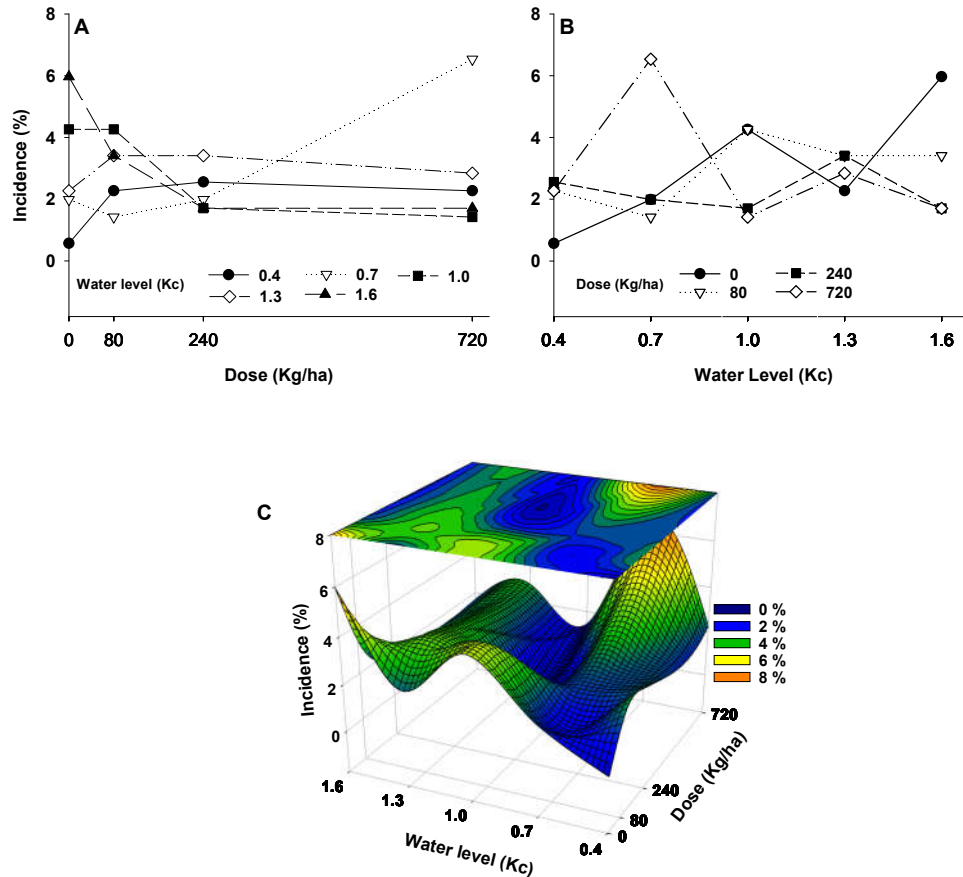


Figure 5 – A) Graph of actual incidence (%) of Brown Eye Spot (BES) in different irrigation levels corresponding to fractions of crop coefficient (Kc) in P levels (kg/ha), **B)** Graph of actual incidence (%) of BES in different levels of P (Kg/ha) in irrigation levels corresponding to fractions of crop coefficient (Kc), and **C)** graph of actual incidence (%) of BES in interaction between P levels (Kg/ha) and irrigation depths (Kc) in July10, 2012.

There was negative correlation of incidence of BES with leaf nutrients calcium, zinc, and manganese in year 1, which had higher productivity, while year 2 showed no significant difference between incidence and leaf nutrients (Table 3).

Table 3 - Coefficients of correlation between leaf nutrients and incidence of Brown Eye Spot of coffee, from Nov/2011 to Dec/2012 (Year 1) and from Jan/2013 to Jan/2014 (Year 2).

Incidence	N g/kg	P g/Kg	K g/Kg	Ca g/kg	Mg g/kg	Zn mg/kg	Fe mg/kg	Mn mg/kg	Cu mg/kg	B mg/kg
Year 1	-0.03 ^{NS}	-0.01 ^{NS}	0.03 ^{NS}	-0.22*	0.00 ^{NS}	-0.22*	0.02 ^{NS}	-0.29*	0.08 ^{NS}	0.02 ^{NS}
Year 2	0.01 ^{NS}	-0.10 ^{NS}	-0.06 ^{NS}	0.06 ^{NS}	-0.08 ^{NS}	-0.04 ^{NS}	0.06 ^{NS}	0.06 ^{NS}	-0.02 ^{NS}	0.02 ^{NS}

* = Significant at 5% probability by F test. ^{NS} = Not significant

There was significant negative correlation between phosphorus resin and phosphorus available with the AUIPC of BES. The AUIPC was higher when the amount of available and remaining phosphorus to plants was lower (**Table 4**).

Table 4 - Coefficients of correlation between soil analyses and evaluation of Incidence and Area Under Incidence Progress Curve (AUIPC) of Brown Eye Spot of coffee with Phosphorus resin (Pres) remaining (Prem) and available (Pavl) from Nov/ 2011 to Jan/2013.

	Pres mg/dm ³	Prem mg/dm ³	Pavl mg/dm ³
Incidence	-0.07 ^{NS}	0.03 ^{NS}	-0.04 ^{NS}
AUIPC	-0.15*	0.029 ^{NS}	-0.25*

* = Significant at 5% probability by F test. ^{NS} = Not significant

The correlation of AUIPC and AUDEFPC with production was different in the two years. In year 1 it was negative from Nov/2011 to Dec/2012 and positive from Jan/2013 to Jan/2014 (**Table 5**).

Table 5 – Pearson’s correlation coefficients between each year production (Kg/ha) and the Area Under Incidence Progress Curve (AUIPC) and Area Under Defoliation Progress Curve (AUDEFPC) of Brown Eye Spot of coffee from Nov/2011 to Dec/2012 (Year 1) and from Jan/2013 to Jan/2014 (Year 2).

	Production Year 1	Production Year 2
AUIPC	-0.32*	0.40*
AUDEFPC	-0.22*	0.34*

* = high significance level at $P < 0.05$.

4. DISCUSSION

There was variation in the temporal progress of BES in both years, from May to August in year 1 and from May to September in year 2, while Talamini et al. (2003) found points of higher incidence in the progress curve of disease in different split fertilizer applications with nitrogen, potassium, and phosphorus by fertigation from May to July, i.e. the behavior of the progress curve may vary over time. From October in both years rainfall gradually increased along with rising temperatures and relative humidity, reducing the intensity of disease. This fact was confirmed by Talamini et al. (2003) and Custódio et al. (2010), who reported absence of disease at a determined period. At this time plants start sprouting leaves, diluting the amount of disease (Madden et al., 2007), and there is little inoculum in the shoots, as disease cycles begin. In center-pivot-irrigated coffee, however, Custódio et al. (2014) found high levels of BES at average temperatures of 22°C and especially with high relative humidity, close to 89%, resulting from increased precipitation and sprinkler irrigation, which also influenced productivity. That is, intensity of disease can vary depending on other variables such as water application method and fruit load.

Regarding the progress curve, after BES reached its maximum value in the evaluated years there was significant decrease of disease, i.e. there was no stabilization period in the amount of injured leaves, thus the non-linear model

fitted was the exponential. This sudden drop in intensity is related to disease characteristics, i.e. with the production of ethylene in leaves due to activation of toxin cercosporin (Daub & Ehrenshaft, 2000, Daub et al., 2005) there is significant leaf fall. This fact is also due to a higher incidence of solar radiation during this period, which is required for toxin activation (Daub & Ehrenshaft, 2000, Daub & Ehrenshaft, 1993). The impact of manual harvesting also increases the leaf fall with high concentration of ethylene. It is also due to lower rainfall and less amount of water supplied in several treatments, reducing water availability and thus nutrient transport, which is essential for developing horizontal resistance barriers against infection by *C. coffeicola* (Botelho et al., 2011, Botelho et al., 2005).

The difference between the behavior of mean progress of incidence of BES of coffee and AUIPC of both years can be explained by difference of production and defoliation. The higher production in determined year required higher availability of nutrients for fruits, which could lead to plant nutritional imbalance due to the high load pending in the next year (Menezes, 2001). According to Pozza et al. (2001), deficient or unbalanced nutrition has a direct effect on the intensity of BES in coffee. After higher average incidence in year 1 there was sharp fall in defoliation, with minimum 62.7% on Sep 30, 2012 leading to dilution of the incidence of disease due to both premature leaf fall caused by BES and fruit harvesting in addition to increased temperature, humidity, and precipitation (Pozza et al., 2001). According to Santos et al. (2008), defoliation intensified by disease reduces photosynthetic capacity, vegetative growth, and fruit size during coffee cycle. This intense leaf fall from the previous cycle of disease reduces the number of nodes in the branches, damaging the formation of flower buds that would produce fruits, thus reducing production capacity in next harvest season (Santos et al., 2008).

The interaction of phosphorus supply with irrigation was significant on post-harvest dates, which is a critical period for coffee plant because the canopy must regrow to meet the photosynthetic demand for the next crop (Santos et al., 2008). Both lack and excess of irrigation and phosphorus fertilization at that time resulted in low incidence of disease. The absence of phosphorus in the soil influenced the AUIPC. There was a negative correlation between Pres and Pavl and AUIPC. On the other hand, according to Pozza et al. (2007), increased phosphorus levels can increase the severity of disease by competing with the absorption of other essential cations in the formation of resistance barriers, and deficiency results in reduced synthesis of compounds related to plant defense. Fernández-Borrero et al. (1966) also mention that the intensity of BES may increase as a result of excessive irrigation and water shortage, as well as insufficient use of fertilizers and unbalanced fertilization. Thus, increasing irrigation levels may have favored leaching of N and K causing nutritional imbalance and consequently an increase in incidence. During both years of experiment there was good rainfall distribution, with annual total of 1961.42 and 1691.5mm and monthly average of 150.96 and 130.12mm for 2012 and 2013, respectively (**Figure 1A**), while the average annual rainfall in Lavras is 1529.72 mm (Brazil, 1992). According to Camargo (2010), precipitation 1600-2000 mm would be ideal for coffee cultivation. Thus, rainwater storage during both years provided irrigation in times of drought, absorption of nutrients, and uniformity of plant growth thus reducing the effect of irrigation on the AUIPC in other disease evaluation dates. Salgado et al. (2007), Santos et al. (2004) also found a higher incidence of BES in non-irrigated plots, thus indicating positive influence of availability of water on reducing the incidence of this disease.

Phosphorus concentrations in shoots ranged from 1.1 to 2.7 g/kg and the highest content was above the amount suitable for adult coffee plants (1.6 to 1.9 g/kg) according to Malavolta et al. (1997), and similar (1.6 to 2.9 g/kg) to those

found by Pozza et al. (2001) and Pozza et al. (2007). However, Pozza et al. (2002) assessed the supply of phosphorus in coffee seedlings grown in propagation tubes found no effect on intensity of BES, as phosphorus was available in the organic matter of the planting substrate in amounts necessary for seedling growth to the evaluated stage. According to the authors, although phosphorus is an essential macronutrient for coffee, it is less required than the other macronutrients in this stage, which probably shows the high phosphorus fixation (Pozza et al., 2002).

The difference of correlation between AUIPC and AUDEFPC may be related to productivity and intensity of BES in the previous year, when even a minor injury by the pathogen causes premature leaf fall and consequently less leaf area and lower production of photoassimilates to accumulate nutrients for the following year. According to Androcioli et al. (2012), the study of alternative products in the control of BES and coffee rust shows that the production in the second evaluation year reflects some treatment carried out in the preceding year, which allows for more coffee defoliation. Higher extraction of nutrients from leaves to the high pending load and heavy leaf fall significantly increased plant susceptibility to infection by *C. coffeicola*, which resulted in higher AUIPC in year 2 in the progress of BES (Santos et al., 2008).

5. CONCLUSIONS

The temporal progress of BES was different in the two evaluation years. In year 1, November 2011 to December 2012, the incidence of disease peaked on Aug 22, 2012 (22.45%) while from January 2013 to January 2014 (Year 2) the incidence reached its highest level on Sep 12/2013 (16.29%).

The exponential model was the best fit for the progress curves of BES from May 18, 2012 to Aug 22, 2012 and from May 07, 2013 to Sep 12,

2013.

There was negative correlation of AUIPC with levels of soil phosphorus, leaf calcium, manganese and zinc, and year 1 production.

There was interaction between irrigation levels and phosphorus levels on July 10, 2012, at the harvest. The AUIPC of disease was higher in lower irrigation levels and lower levels of P, and with higher irrigation levels and higher levels of P.

6. ACKNOWLEDGEMENTS

To FAPEMIG for granting the scholarship, to National Institute of Science and Technology Coffee (INCT Coffee), CNPq, and CAPES for funding the project and the Coffee Culture Sector at the Federal University of Lavras for providing the experimental area and staff members.

REFERENCES

Androcioli, H.G.; Menezes Junior, A.d.O.; Hoshino, A.T.; Androcioli, L.G. Alternative products to control *Hemileia vastatrix* (Berkeley & Broome) and *Cercospora coffeicola* (Berkeley & Cooke) in organic coffee. *Coffee Science* 7:187-197, 2012.

Behera, S.K.; Panda, R.K. Effect of fertilization and irrigation schedule on water and fertilizer solute transport for wheat crop in a sub-humid sub-tropical region. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 130:141-155, 2009.

Belan, L.L.; Pozza, E.A.; Freitas, M.L.d.O.; Pozza, A.A.A.; Abreu, M.S.; Alves, E. Nutrients distribution in diseased coffee leaf tissue. *Australas Plant Path* 43:1-9, 2014.

Boldini, J.M. Epidemiologia da ferrugem e da cercosporiose em cafeeiro irrigado e fertirrigado. Dissertação. Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2001.

Botelho, D.M.S.; Pozza, E.A.; Alves, E.; Botelho, C.E.; Pozza, A.A.A.; Ribeiro Junior, P.M.; Souza, P.E.d. Effect of silicon on the intensity of brown eye spot and on the mineral nutrition of coffee seedlings. *Arquivos do Instituto Biológico* 78:23-29, 2011.

Botelho, D.M.S.; Pozza, E.A.; Pozza, A.A.A.; Carvalho, J.G.d.; Botelho, C.E.; Souza, P.E.d. Effect of silicon doses and sources on the intensity of the brown eye spot of coffee seedlings. *Fitopatologia Brasileira* 30:582-588, 2005.

Camargo, A.P. The impact of climatic variability and climate change on arabic coffee crop in Brazil. *Bragantia* 69:239-247, 2010.

Campbell, C.L.; Madden, L.V. *Introduction to plant disease epidemiology*. New York: J. Wiley, 1990.

Coelho, G.; Silva, A.M.; Rezende, F.C.; Silva, R.A.; Custódio, A.A.P. Efeito de épocas de irrigação e de parcelamentos de adubação sobre a produtividade do cafeeiro 'Catuaí'. *Cienc Agrotec* 33:67-73, 2009.

Custódio, A.A.d.P.; Pozza, E.A.; Custódio, A.A.d.P.; Souza, P.E.d.; Lima, L.A.; Lima, L.M.d. Intensidade da ferrugem e da cercosporiose em cafeeiro quanto à face de exposição das plantas. *Coffee Science* 5:214-228, 2010.

Custódio, A.A.P.; Pozza, E.A.; Custódio, A.A.d.P.; Souza, P.E.; Lima, L.A.; Silva, A.M.d. Effect of Center Pivot Irrigation in the Progression of Rust and Brown Eye Spot of Coffee. *Plant Dis* 98:943-947, 2014.

Dantas, A.A.A.; Carvalho, L.G.; Ferreira, E. Climatic classification and tendencies in Lavras region, MG. *Cienc Agrotec* 31:1862-1866, 1866.

Daub, M.E.; Ehrenshaft, M. The photoactivated *Cercospora* toxin cercosporin: Contributions to plant disease and fundamental biology. *Annu Rev Phytopathol* 38:461, 2000.

The photoactivated toxin cercosporin as a tool in fungal photobiology. *Physiol Plantarum* 89:227-236, 1993.

Daub, M.E.; Herrero, S.; Chung, K.R. Photoactivated perylenequinone toxins in fungal pathogenesis of plants. *Fems Microbiol Lett* 252:197-206, 2005.

EMBRAPA. Manual de métodos de análises de solos. 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011.

Fernández-Borrero, O.; Mestre, A.M.; López-Duque, S. Efecto de la fertilización en la incidencia de la mancha de hierro (*Cercospora coffeicola*) en frutos de café. *Cenicafé* 17:5-16, 1966.

Garcia Junior, D.; Pozza, E.A.; Pozza, A.A.A.; Souza, P.E.; Carvalho, J.G.; Balieiro, A.C. Incidência e severidade da cercosporiose-do-cafeeiro em função do suprimento de potássio e cálcio em solução nutritiva. *Fitopatologia Brasileira* 28:286-291, 2003.

Guimarães, P.T.G.; Garcia, A.W.R.; V., V.H.A.; Prezotti, L.C.; Viana, A.S.; Miguel, A.E.; Malavolta, E.; Corrêa, J.B.; Lopes, A.S.; Nogueira, F.D.; Monteiro, A.V.C.; Oliveira, J.A.d. Cafeeiro. In: Ribeiro, A.C.; Guimarães, P.T.G.; V., V.H.A., (eds.). *Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais. 5. Aproximação*. Viçosa:CFSEMG, Page 359, 1999.

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. *Cienc Agrotec* 32:1832-1842, 2008.

Lin, C.G. The holes, structures and cultivable peculiarly of field soil. Beijing, 1990.

Madden, L.V.; Hughes, G.; van den Bosch, F. *The Study of Plant Disease Epidemics*. The American Phytopathological Society. Minnesota, 2007.

Malavolta, E. *Nutrição mineral de plantas*. Piracicaba: Pioneira, 1980.

Malavolta, E.; Vitti, G.C.; Oliveira, S.A. *Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações*. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa do Fosfato, 1997.

Marschner, H. *Mineral nutrition of higher plants*. London: Academic, 2012.

Menezes, J.F.S. *Avaliação do estado nutricional de cafeeiros de Minas Gerais*. Doutorado em Fitotecnia. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2001.

Mera, A.C.; Oliveira, C.A.d.S.; Guerra, A.F.; Rodrigues, G.C. Regimes hídricos e doses de fósforo em cafeeiro. *Bragantia* 70:302-311, 2011.

Pozza, A.A.A.; Guimaraes, P.T.G.; Pozza, E.A.; de Carvalho, J.G.; Montanari, M.; de Souza, R.F. Efeito do tipo de substrato e da presença de adubação suplementar sobre o crescimento vegetativo, nutrição mineral, custo de produção e intensidade de cercosporiose em mudas de cafeeiro formadas em tubetes. *Cienc Agrotec* 31:685-692, 2007.

Pozza, A.A.A.; Guimaraes, P.T.G.; Romaniello, M.M.; Pozza, E.A.; Carvalho, J.G.d. Suprimento de fósforo na produção e intensidade da cercosporiose de mudas de cafeeiro em tubetes. *Cienc Agrotec* 26:970-976, 2002.

Pozza, A.A.A.; Martinez, H.E.P.; Caixeta, S.L.; Cardoso, A.A.; Zambolim, L.; Pozza, E.A. Influência da nutrição mineral na intensidade da mancha-de-olho-pardo em mudas de cafeeiro. *Pesqui Agropecu Bras* 36:53-60, 2001.

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., (eds.). *Semiologia do cafeeiro: sintomas de desordens nutricionais, fitossanitárias e fisiológicas*. Lavras:UFLA, pp. 69-101, 2010.

Prabhu, A.S.; Fageria, N.K.; Berni, R.F.; Rodrigues, F.Á. Phosphorus and Plant Disease. In: Datnoff, L.E.; Elmer, W.H.; Huber, D.M., (eds.). *Mineral nutrition and plant disease*. St. Paul, MN:APS Press, pp. 45-55, 2007.

Reis, T.H.P.; Guimarães, P.T.G.; Neto, A.E.F.; Guerra, A.F.; Curi, N. Soil phosphorus dynamics and availability and irrigated coffee yield. *Rev Bras Cienc Solo* 35:503-512, 2011.

Salgado, B.G.; Macedo, R.L.G.; Carvalho, V.L.d.; Salgado, M.; Venturin, N. Progresso da ferrugem e da cercosporiose do cafeeiro consorciado com grevilea, com ingazeiro e a pleno sol em Lavras - MG. *Cienc Agrotec* 31:1067-1074, 2007.

Santos, F.d.S.; Souza, P.E.; Pozza, E.A. Epidemiologia da cercosporiose em cafeeiro (*Coffea arabica* L.) fertirrigado. *Summa Phytopathologica* 30:31-37, 2004.

Santos, F.d.S.; Souza, P.E.d.; Pozza, E.A.; Miranda, J.C.; Carvalho, E.A.; Fernandes, L.H.M.; Pozza, A.A.A. Adubação orgânica, nutrição e progresso de cercosporiose e ferrugem-do-cafeeiro. *Pesqui Agropecu Bras* 43:783-791, 2008.

Santos, F.S.; Souza, P.E.; Pozza, E.A.; Miranda, J.C.; Barreto, S.S.; Theodoro, V.C. Progress of brown eye spot (*Cercospora coffeicola* Berkeley & Cooke) in

coffee trees in organic and conventional systems. *Summa Phytopathologica* 34:48-54, 2008.

Shaner, G.; Finney, R.E. The effect of nitrogen fertilization on the expression of slow-mildewing resistance in Knox wheat. *Phytopathology* 67:1051 - 1056, 1977.

Silva, C.A.d.; Teodoro, R.E.F.; Mello, B.d. Produtividade e rendimento do cafeeiro submetido a lâminas de irrigação. *Pesqui Agropecu Bras* 43:387-394, 2008.

Sobreira, F.M.; Guimarães, R.J.; Colombo, A.; Scalco, M.S.; Carvalho, J.G. Adubação nitrogenada e potássica de cafeeiro fertirrigado na fase de formação, em plantio adensado. *Pesqui Agropecu Bras* 46:9-16, 2011.

Taiz, L.; Zeiger, E. *Fisiologia vegetal*. Artmed, 2013.

Talamini, V.; Pozza, E.A.; Souza, P.E.d.; Silva, A.M.d. Progresso da ferrugem e da cercosporiose em cafeeiro (*Coffea arabica* L.) com diferentes épocas de início e parcelamentos da fertirrigação. *Cienc Agrotec* 27:141-149, 2003.

Talamini, V.; Souza, P.E.d.; Pozza, E.A.; Silva, A.M.d.; Bueno Filho, J.S.d.S. Progresso da ferrugem e da cercosporiosedo-cafeeiro (*Coffea arabica* L.) em diferentes lâminas de irrigação e diferentes parcelamentos de adubação. *Cienc Agrotec* 25:55-62, 2001.

Villa-Nova, N.A.; Favarin, J.L.; Angelocci, L.R.; Dourado-Neto, D. Estimativa do coeficiente de cultura (Kc) do cafeeiro em função de variáveis climatológicas e fitotécnicas. *Bragantia* 61:81-88, 2002.

Wanga, E.; Bell, M.; Luo, Z.; Moodyc, P.; Probert, M.E. Modelling crop response to phosphorus inputs and phosphorus use efficiency in a crop rotation. *Field Crops Research* 155:120-132, 2014.

Zanini, J.R.; Barreto, A.K.G.; Foratto, L.C.; Natale, W. Distribuição de fósforo no bulbo molhado, aplicado via fertirrigação por gotejamento com ácido fosfórico. *Eng Agr-Jaboticabal* 27:180-193, 2007.

CAPÍTULO 3

INTERAÇÃO ENTRE DOSES DE POTÁSSIO E DE BORO NA CERCOSPORIOSE DO CAFEIEIRO

RESUMO

A cercosporiose (*Cercospora coffeicola*) é uma das principais doenças do cafeeiro, sendo controlada principalmente pela nutrição mineral equilibrada. O potássio (K) é nutriente essencial, mas sabe-se pouco sobre seu efeito na interação com o boro (B) no campo e seu efeito nesse patossistema. Com isso, o objetivo desse trabalho foi avaliar a interação entre doses de potássio e de boro na intensidade da cercosporiose do cafeeiro. O delineamento experimental foi implantado em blocos casualizados (DBC), em esquema fatorial (4 doses de potássio, sendo 0, 100, 200 e 400 Kg/ha de K x 4 doses de boro, sendo as doses 0, 1, 2 e 4 Kg/ha de B), com quatro repetições. Realizaram-se vinte e quatro avaliações da cercosporiose nas folhas do cafeeiro, em 12 folhas por planta, no terço médio da planta. As avaliações foram realizadas em intervalos de 30 dias, durante 18 meses, de novembro de 2012 a outubro de 2014. Com esses dados, calculou-se a área abaixo da curva de progresso da incidência (AACPI) para comparar os tratamentos por meio da análise de variância. A curva de progresso média da incidência da cercosporiose variou entre os dois anos de avaliação. Os picos das incidências médias, 3.85, 9.57, 11.96, 4.22 e 7.2% ocorreram em 28/02, 23/05 e 12/09 de 2013, 24/02 e 22/05 de 2014, respectivamente. No ano de 2014, a incidência foi menor em comparação com o ano de 2013, mesmo com alta carga pendente, possivelmente devido às maiores temperaturas registradas. Houve interação significativa entre as doses de potássio e de boro com a AACPI, na qual as doses acima de 200

Kg/ha de potássio com doses abaixo de 1 Kg/ha de boro, apresentaram os maiores níveis de doença. Houve correlação da incidência com a insolação na qual os picos da doença coincidiram com os picos da insolação.

ABSTRACT

Cercospora leaf spot (*Cercospora coffeicola*) is one of the major diseases of coffee, being mainly controlled by balancing the mineral nutrition. Potassium (K) is essential nutrient, but little is known about their effect on interaction with boron (B) in the field and its effect on that pathosystem. Thus, the aim of this study was to evaluate the interaction between levels of potassium and boron in the intensity of the coffee cercosporiose. The experiment was established in a randomized block design (RBD) in factorial scheme (4 doses of potassium, with 0, 100, 200 and 400 kg/ha of K x 4 doses of boron, the doses being 0, 1, 2 and 4 kg/ha of B) with four replications. They performed twenty-four evaluations of *Cercospora* leaf spot in coffee leaves, 12 leaves per plant in the middle third of the plant. The evaluations were performed at intervals of 30 days for 18 months, from November 2012 to October 2014. With this data, it calculated the area under the incidence progress curve (AACPI) to compare the treatments by analyzing variance. The average progress curve of the incidence of *Cercospora* leaf spot was between the two years of evaluation. The peaks of average incidence, 3.85, 9:57, 11.96, 22.04 and 7.2% occurred in 28/02, 23/05 and 12/09 of 2013, 24/02 and 22/05 of 2014 respectively. In 2014, the incidence was lower compared to the year 2013, even with high load pending, possibly because the largest recorded temperatures. There was a significant interaction between doses and potassium with boron AACPI in which doses above 200 kg/ha potassium doses below 1 kg/ha of boron, showed the highest levels of disease. There was a correlation

with the incidence heat stroke in which the peaks of the disease coincided with the peaks of heat stroke.

1. INTRODUÇÃO

O café (*Coffea arabica* L.) além é um dos principais produtos agrícolas produzidos no Brasil e contribui para a estabilidade social e econômica de várias cidades onde é produzido. Devido à competição no mercado interno e externo, com elevados custos de produção, existe a necessidade de se eliminar quaisquer fontes de perdas nas lavouras como a ocorrência de doenças. Dentre as doenças dos cafezais, destaca-se a cercosporiose (*Cercospora coffeicola* Berkeley & Cooke). Responsável por sérios prejuízos desde o viveiro até o campo, em lavouras com manejo inadequado, causa intensa desfolha, raquitismo, perda de produtividade (Fernandez-Borrero et al., 1966, Garcia Junior et al., 2003), e na qualidade dos grãos e da bebida (De Lima et al., 2012, Santos et al., 2008). O progresso da doença é favorecido por vários fatores relacionados ao patógeno, ao hospedeiro e ao ambiente ou a sua interação. O ambiente é um dos principais componentes responsáveis por influenciar a intensidade da doença (Marschner, 2012). Entre os fatores ambientais, responsáveis por maiores taxas de progresso e maior intensidade da cercosporiose destaca-se a fertilidade do solo (Pozza et al., 2002, Pozza & Pozza, 2012).

A fertilidade do solo é um dos fatores ambientais capazes de ser manipulado com relativa facilidade para o controle de doenças, contribuindo de maneira significativa para reduzir a severidade da doença e o número de aplicações de fungicidas (Taiz & Zeiger, 2013). Entretanto, é necessário conhecimento detalhado de como os nutrientes minerais aumentam ou diminuem a resistência do hospedeiro, devido às propriedades histológicas e

citológicas e, conseqüentemente, ao processo de patogênese (Marschner, 2012). Entre os nutrientes já estudados para a cercosporiose do cafeeiro, destacam-se o N, o K e o Ca. A aplicação de nutrientes como cálcio e K em equilíbrio e o fornecimento de N de acordo com as necessidades da planta, podem reduzir a doença (Garcia Junior et al., 2003, Pozza et al., 2001), contudo, poucos estudos citaram a influência do Boro (B), e sua interação com o Potássio (K) na doença.

Entre os macronutrientes de maior influência na cercosporiose cita-se o K (Pozza, 1999, Pozza et al., 2001). É considerado o “elemento da qualidade” na nutrição de plantas, pois está relacionado com o transporte de aminoácidos e açúcares para os grãos de café, principalmente durante a maturação, tornando-os mais pesados e volumosos (Hermans et al., 2006). É componente principal do turgor celular, contribuindo para aumentar a espessura da parede celular em células da epiderme, promove rigidez da estrutura dos tecidos e regula o funcionamento dos estômatos, além de contribuir para recuperar tecidos com injúrias (Marenco & Lopes, 2005, Marschner, 2012). Outras funções exercidas por esse nutriente são a ativação de proteínas, enzimas, vitaminas, assimilação de nitrogênio, fotossíntese, osmorregulação, regulação estomática e tropismo (Benito et al., 2011, Marschner, 2012, Römheld & Kirkby, 2010). O potássio, de modo geral, reduz a suscetibilidade das plantas aos patógenos, porém não é regra e seu excesso foi citado na literatura como responsável por aumentar a intensidade de doenças em vários patossistemas. Fernandes (1988) relatou redução na cercosporiose em mudas com o emprego da adubação potássica, porém não estudou o efeito de doses, do excesso ou da sua interação com outros nutrientes. A maior intensidade da doença foi observada por Pozza et al. (2001) com o excesso de K fornecido via solução nutritiva. Esses autores observaram com o aumento das doses de K de 3 para 9 mmol/L, aumento da área abaixo da curva de progresso do número de lesões

por folha em 20%. Na verdade, um dos graves problemas do excesso de K, é a competição com o Ca na absorção no sistema radicular. Maiores quantidades de K no solo inibem a absorção do Ca, essencial na formação da parede celular, barreira de resistência horizontal à penetração e colonização de patógenos (Marschner, 2012). Lima et al. (2010) também observaram para outra doença do cafeeiro, a mancha-de-phoma, redução quadrática, tanto para área abaixo da curva de progresso da doença da incidência (AACPDI) quanto para área abaixo da curva de progresso da doença da severidade (AACPDS) até a dose de 7 mmol/L de K, e a partir dessa dose, ocorreu o aumento da doença.

O boro (B), um micronutriente, foi pouco estudado na cercosporiose do cafeeiro, porém tem importante papel em várias rotas metabólicas do hospedeiro e na constituição de barreiras de resistência. O boro é essencial à formação dos tecidos meristemáticos e tem influência no desenvolvimento de raízes e na absorção de nutrientes. A deficiência de B em algumas culturas, mesmo temporária, leva à má formação dos vasos do xilema, de forma a diminuir a translocação de nutrientes e de carboidratos para novos tecidos, paralisar o crescimento do meristema apical, causar aborto de flores e má formação de frutos. Além de reduzir o número de estômatos, inibir a síntese de parede celular ou sua integridade estrutural e reduzir a fotossíntese por menor eficiência do fotossistema II devido a oxidação dos lipídios dos tilacóides (Brown et al., 2002, Oliveira et al., 2006, Rosolem & Leite, 2007). Na parede celular, o B pode estar complexado na fração pécica, importante barreira de resistência contra doenças (Rosolem & Leite, 2007). A deficiência de B ainda pode limitar significativamente a produtividade mesmo sem qualquer sintoma visível, caracterizando a ocorrência de “fome oculta” (Satya et al., 2009). O café é uma das espécies mais sensíveis à deficiência de B, sendo responsiva à sua adubação (Brown & Shelp, 1997).

No Brasil, há controvérsias sobre a melhor maneira de aplicar B no cafeeiro. Segundo Leite et al. (2007), a adubação foliar é menos efetiva quando comparada com a via solo. Segundo os mesmos autores, em estudo em câmara de crescimento e campo para observar a translocação do B no cafeeiro, observaram aproveitamento de apenas 4% do B aplicado na folha quando a solução nutritiva estava deficiente nesse nutriente (Leite et al., 2007). O desequilíbrio desse nutriente pode tornar a planta sensível a doenças. Teores adequados de B e sua aplicação foram citados reduzindo doenças associadas a *Plasmodiophora brassicae* (Woron.) em crucíferas, *Fusarium solani* (Mar.) (Sacc.) em feijão, *Verticillium albo-atrum* (Reinke & Berth) em tomate e algodão, *Tobacco Mosaic Virus* em feijão, *Tomato Yellow Leaf Curl Virus* em tomate, *Gaeumanomyces graminis* (Sacc.), *Blumeria graminis* (D.C.) (Speer) em trigo (Graham & Webb, 1991, Marschner, 2012), *Heterobasidion annosum* (Fr.) em coníferas e *Eutypa lata* (Fr.) em vinícolas (Rolshausen & Gubler, 2005). Segundo Ruaro et al. (2009), no estudo de doses de B e de nitrogênio (N) em diferentes níveis de pH no controle de *P. brassicae*, a severidade da doença foi maior com doses inferiores a 10 mg/kg e pH menor que 6. O B também reduziu o número de lesões de *Drechslera tritici-repentis* com aplicações foliares em trigo (Simoglou & Dordas, 2006).

Com isso, o objetivo desse trabalho foi avaliar a interação entre doses de potássio e de boro na intensidade da cercosporiose (*Cercospora coffeicola* Berkeley & Cooke) do cafeeiro no campo.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido, entre novembro de 2012 e outubro de 2014, no Setor de Cafeicultura do Departamento de Agricultura da

Universidade Federal de Lavras, em Lavras, sul de Minas Gerais. A área experimental está localizada a 970 metros de altitude, latitude de 21°13'40'' Sul e longitude de 44°57'42'' Oeste. Considerou-se como 1º ano de avaliação o período entre novembro de 2012 a outubro de 2013 (Ano 1) e o 2º ano entre novembro de 2013 a outubro de 2014 (Ano 2). Foi utilizada a cultivar de *Coffea arabica* L, Topázio MG 1190. O solo da área foi classificado como Latossolo vermelho escuro distroférico, de textura argilosa, pH = 4,3; P = 2 mg/dm³; K = 125,5 mg/dm³; Ca⁺² = 0,9 cmolc/dm³; Mg⁺² = 0,3 cmolc/dm³; V(%) = 16%; m(%) = 35%; MO = 3,3 dag/Kg; Zn = 2,2 mg/dm³; B⁺ = 0,3 mg/dm³ e Al⁺³ = 0,8 cmolc/dm³. De acordo com essa análise, para correção do solo foram aplicados nos meses de setembro de 2012 e de 2013, em área total, 3 toneladas/ha de calcário dolomítico, PRNT de 90%, para correção do pH e fornecimento de Ca e Mg nos anos 1 e 2 respectivamente (Guimarães et al., 1999).

O delineamento experimental foi implantado em blocos casualizados (DBC), com quatro repetições e 16 tratamentos, sendo quatro doses de potássio (K₂O) e quatro de B em esquema de análise de variância fatorial. As doses de K₂O foram de 0; 100; 200 (recomendação de Guimarães et al. (1999) para produtividades de 60 scs/ha) e 400 Kg/ha de K₂O, correspondendo a 0; 172,41; 344,83 e 689,65 Kg de cloreto de potássio por hectare. As doses de B foram de 0; 1; 2 (Guimarães et al. (1999)) e 4 Kg/ha de B, correspondendo a 0; 9,09; 18,18 e 36,36 Kg/ha de Borogran[®] (Ácido bórico 10%) por hectare, respectivamente. A parcela experimental foi constituída por quatro linhas de 8 plantas, sendo consideradas úteis 6 plantas das duas linhas centrais, e as demais plantas e linhas bordaduras. As doses de potássio foram parceladas em duas aplicações e as doses de boro foram aplicadas junto a primeira adubação de nitrogênio.

As adubações com nitrogênio e fósforo foram feitas seguindo

recomendações de Guimarães et al. (1999) de acordo com análise de solo. Empregou-se ureia (1704 kg/ha) e superfosfato simples (588 Kg/ha) como fontes de NH_4 e P_2O_5 , respectivamente. As doses de nitrogênio foram parceladas em três aplicações anuais e as de fósforo apenas uma vez no ano, juntamente com a primeira aplicação de nitrogênio.

Os demais micronutrientes, sem B, foram aplicados duas vezes ao ano, via foliar, com espalhante adesivo, de acordo com análise foliar (Guimarães et al. (1999)).

Para determinar o teor foliar dos nutrientes de todos os tratamentos, fez-se uma amostragem em outubro de 2012 e outubro de 2013. Para isso foi coletado um par de folhas de cada lado de todas as plantas úteis da parcela, do 3º ou 4º par de folhas a partir do ápice de ramos plagiotrópicos produtivos, localizados na região mediana da planta. As determinações dos teores foliares foram feitas conforme metodologia proposta por Malavolta et al. (1997). Para análise química do solo, retirou-se uma amostra composta da área em outubro de 2012, e amostras simples de todas as parcelas úteis de cada tratamento, formando uma amostra composta das 4 repetições em outubro de 2013 e encaminhou-se para o Laboratório de análise de solo do Departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal de Lavras. Foram então obtidos os teores foliares de nitrogênio (Nf), fósforo (Pf), potássio (Kf), Cálcio (Caf), Magnésio (Mgf), enxofre (Sf), zinco (Znf), ferro (Fef), manganês (Mgf), Cobre (Cuf) e boro (Bf) e os teores no solo de potencial Hidrogeniônico (pH), potássio (Ks), fósforo (Ps), sódio (Nas), cálcio (Cas), magnésio (Mgs), alumínio (Als), acidez potencial (HAls), soma de bases (SBs), Capacidade de troca catiônica efetiva (ts), Capacidade de troca catiônica a pH 7.0 (Ts), Porcentagem de saturação por bases (Vs), Porcentagem de saturação por alumínio (ms), Carbono orgânico (MOs), Fósforo remanescente (PREms), zinco (Zns), ferro (Fes), manganês (Mns),

cobre (Cus), boro (Bs) e enxofre (Ss).

Não foi realizada aplicação de fungicidas na área durante a condução do experimento.

Na avaliação da doença foi mensurada a incidência da cercosporiose. Para tanto, avaliaram-se 12 folhas por planta, por método não destrutivo, no terço médio, em 6 plantas, totalizando 72 folhas por parcela. Essas avaliações foram realizadas em intervalos de 30 dias, durante 24 meses, de outubro de 2012 a outubro de 2014 em todas as parcelas. A incidência (I) foi calculada de acordo com a equação 1 (Campbell & Madden, 1990).

$$I(\%) = \frac{NFD}{NFT} * 100 \text{ (Equação 1)}$$

Em que:

I = incidência (%)

NFD = número de folhas doentes;

NFT = número de folhas por tratamento.

Nas mesmas datas de avaliação da doença, também foi avaliado o enfolhamento das parcelas, por meio da escala diagramática proposta por Boldini (2001), nota 1 (0 a 20% de enfolhamento), 2 (21 a 40%), 3 (41 a 60%), 4 (61 a 80%) e 5 (81 a 100%).

Com os dados médios de incidência e de enfolhamento de todos os tratamentos, foram plotadas as curvas de progresso, ao longo do tempo, dessas duas variáveis para os anos 1 (18/11/2012 a 16/10/2013) e 2 (27/11/2013 a 09/10/2014), separadamente.

Tanto os dados de incidência quanto de enfolhamento foram integralizados em área abaixo da curva de progresso da incidência (AACPI) e do enfolhamento (AACPEnf), segundo Shaner and Finney (1977), de acordo com a Equação 2.

$$\text{AACPI ou AACPEnf} = \sum_{i=1}^{n-1} \frac{(Y_i + Y_{i+1})}{2} * (T_{i-1} - T_i) \text{ (Equação 2)}$$

Em que:

AACPI= área abaixo da curva de progresso da incidência ou

AACPDEnf = área abaixo da curva de progresso do enfolhamento;

Yi= proporção da doença ou enfolhamento na i-ésima observação;

Ti= tempo em dias na i-ésima observação;

n= número total de observações.

As variáveis meteorológicas foram obtidas da estação climatológica principal de Lavras, localizada no campus da UFLA, a uma distância de 380 m do local do experimento, pertencente ao 5º Distrito em Meteorologia, em convênio com o Instituto Nacional de Meteorologia e a UFLA. Além desses dados foram dispostos dentro da copa da cultura, no terço médio, dois sensores de temperatura e umidade, com porta USB, modelo HT-500 da marca Instrutherm[®], instalados dentro da copa da planta. Obteve-se a temperatura máxima (Tmax), média (Tmed) e mínima (Tmin), umidade relativa (UR), velocidade do vento (Vel.), insolação (Insol), precipitação total (Prec.), pressão atmosférica (Patm), evaporação do tanque classe A (Evapor.), a temperatura dentro da copa (Tusb) e umidade dentro da copa (URusb).

Foi realizada a análise de correlação de Pearson da AACPI entre a média das variáveis meteorológicas coletadas até 30 dias anteriores a cada avaliação, com os teores foliares de nutrientes (obtidos no mês de coleta das folhas), com a fertilidade do solo (referente ao ano de coleta do solo para a AACPI e ao mês de avaliação da incidência) e com as doses de K e B aplicados durante o período de condução do experimento de Novembro de

2012 a Outubro de 2014.

A colheita das parcelas foi realizada de forma manual sobre “pano”, nos dias 05/08/2013 e 09/06/2014, iniciando-se a partir de 20% de frutos verdes nas plantas. Após a derriça, foi medido o volume em litros do café colhido, e transformados para Kg/ha.

Para realizar a análise estatística do experimento e comparar os tratamentos, utilizou-se o programa estatístico SAS v. 9.3 (SAS Institute). Os dados de incidência, em cada uma das datas de avaliação, de enfolhamento, de produção e da AACPI foram submetidos à análise de normalidade e homogeneidade de variância de resíduos para averiguar os pressupostos da análise de variância, por meio do teste de ‘Levene’. O teste não foi significativo para todas as variáveis analisadas, não sendo necessária a transformação dos dados. Realizou-se então, análise de variância do fatorial K x B da área abaixo da curva de progresso da doença (AACPI) e da produtividade. As variáveis significativas no teste F ($P < 0,05$) foram submetidas à análise de regressão.

3. RESULTADOS

A curva de progresso da média da incidência da cercosporiose do cafeeiro teve comportamento diferente entre o ano 1 (Novembro de 2012 a Outubro de 2013) e 2 (Novembro de 2013 a Outubro de 2014) (**Figura 1A**). As maiores intensidades foram observadas no ano 1. Em ambos os anos ocorreram picos da doença em diferentes datas, com aumento crescente na incidência até 12/09/2013 no ano 1 e 22/05/2014 no ano 2.

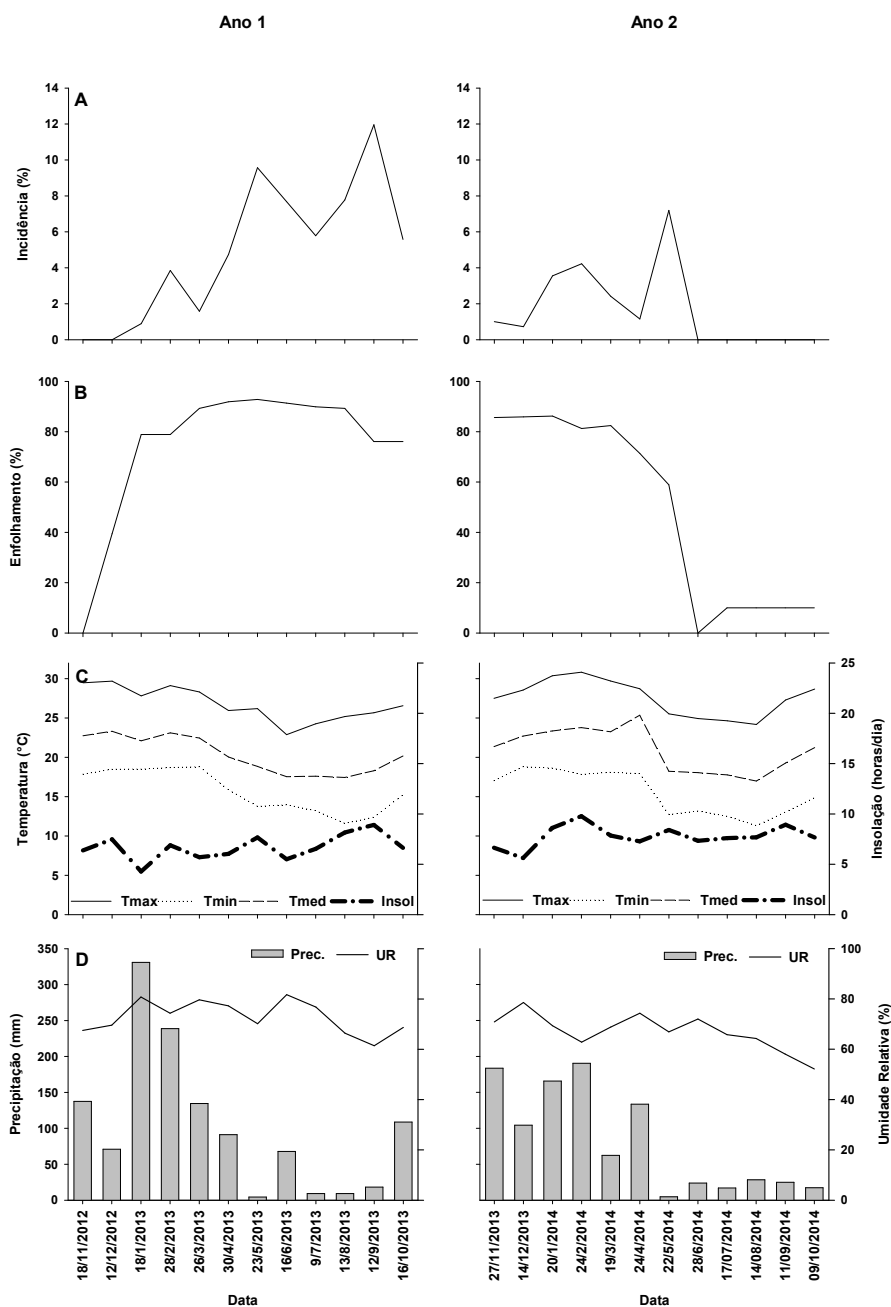


Figura 1 – Curva do progresso da incidência da cercosporiose do cafeeiro (A), enfolhamento (B) e Comportamento das variáveis climatológicas obtidas da estação climatológica principal de Lavras (C, D) entre o período de 18/11/2012 a 09/10/2014.

O progresso da incidência da cercosporiose tanto nos anos 1 e 2, teve início no mesmo mês, em dezembro de 2013 e de 2014, respectivamente. Os dois primeiros picos, no progresso temporal, da cercosporiose em cada ano ocorreram em fevereiro e maio. Apenas no ano 1, ocorreu maior pico da doença em setembro, enquanto no ano 2, esse pico ocorreu em maio sendo no dia de maior incidência média no ano 1 (12/09/2013), ocorreram as menores Tmax (25,18 °C), Tmed (17,43 °C) e Tmin (11,6 °C) e Prec. de apenas 9,12 mm acumulada no mês, UR (61,43%) e radiação média de 8 horas de insolação, respectivamente, e no ano 2 (22/05/2013) com Tmax (25,53 °C), Tmed (18,23 °C) e Tmin (12,72 °C), UR (66,90%), radiação média de 8,41 horas de insolação e precipitação acumulada de 4,7 mm. Em ambas as datas, no mês seguinte aos maiores picos da doença, houve queda do enfolhamento, chegando próximo a 0% em junho de 2014. A partir do início da doença, em ambos os anos, nos dias de maior incidência média em 28/02/2013 (3,85%), 23/05/2013 (9,57%), 12/09/2013 (11,96%), 24/02/2014 (4,22%) e 22/05/2014 (7,20%) foram observadas, na maioria das vezes, menores temperaturas máxima, média e mínima, umidade relativa, redução na precipitação acumulada no mês e aumento na insolação média (**Figura 1C e 1D**). Ainda houve correlação negativa da incidência da cercosporiose com as temperaturas máxima, média e mínima, umidade relativa, precipitação total observada e velocidade do vento, e correlação positiva com a insolação média diária, pressão atmosférica, temperatura e umidade relativa dentro da copa (**Tabela 1**).

Tabela 1- Coeficientes de correlação entre as variáveis meteorológicas registradas nos trinta dias anteriores à avaliação da cercosporiose do cafeeiro, no período entre nov./2011 e jan./2014

	Tmax (°C)	Tmed (°C)	Tmin (°C)	UR (%)	Insol. (hs/dia)	Prec (mm)	Veloc (mm)	Patm (atm)	Tusb (°C)	URusb (%)	Enf (%)
I	-0,31*	-0,33*	-0,31*	-0,36*	0,18*	-0,22*	-0,26*	0,53*	-0,46*	0,18*	0,49*

*significativo a 5% de probabilidade pelo teste de F, ^{NS} = Não Significativo

I = Incidência, Tmax = temperatura máxima, Tmed = temperatura média, Tmin = temperatura média, UR = umidade relativa, Insol. = insolação, Prec = precipitação, Veloc = velocidade do vento, Patm = pressão atmosférica, Tusb = Temperatura média dentro da copa, URusb = umidade relativa dentro da copa e Enf = enfolhamento

Reiterando o comportamento diferente na intensidade da doença entre os dois anos, também houve diferença significativa entre a AACPI entre os dois anos avaliados (**Figura 2**). No ano 1 o valor foi de 1653,1, superior ao ano 2, de 758,9, ou seja, 117,83% maior.

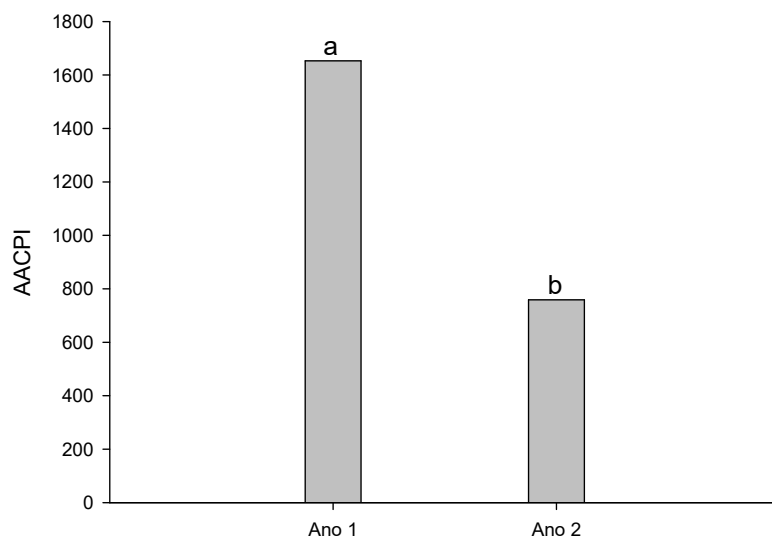


Figura 2 - Área abaixo da curva de progresso da doença para incidência (AACPI) da cercosporiose (*Cercospora coffeicola*) do cafeeiro (*Coffea arabica*), nos anos 1 e 2.

Houve interação significativa entre as doses de potássio e de boro para a AACPI ($P < 0,05$ e $R^2 = 0,43$) e AACPEnf ($P < 0,05$ e $R^2 = 0,36$).

As maiores AACPI, de 2800 a 3600 ocorreram entre as doses acima

de 200 Kg/ha de K, com doses abaixo de 1 Kg de B/ha. As menores AACPI foram observadas com doses abaixo de 1 kg/ha de B, com doses abaixo de 100 Kg/ha de K, doses de 200 Kg/ha de K e com doses acima de 2 Kg/ha de B e em doses de 400 Kg/ha de K com doses próximas a 2 Kg/ha de B (**Figura 3a, 3b e 3c**). Pode-se observar que na dose de B de 2 Kg/ha, houve redução na AACPI com o aumento das doses de K (**Figura 3 A**).

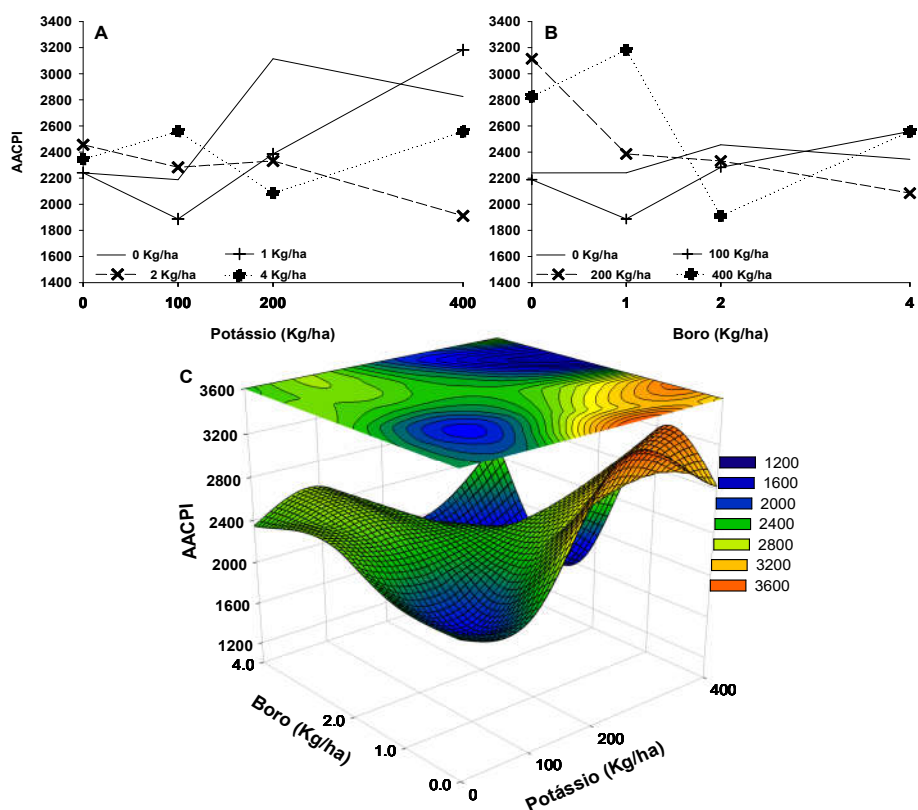


Figura 3 – A) - Gráfico da AACPI (%) da cercosporiose, em diferentes doses de B (Kg/ha), nas doses de K (kg/ha), **B)** Gráfico da AACPI (%) da cercosporiose, em diferentes doses de K (Kg/ha), nas doses de B (Kg/ha) e **C)** Gráfico da AACPI (%) da cercosporiose na interação entre doses de K (Kg/ha) e doses de B (Kg/ha) no período de nov./2012 a out./2014.

As maiores AACPEnf entre 4600 a 4800 ocorreram nas doses acima de 200 Kg/ha de K e doses de 0 e 4 Kg/ha de B e nas doses de 100 Kg/ha de

K e dose de 1 Kg/ha de B demonstrando o efeito da interação entre os cátions (Figura 6A, 6B e 6C), o contrário da AACPI (Figura 4).

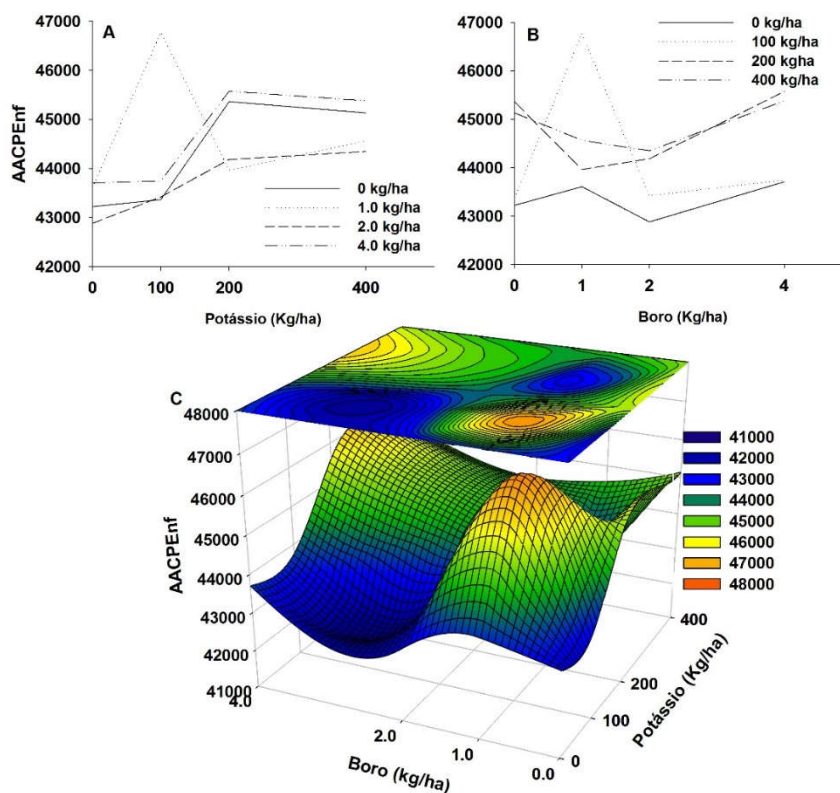


Figura 4 – A) Gráfico da AACPENf, em diferentes doses de B (Kg/ha), nas doses de K (kg/ha), **B)** Gráfico da AACPENf, em diferentes doses de K (Kg/ha), nas doses de B (Kg/ha) e **C)** Gráfico da AACPENf na interação entre doses de K (Kg/ha) e doses de B (Kg/ha) no período de nov./2012 a out./2014.

Houve diferença significativa na produção média de café ($P < 0,05$) entre os anos 1 e 2 (**Tabela 2**). A produção no ano 1 foi menor, com média de 326,5 Kg/ha ou 5,44 sc/ha enquanto no ano 2, foi de 6390 Kg/ha ou 106,5 sc/ha. Mas não houve interação significativa entre os K e B ($P > 0,05$).

Tabela 2 – Produtividade de café em Kg/ha no Ano 1 e no Ano 2.

	Ano 1	Ano 2
Produção (Kg/ha)	326,5 b	6390,0 a

Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Observou-se correlação significativa entre potássio aplicados no solo com a AACPI, com a produção de 2013 e com a AACPEnf. A correlação foi positiva entre o potássio e a AACPI e também produção em 2013 e AACPEnf. (**Tabela 3**). Para o boro aplicado, observou-se correlação negativa com a AACPI.

Tabela 3 – Coeficientes de correlação entre os tratamentos com potássio e boro com a área abaixo da curva do progresso da incidência (AACPI) da cercosporiose do cafeeiro, produção (Kg/ha) de café de 2013 e 2014, o enfolhamento e a área abaixo da curva do progresso da doença do enfolhamento.

	AACPI	Produção 2013	Produção 2014	Enfolham.	AACPEnf
Potássio	0,24*	0,11*	-0,02 ^{NS}	0,01 ^{NS}	0,30*
Boro	-0,13*	0,00 ^{NS}	0,03 ^{NS}	0,00 ^{NS}	0,03 ^{NS}

* = significativo a 5% de probabilidade pelo teste F. ^{NS} = Não Significativo

Houve correlação negativa entre AACPI com produção no ano 1 e correlação positiva entre AACPI e a produção no ano 2. Observou-se correlação positiva entre AACPEnf e produção no ano 1 e no ano 2 (**Tabela 4**).

Tabela 4 - Coeficientes de correlação entre a produção (Kg/ha) de café em cada ano e a AACPI da cercosporiose do cafeeiro e a AACPEnf, no período de jan./2013 a dez./2013 (Ano 1) e de jan./2014 a jun./2014 (Ano 2).

	Produção Ano 1 (2013)	Produção Ano 2 (2014)
AACPI	-0,08*	0,26*
AACPEnf	0,22*	0,17*

* = significativo a 5% de probabilidade pelo teste F. ^{NS} = Não Significativo

Quanto à nutrição, ainda ocorreu redução do cálcio de acordo com o

aumento das doses de potássio na folha e das doses aplicadas no campo (Figura 5).

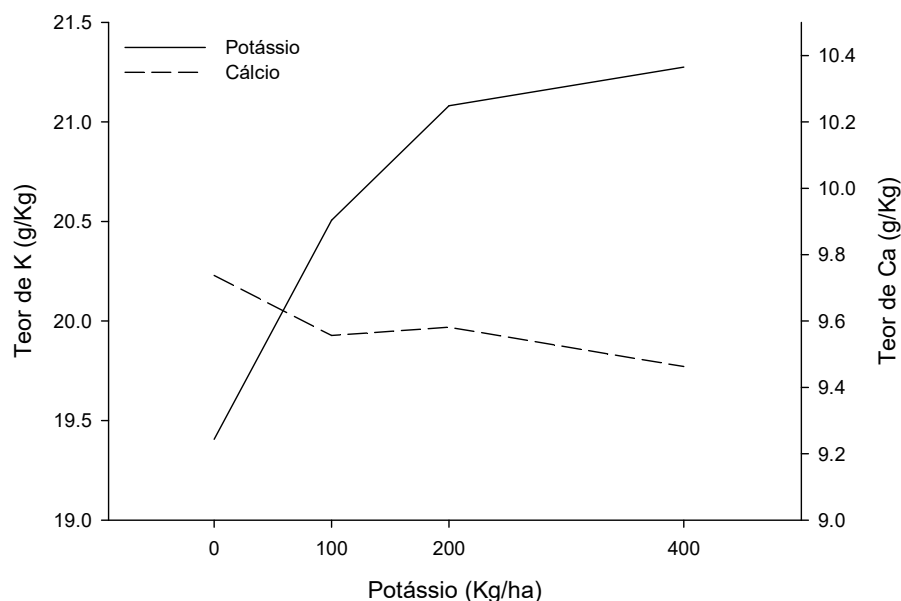


Figura 5 - Relação entre o teor de cálcio e de potássio presente nas folhas de acordo com as doses de potássio aplicado no campo.

4. DISCUSSÃO

Os dois primeiros picos da doença em cada ano no progresso temporal da cercosporiose ocorreram em fevereiro e maio. No ano 1 houve um pico adicional da doença em setembro, enquanto no ano 2 o último pico da doença ocorreu em maio. Esse fato ocorreu devido à alta produção nesse ano e nessa data coincidiu com as maiores incidências da doença, levando a queda acentuada de folhas. Talamini et al. (2003), também observaram maior incidência da cercosporiose entre os meses de maio a setembro em experimento para avaliar diferentes parcelamentos da adubação com nitrogênio, potássio e fósforo por fertirrigação. Ou seja, o comportamento da

curva de progresso da cercosporiose ao longo do tempo pode variar. A partir de Fev./2013 e Fev./2014, houve redução das temperaturas máxima (Tmax), média (Tmed) e mínima (Tmin), umidade relativa (UR) e precipitação total (Prec.). No presente trabalho observou-se nas datas com maior incidência da doença, temperaturas médias de 17,43 a 18,23°C. Segundo Echandi (1959) a temperatura ótima para germinação dos conídios e para o crescimento do fungo são de 24 e 30°C, respectivamente. Assim, as temperaturas médias observadas foram abaixo do proposto por Echandi (1959). Mas, em área irrigada por pivô central, Custódio et al. (2010) observaram índices elevados da cercosporiose em temperaturas médias de 22°C e, principalmente com umidade relativa do ar próxima a 89%, resultante de maiores precipitações e da irrigação por aspersão. Ou seja, dependendo da interação com outras variáveis, pode ocorrer variação na intensidade da doença ao longo do tempo.

No presente trabalho, não ocorreu irrigação suplementar e com apenas a precipitação, a incidência iniciou em dezembro dos dois anos. A falta de umidade no solo pode condicionar a planta à menor absorção de nutrientes, tornando-a suscetível à infecção de *C. coffeicola* (Botelho et al., 2011, Botelho et al., 2005, Souza et al., 2005, Talamini et al., 2003). Talamini et al. (2003) e Santos et al. (2004) observaram menor incidência da cercosporiose em plantas de café irrigadas em relação às desprovidas de irrigação. Maiores umidades relativas resultaram em menores incidência da cercosporiose (Paiva et al., 2012). A partir do mês de outubro do primeiro ano de avaliação, ocorreu aumento gradual da precipitação juntamente com o aumento das temperaturas e da umidade relativa, reduzindo a intensidade da doença, fato também observado por Talamini et al. (2003).

A insolação também é importante para aumentar a intensidade da doença. Nas datas de maior incidência no ano 1 (12/09/2013) e ano 2 (22/05/2014), obteve-se insolação média de 8,9 e 8,4 horas. A toxina

cercosporina produzida por esse fungo é ativada por luz, sendo capaz de danificar a integridade da membrana celular, ocasionar desorganização no citoplasma e conseqüentemente morte celular (Daub & Ehrenshaft, 2000, Daub et al., 2005). Essa toxina provoca na planta a produção de etileno acima do normal, o qual é precursor de outro hormônio, o ácido abscísico, responsável por abscisão precoce das folhas (Valencia, 1970). Observou-se um percentual de desfolha atingindo o mínimo de 76,1% em 12/09/2013 após a colheita. No ano 2, o enfolhamento chegou a 0%, obviamente também reduzindo a incidência a 0%, devido aos efeitos conjuntos dessa doença com outros fatores fisiológicos devido à alta produção. Essa intensa desfolha reduz o número de nós, danificando a formação dos botões florais, reduzindo a capacidade produtiva do cafeeiro para a safra seguinte (Santos et al., 2008).

Com base nos resultados da superfície de resposta e na correlação entre a interação das doses de boro e de potássio com a AACPI e AACPEnf, nas doses de 100 Kg/ha de K com aplicação de doses de 1 Kg/ha de B, obtiveram-se os melhores resultados, ou seja, menores AACPI total, produção média em 2014 de aproximadamente 106,5 sc/ha (6390 kg/ha) e maiores AACPEnf nos anos 1 e 2. Pode-se observar nas doses na qual apresentaram baixas AACPI, houve maior enfolhamento, diferentemente do observado nos trabalhos de Chaves et al. (1970) e Montoya and Chaves (1974), que relacionaram maior enfolhamento e produtividade com maior intensidade de doença. No presente trabalho, observa-se nas doses acima de 200 Kg/ha e/ou nas doses abaixo de 2 Kg/ha de B maior variação com relação à AACPI de acordo com as doses, provavelmente devido ao desbalanço nutricional entre a interação desses elementos. Pozza et al. (2001) também encontraram maiores área abaixo da curva de progresso do número de lesões por folha e da desfolha com o aumento nas doses de K e redução nas doses de N em mudas na solução nutritiva.

Já no campo, Santos et al. (2008) observaram a área abaixo da curva de progresso da incidência (AACPI) da cercosporiose sendo influenciada pela fonte nutricional orgânica aplicada, onde o aumento no teor de K e redução no teor de cálcio (Ca) apresentaram maior progresso da incidência da cercosporiose com aplicação de palha de café. O excesso de K, inibe a absorção de outros cátions como Ca e Mg, em decorrência da competição no sítio de absorção (Santos et al., 2008). Esse fato foi observado, nas doses de K acima de 200 Kg/ha e abaixo de 1 Kg/ha de B houve maior AACPI, doses acima de K, houve redução no teor foliar de Ca (**Figura 5**), e conseqüentemente, aumento na intensidade da doença. Essa redução do teor foliar de Ca com o aumento das doses de K também foi citado por Pinheiro et al. (2011), Lima et al. (2010), Garcia Junior et al. (2003), Pozza et al. (2001) e Marques et al. (1999). Para Lima et al. (2010) e Garcia Junior et al. (2003).

Doses crescentes de potássio em solução nutritiva reduzem a área abaixo da curva de progresso da incidência em *Phoma tarda* até 7 mmol/L e para *Cercospora coffeicola*, até 4 mmol/L, e a partir dessas doses, a AACPI volta a crescer possivelmente pelo fato da inibição competitiva entre os cátions Ca e K por mesmos sítios de absorção, com maior eficiência desse último na absorção e translocação na planta (Marschner, 2012) levando ao desequilíbrio nutricional entre os nutrientes. Segundo Marschner (2012), o aumento do teor de K não leva o aumento da doença, desde que o Ca permaneça na faixa adequada. Segundo Malavolta (2006), o efeito do Ca, aumentando ou diminuindo a absorção do K, está na dependência da relação Ca/K na solução externa. Sempre que a relação é alta, há antagonismo e a absorção de K diminui. Por outro lado, Fernandes (1988) relatou redução na cercosporiose em mudas com o emprego da adubação potássica, porém não estudou o efeito de doses ou de excessos ou sua relação com outros nutrientes.

O K é considerado é componente principal do turgor celular, aumenta a espessura da parede celular em células da epiderme tornando-as mais rígidas, regula o funcionamento dos estômatos, principal via de penetração da *C. coffeicola* (Souza et al., 2011), além de contribuir para recuperar tecidos com injúrias (Marengo & Lopes, 2005, Marschner, 2012). Outras funções exercidas por esse nutriente são a ativação de proteínas, enzimas, vitaminas, assimilação de nitrogênio, fotossíntese, osmorregulação, regulação estomática e tropismo (Benito et al., 2011, Marschner, 2012, Römheld & Kirkby, 2010).

No presente trabalho, em relação ao B, em doses abaixo de 2 Kg/ha e acima de 200 kg/ha de K, houve grande variação na AACPI, ou seja, ocorreu interação com as doses de K. O B é essencial na formação dos tecidos meristemáticos e tem influência no desenvolvimento de raízes e na absorção de nutrientes. Na parede celular, o B pode estar complexado na fração pectica, importante barreira de resistência contra doenças (Rosolem & Leite, 2007). Em análise anatômica de seringueira que apresentavam caule curvado, Silva et al. (2005) revelaram que a flexibilidade do caule foi devida à redução da lamela média pela falta de boro inviabilizando a estabilização do cálcio com as pectinas e com isso houve redução no conteúdo de pectato de cálcio da lamela média.

Para o cafeeiro, o incremento das doses de potássio reduziu o teor de boro nos tecidos vegetais em estudo da incidência e severidade da cercosporiose do cafeeiro e, em plantas deficientes em boro, quando comparadas com plantas com níveis adequados deste nutriente, podem apresentar maior suscetibilidade a doenças (Garcia Junior, 2002). Carvalho et al. (1996) estudaram o efeito da produção na incidência da ferrugem do cafeeiro, e verificaram que não houve efeito do B na doença, mas verificaram teores foliares de B baixos ou deficientes, principalmente nos estádios de

frutos verdes e maduros, quando a ferrugem atingiu seus níveis mais elevados. Para Lima et al. (2010), a deficiência de B em solução nutritiva aumentou o progresso da mancha-de-phoma e, com adição de 0,125 mg/L de B na solução, reduziu em até 40% o comprimento das lesões. Para os autores, a variação de doses de K, alterou o estado nutricional do boro nas plantas.

Sobre a interação entre K e B, Muniz et al. (1997) estudaram o efeito do boro sobre a severidade da ferrugem causada por *Puccinia psidii* em um clone considerado resistente e outro suscetível de eucalipto, e constataram que a deficiência múltipla de K e B aumentou a severidade da doença no clone considerado suscetível. Segundo Ruaro et al. (2009), no estudo de doses de B e de nitrogênio (N) em diferentes níveis de pH no controle de *P. brassicae*, a severidade da doença foi maior com doses inferiores a 10 mg.kg⁻¹ e pH menor que 6. Barrichelo et al. (2001) também observaram com o aumento de doses de boro menores lesões da ferrugem (*Puccinia psidii*) em clones de *Eucalyptus*. Outros trabalhos que mostram o efeito benéfico de boro sobre a ocorrência de doenças foram conduzidos por Silveira et al. (1996) e Silveira et al. (1998), os quais verificaram na qual a severidade dos fungos *Botryosphaeria ribise* e *Lasiodiplodia theobromae* em *Eucalyptus citriodora* foi aumentada em condições de deficiência de boro. As plantas de *E. citriodora* foram mais suscetíveis a *Botryosphaeria ribis* apresentaram concentrações foliares de boro de 7,2 e 13,8 mg kg⁻¹ nas folhas novas e velhas, respectivamente.

A diferença da correlação entre AACPI e AACPEnf pode estar relacionada com a produtividade e com a intensidade da cercosporiose no ano anterior, quando na presença do patógeno, mesmo uma pequena lesão, provoca a queda prematura da folha, e conseqüentemente, menor área foliar, menor produção de fotoassimilados e acúmulo de nutrientes para a produção do ano seguinte. Essa queda prematura está relacionada com a produção de

etileno nas folhas, devido à ativação da toxina cercosporina pela intensidade luminosa (Daub & Ehrenshaft, 2000, Daub et al., 2005) levando a queda acentuada de folhas, observada nas datas de maior incidência da doença. Segundo Androcioli et al. (2012), no estudo de produtos alternativos no controle da cercosporiose e na ferrugem do cafeeiro, a produção no segundo ano de estudos, é reflexo de algum tratamento realizado no ano anterior possibilitando um maior enfolhamento do cafeeiro. A extração de nutrientes mais elevada das folhas para a alta carga pendente e a queda acentuada de folhas proporcionou maior suscetibilidade dos cafeeiros à infecção por *C. coffeicola*, resultando em maior AACPI no ano 1 no progresso da cercosporiose (Santos et al., 2008).

Assim como a menor AACPI foi obtida com o equilíbrio da relação K/B, o desequilíbrio pode promover alterações no estado nutricional e favorece a infecção de *C. coffeicola* no cafeeiro. Assim, o manejo da adubação de forma adequada e equilibrada pode contribuir para minimizar alterações nutricionais do cafeeiro e reduzir o número de pulverizações com fungicidas para o controle de *C. coffeicola*.

5. CONCLUSÕES

O progresso da incidência nos anos 1 e 2, teve início em Dez./2013 e Dez./2014, respectivamente. Os picos das incidências médias de 3,85; 9,57; 11,96; 4,22 e 7,20% ocorreram em 28/02/2013, 23/05/2013, 12/09/2013, 24/02/2014 e 22/05/2014 respectivamente.

Os períodos de maior incidência coincidiram com os de menores temperaturas, umidades e pluviosidade e maior insolação e redução no enfolhamento. Nos picos da incidência da cercosporiose do cafeeiro, ocorreram simultaneamente com os picos das horas de insolação média

diária.

Para a AACPI, houve interação significativa entre as doses de K e B, sendo as menores AACPI e AACPEnf ocorrem nas doses de 100 kg/ha de K e 1 kg/ha de B e em doses acima 200 kg/ha de K e 4 kg/ha de B.

6. AGRADECIMENTOS

A FAPEMIG pela concessão da bolsa e financiamento do projeto, junto com CAPES, CNPq e INCT-Café e ao Setor de Cafeicultura da Universidade Federal de Lavras pela disponibilização da área experimental e de mão-de-obra.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Androcioli, H.G.; Menezes Junior, A.d.O.; Hoshino, A.T.; Androcioli, L.G. Alternative products to control *Hemileia vastatrix* (Berkeley & Broome) and *Cercospora coffeicola* (Berkeley & Cooke) in organic coffee. *Coffee Science* 7:187-197, 2012.

Barrichelo, P.; Silveira, R.L.V.A.; Furtado, E.L. Efeitos do boro, manganês e silício na ocorrência de ferrugem (*Puccinia psidii*) em eucalipto. *Fitopatologia Brasileira* 26:440, 2001.

Benito, B.; Garcíadeblás, B.; Fraile-Escanciano, A.; Rodríguez-Navarro, A. Potassium and sodium uptake systems in fungi. The transporter diversity of *Magnaporthe oryzae*. *Fungal Genet Biol* 48:812-822, 2011.

Boldini, J.M. Epidemiologia da ferrugem e da cercosporiose em cafeeiro irrigado e fertirrigado. Dissertação. Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2001.

Botelho, D.M.S.; Pozza, E.A.; Alves, E.; Botelho, C.E.; Pozza, A.A.A.; Ribeiro Junior, P.M.; Souza, P.E.d. Effect of silicon on the intensity of brown eye spot and on the mineral nutrition of coffee seedlings. *Arquivos do Instituto Biológico* 78:23-29, 2011.

Botelho, D.M.S.; Pozza, E.A.; Pozza, A.A.A.; Carvalho, J.G.d.; Botelho, C.E.; Souza, P.E.d. Effect of silicon doses and sources on the intensity of the brown eye spot of coffee seedlings. *Fitopatologia Brasileira* 30:582-588, 2005.

Brown, P.H.; Bellaloui, N.; Wimmer, M.A.; Bassil, E.S.; Ruiz, J.; Hu, H.; Pfeffer, H.; Dannel, F.; Römheld, V. Boron in Plant Biology. *Plant Biology* 4:205-223, 2002.

Brown, P.H.; Shelp, J.B. Boron mobility in plants. *Plant Soil* 193:85-101, 1997.

Campbell, C.L.; Madden, L.V. Introduction to plant disease epidemiology. New York: J. Wiley, 1990.

Carvalho, V.L.d.; Chalfoun, S.M.; Castro, H.A.d.; Carvalho, V.D.d. Influência da produção na incidência da ferrugem-do-cafeeiro. *Pesqui Agropecu Bras* 31:401-405, 1996.

Chaves, G.M.; Cruz Filho, J.; Carvalho, M.G.; Matsuoka, K.; Coelho, D.T.; Shimoya, C. A ferrugem do cafeeiro (*Hemileia vastatrix* Berk. & Br.). Revisão de literatura com observações e comentários sobre a enfermidade no Brasil: Seiva, 1970.

Custódio, A.A.d.P.; Pozza, E.A.; Custódio, A.A.d.P.; Souza, P.E.d.; Lima, L.A.; Lima, L.M.d. Intensidade da ferrugem e da cercosporiose em cafeeiro quanto à face de exposição das plantas. *Coffee Science* 5:214-228, 2010.

Daub, M.E.; Ehrenshaft, M. The photoactivated *Cercospora* toxin cercosporin: Contributions to plant disease and fundamental biology. *Annu Rev Phytopathol* 38:461, 2000.

Daub, M.E.; Herrero, S.; Chung, K.R. Photoactivated perylenequinone toxins in fungal pathogenesis of plants. *Fems Microbiol Lett* 252:197-206, 2005.

De Lima, L.M.; Pozza, E.A.; Santos, F.D. Relationship between incidence of brown eye spot of coffee cherries and the chemical composition of coffee beans. *J Phytopathol* 160:209-211, 2012.

Echandi, E. La chasparria de los cafetos causada por el hongo/*Cercospora coffeicola*/ Berk and Cooke. *Turrialba* 9:54-67, 1959.

Fernandez-Borrero, O.; Mestre, A.M.; Duque, S.L. Efecto de la fertilizacion en la incidencia de la mancha de hierro (*Cercospora coffeicola*) en frutos de café. *Cenicafé* 47:5-16, 1966.

Garcia Junior, D. Incidência e severidade da cercosporiose do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) em função de doses de potássio e cálcio em solução nutritiva. Universidade Federal de Lavras, Lavras -MG, 2002.

Garcia Junior, D.; Pozza, E.A.; Pozza, A.A.A.; Souza, P.E.; Carvalho, J.G.; Balieiro, A.C. Incidência e severidade da cercosporiose-do-cafeeiro em função do suprimento de potássio e cálcio em solução nutritiva. *Fitopatologia Brasileira* 28:286-291, 2003.

Graham, D.R.; Webb, M.J. Micronutrients and disease resistance and tolerance in plants. In: Mortvedt, J.J.; Cox, F.R.; Shuman, L.M.; Welch, R.M., (eds.). *Micronutrients in Agriculture*, second ed. Madison, WI, USA: Soil Science Society of America, pp. 329-370, 1991.

Guimarães, P.T.G.; Garcia, A.W.R.; V., V.H.A.; Prezotti, L.C.; Viana, A.S.; Miguel, A.E.; Malavolta, E.; Corrêa, J.B.; Lopes, A.S.; Nogueira, F.D.; Monteiro, A.V.C.; Oliveira, J.A.d. Cafeeiro. In: Ribeiro, A.C.; Guimarães, P.T.G.; V., V.H.A., (eds.). *Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais*. 5. Aproximação. Viçosa: CFSEMG, Page 359, 1999.

Hermans, C.; Hammond, J.P.; White, P.J.; Verbruggen, N. How do plants respond to nutrient shortage by biomass allocation? *Trends Plant Sci* 11:610-617, 2006.

Leite, V.M.; Brown, P.H.; Rosolem, C.A. Boron translocation in coffee trees. *Plant Soil* 290:221-229, 2007.

Lima, L.M.d.; Pozza, E.A.; Torres, H.N.; Pozza, A.A.A.; Salgado, M.; Pfenning, L.H. Relação nitrogênio/potássio com mancha-de-phoma e nutrição de mudas de cafeeiro em solução nutritiva. *Trop Plant Pathol* 35:223-228, 2010.

Malavolta, E. *Manual de nutrição mineral de plantas*. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006.

Malavolta, E.; Vitti, G.C.; Oliveira, S.A. *Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações*. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa do Fosfato, 1997.

Marenco, R.A.; Lopes, N.F. Fisiologia vegetal: fotossíntese, respiração, relações hídricas e nutrição mineral. Viçosa: UFV, 2005.

Marques, E.S.; Faquin, V.; Guimarães, P.T.G. Teores foliares de nutrientes no cafeeiro (*Coffea arabica* L.) em resposta a calcário e gesso. Cienc Agrotec 23:140-151, 1999.

Marschner, H. Mineral nutrition of higher plants. London: Academic, 2012.

Montoya, R.; Chaves, G.M. Influência da temperatura e da luz na germinação, infectividade e período de geração de *Hemileia vastatrix* Berk & Br. Experientiae 18:239-266, 1974.

Muniz, M.R.A.; Krugner, T.L.; Silveira, R.L.V.A. Influência do estado nutricional do hospedeiro sobre a severidade da ferrugem do eucalipto causada por *Puccinia psidii*: relatório de pesquisa. Piracicaba, 1997.

Oliveira, R.H.; Milaneze, R.S.D.; Moraes-Dallaqua, M.A.; Rosolem, C.A. Boron deficiency inhibits petiole and peduncle cell development and reduces growth of cotton. Journal Plant Nutrition 29:2035-2048, 2006.

Paiva, B.R.T.L.; Souza, P.E.d.; Scalco, M.S.; Monteiro, F.P. Progresso da cercosporiose do cafeeiro sob diferentes manejos de irrigação e densidades de plantio. Coffee Science 8:166-175, 2012.

Pinheiro, J.B.; Pozza, E.A.; Pozza, A.A.A.; Moreira, A.d.S.; Alves, M.C. Severidade da ferrugem da soja em função do suprimento de potássio e cálcio em solução nutritiva. Revista Ceres 58:43-50, 2011.

Pozza, A.A.A. Influência da nutrição nitrogenada e potássica na intensidade da mancha de olho pardo (*Cercospora coffeicola* Berk. & Cook.) em mudas de cafeeiro. Dissertação. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1999.

Pozza, A.A.A.; Guimaraes, P.T.G.; Romaniello, M.M.; Pozza, E.A.; Carvalho, J.G.d. Suprimento de fósforo na produção e intensidade da cercosporiose de mudas de cafeeiro em tubetes. Cienc Agrotec 26:970-976, 2002.

Pozza, A.A.A.; Martinez, H.E.P.; Caixeta, S.L.; Cardoso, A.A.; Zambolim, L.; Pozza, E.A. Influência da nutrição mineral na intensidade da mancha-de-olho-pardo em mudas de cafeeiro. Pesqui Agropecu Bras 36:53-60, 2001.

Pozza, E.A.; Pozza, A.A.A. Relação entre nutrição e as doenças de plantas: implicações práticas. In: Machado, A.K.F.M.; Ogoshi, C.; Perina, F.J.; Silva, G.M.; Neento, H.S.; Costa, L.S.A.S.; Alencar, N.E.; Martins, S.J.; Terra, W.C.; Zancan, W.L.A., (eds.). Avanços na otimização do uso de defensivos agrícolas no manejo fitossanitário. São Carlos - SP:Suprema Gráfica e Editora, pp. 259-282, 2012.

Rolshausen, P.E.; Gubler, W.D. Use of Boron for the Control of *Eutypa* Dieback of Grapevines. *Plant Dis* 89:734-738, 2005.

Römheld, V.; Kirkby, E.A. Research on potassium in agriculture: needs and prospects. *Plant Soil* 335:155-180, 2010.

Rosolem, C.A.; Leite, V.M. Coffee leaf and stem anatomy under boron deficiency. *Rev Bras Cienc Solo* 31:477-483, 2007.

Ruaro, L.; Neto, V.d.C.L.; Júnior, P.J.R. Influência do boro, de fontes de nitrogênio e do pH do solo no controle de hérnia das crucíferas causada por *Plasmodiophora brassicae*. *Trop Plant Pathol* 34:231-238, 2009.

Santos, F.d.S.; Souza, P.E.; Pozza, E.A. Epidemiologia da cercosporiose em cafeeiro (*Coffea arabica* L.) fertirrigado. *Summa Phytopathologica* 30:31 - 37, 2004.

Santos, F.d.S.; Souza, P.E.d.; Pozza, E.A.; Miranda, J.C.; Carvalho, E.A.; Fernandes, L.H.M.; Pozza, A.A.A. Adubação orgânica, nutrição e progresso de cercosporiose e ferrugem do cafeeiro. *Pesqui Agropecu Bras* 43:783-791, 2008.

Santos, F.S.; Souza, P.E.; Pozza, E.A.; Miranda, J.C.; Barreto, S.S.; Theodoro, V.C. Progresso da cercosporiose (*Cercospora coffeicola* Berkeley & Cooke) em cafeeiros sob cultivos orgânico e convencional. *Summa Phytopathologica* 34:48-54, 2008.

SAS Institute. SAS language and procedures: usage. SAS Institute 2000, Cary,

Satya, S.; Pitchai, J.G.; Indirani, R. Boron nutrition of crops in relation to yield and quality - A review. *Agric. Rev.* 30:139-144, 2009.

Shaner, G.; Finney, R.E. The effect of nitrogen fertilization on the expression of slow-mildewing resistance in Knox wheat. *Phytopathology* 67:1051 - 1056, 1977.

Silva, L.M.; Alquini, Y.; Cavallet, V.J. Inter-relações entre a anatomia vegetal e a produção vegetal. *Acta bot. bras.* 19:183-194, 2005.

Silveira, R.L.V.A.; Gonçalves, A.N.; Krugner, T.L. Estado nutricional de *Eucalyptus citriodora* Hook cultivado sob diferentes doses de boro e sua relação com a agressividade de *Botryosphaeria ribis*. *Scientia forestalis* 53:57-70, 1998.

Silveira, R.L.V.A.; Krugner, T.L.; Silveira, R.I.; Gonçalves, A.N. Efeito do boro na suscetibilidade de *Eucalyptus citriodora* a *Botryosphaeria ribis* e *Lasiodiplodia theobromae*. *Fitopatologia brasileira* 21:482-485, 1996.

Simoglou, K.B.; Dordas, C. Effect of foliar applied boron, manganese and zinc on tan spot in winter durum wheat. *Crop Prot* 25:657-663, 2006.

Souza, A.G.C.; Rodrigues, F.A.; Maffia, L.A.; Mizubuti, E.S.G. Infection process of *Cercospora coffeicola* on coffee leaf. *J Phytopathol* 159:6-11, 2011.

Souza, D.C.; Santos, F.D.S.; Scalco, M.S.; Souza, P.E. Progresso da cercosporiose do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) irrigado e não irrigado em diferentes densidades de plantio. Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil 4, 2005.

Taiz, L.; Zeiger, E. *Fisiologia vegetal*. Porto Alegre: Artmed, 2013.

Talamini, V.; Pozza, E.A.; Souza, P.E.d.; Silva, A.M.d. Progresso da ferrugem e da cercosporiose em cafeeiro (*Coffea arabica* L.) com diferentes épocas de início e parcelamentos da fertirrigação. *Cienc Agrotec* 27:141-149, 2003.

Valencia, A.G. Estudio fisiológico de la defoliación causada por *Cercospora coffeicola* en el cafeto. *Cenicafé* 21:105-114, 1970.

CAPÍTULO 4

ANÁLISE GEOESTATÍSTICA DA RELAÇÃO DA CERCOSPORIOSE DO CAFEIEIRO COM NUTRIENTES E PRODUÇÃO EM LAVOURAS IRRIGADAS

RESUMO

A cercosporiose é umas das principais doenças do cafeeiro, sendo sua ocorrência afetada pelo fornecimento de água e equilíbrio nutricional. Entretanto a intensidade da cercosporiose não depende somente do tipo do sistema de irrigação, mas da fertilidade do solo, da nutrição da planta e da sua produtividade. Pouco se conhece sobre a influência da nutrição mineral e da fertilidade do solo na intensidade da doença, principalmente ao longo do espaço no campo. Dessa forma, objetivou-se avaliar o padrão espacial da relação da cercosporiose (*Cercospora coffeicola*) com a fertilidade do solo e a nutrição da planta em lavoura cafeeira irrigada por gotejamento e pivô central. Foram duas áreas experimentais, sendo a área com sistema de irrigação por gotejamento de 11 ha, com 52 pontos amostrais georreferenciados, e a área de pivô central de 17 ha, com 50 pontos amostrais. Em cada ponto, avaliaram-se cinco plantas e realizaram-se avaliações de cercosporiose em folhas, sendo 60 folhas por ponto, no terço médio da planta. As avaliações foram realizadas em intervalos de 60 dias, durante 31 meses, de agosto de 2012 a março de 2015. Avaliaram-se também, em cada ponto, a fertilidade do solo e a nutrição mineral das plantas. Com esses dados, calculou-se a área abaixo da curva de progresso da incidência (AACPI). A curva de progresso média da incidência da cercosporiose variou entre os dois anos de avaliação para os dois sistemas. Houve correlação positiva da AACPI com as incidências em 17/04/2013,

24/08/2013, 04/06/2014 e 18/08/2014, e dos teores foliares de B, P e K com essas datas, com isso, foram escolhidas para análise geoestatística nos dois sistemas de irrigação. Na análise geoestatística para o sistema de irrigação por gotejamento, na relação das variáveis analisadas para 2014, do lado Sudeste da área, foram observadas as menores produções, as maiores intensidades da cercosporiose e os maiores teores foliares de K, P e B, enquanto, para o sistema por pivô central, na relação das variáveis analisadas para 2014, do lado Sudeste da área, foram observadas as menores produções, as maiores intensidades da cercosporiose e os maiores teores foliares de P e K e menor teor de B.

ABSTRACT

Cercospora leaf spot is one of the major diseases of coffee, and its occurrence affected by water supply and nutritional balance. However the intensity of the disease depends not only on the type of the irrigation system, but fertility of the soil, the plant nutrition and productivity. Little is known about the influence of mineral nutrition and soil fertility in the intensity of the disease, especially along the space field. Thus, the objective was to evaluate the spatial pattern of the relationship of *Cercospora* leaf spot (*Cercospora coffeicola*) with soil fertility and plant nutrition in irrigated coffee crop drip and center pivot. There were two experimental areas, and the area with drip irrigation system of 11 ha, with 52 georeferenced sampling points, and the center pivot area of 17 ha, with 50 sampling points. At each point we evaluated five plants and were held *Cercospora* leaf spot assessments sheets, 60 sheets per point, in the middle third of the plant. The evaluations were performed at intervals of 60 days during 31 months, from August, 2012 to March, 2015. It was evaluated also at every point, soil fertility and mineral nutrition of plants. With this data, it calculated the area under the incidence progress curve (AACPI). The average progress curve of the incidence of *Cercospora*

leaf spot was between the two years of evaluation for both systems. There was a positive correlation with the incidence of AACPI on 04/17/2013, 08/24/2013, 06/04/2014 and 18/08/2014, and foliar B, P and K with these dates, with this, geostatistical analysis were chosen for the two irrigation systems. In geostatistical analysis for the drip irrigation system, the list of variables for 2014, the right side of the area, the lowest yields were observed, the highest intensities of gray leaf spot and major foliar K, P and B while for system for center pivot, the list of variables for 2014, the right side of the area, the lowest yields were observed, the highest intensities of gray leaf spot and higher foliar P and K and lower content of B.

1. INTRODUÇÃO

O café (*Coffea arabica* L.) é um dos principais produtos agrícolas produzidos no Brasil. Devido à competição no mercado interno e externo, com elevados custos de produção, existe a necessidade de aumentar a produtividade da lavoura cafeeira, reduzindo as perdas, mesmo sendo a maioria da área plantada com cultivares suscetíveis à maioria das doenças (Pozza et al., 2010). Dentre as doenças dos cafezais, destaca-se a cercosporiose (*Cercospora coffeicola* Berkeley & Cooke), responsável por sérios prejuízos desde o viveiro até o campo, em lavouras com manejo inadequado, causando intensa desfolha, raquitismo e perda de produtividade (Fernandez-Borrero et al., 1966; Garcia Junior et al., 2003).

O cultivo de vegetais, principalmente o cafeeiro, tem-se beneficiado com a adoção de técnicas de irrigação para aumentar a produtividade, eficiência no uso da água e de fertilizantes, além de facilitar o uso de técnicas de controle de doenças de plantas (Bryla et al., 2005; Morales et al., 2010; Tang et al., 2005). Porém, a irrigação pode influenciar a intensidade de doenças (Browne et al., 2002, Jefferson & Gossen, 2002, Rotem & Palti,

1969), responsáveis por perdas na cultura. O tipo de sistema de irrigação pode influenciar o progresso de doenças. Os do tipo aspersão, capazes de proporcionar molhamento foliar (Browne et al., 2002; Ludy et al., 1997; Rotem & Palti, 1969), podem contribuir para disseminar bactérias e fungos e a germinação desses patógenos respectivamente. Além de proporcionar aumento na umidade relativa do ar por maior tempo. Porém, devido à maior quantidade de água em solos com alto teor de areia, pode ocorrer lixiviação de nutrientes e consequente redução na formação de barreiras de resistência principalmente as horizontais. Além disso, a irrigação afeta a turgidez dos órgãos da planta com tendência de manter os estômatos abertos, facilitando a penetração do patógeno (Rotem & Palti, 1969). Dentre os sistemas de irrigação do cafeeiro destaca-se o gotejamento, por suas vantagens de economia de água e energia e alta eficiência na aplicação de água (Fernandes et al., 2007), além de reduzir a intensidade de doenças por proporcionar menor período de molhamento foliar (Subbarao et al., 1997, Xiao & Subbarao, 2000, Xiao et al., 1998).

Em relação às doenças do cafeeiro, a intensidade da ferrugem foi maior em lavouras irrigadas por aspersão, tipo pivô central e mangueira plástica perfurada, em comparação ao sistema de gotejamento ou ao tratamento sem irrigação. Devido ao molhamento foliar, ocorreu a formação de microclima favorável ao progresso da doença, devido à disponibilidade de água para germinação do patógeno. Dessa forma, o sistema de irrigação utilizado também pode interferir na intensidade da doença (Carvalho, 1998; Juliatti et al., 2000). Porém Custódio et al. observaram redução na incidência da ferrugem com o aumento de lâminas de água, devido principalmente à menor produtividade em maiores lâminas, a qual proporcionou a lixiviação de nutrientes no solo. Já em experimentos com sistema por gotejamento, o aumento de lâminas de irrigação, aumentou a intensidade da ferrugem devido ao aumento na produtividade (Miranda et al., 2006) e diminuiu a de

cercosporiose (Santos et al., 2004; Talamini et al., 2003), devido ao melhor transporte de nutrientes e constituição de barreiras de resistência para esse fungo necrotrófico. Entretanto a intensidade de doenças não depende somente do tipo do sistema de irrigação, mas da quantidade de água e de nutrientes fornecida, da textura, estrutura e fertilidade do solo, da nutrição da planta, da sua produtividade e da suscetibilidade às doenças, entre outros (Pozza & Pozza, 2012).

A nutrição mineral de plantas é um dos principais componentes do ambiente relacionado à maior ou menor intensidade de doenças. A nutrição mineral é um dos fatores ambientais capazes de ser manipulado com relativa facilidade para o controle de doenças, contribuindo de maneira significativa para reduzir a severidade da doença (Taiz & Zeiger, 2013). Quando utilizada de forma correta, pode ser importante tática de manejo integrado no controle cultural. Isso porque, em muitas situações, os nutrientes minerais constituem a primeira linha de defesa da planta contra o ataque de patógenos (Datnoff et al., 2007). Na cultura do cafeeiro, a fertilização das plantas mantendo níveis adequados de nutrientes minerais promove acréscimos de produtividade (Martinez et al., 2003, Silva et al., 2009). A interação do Ca e do N com o K na cercosporiose e na mancha-de-phoma do cafeeiro foi estudada em solução nutritiva e no campo, apresentando diferenças significativas na intensidade dessas doenças com a variação da sua relação e da quantidade fornecida. Sempre o equilíbrio de cátions em conteúdos suficientes para a crescimento e desenvolvimento do cafeeiro proporcionou menores intensidades de doenças (Catarino, 2011, Garcia Junior et al., 2003).

Pouco se conhece sobre a influência da nutrição mineral e da fertilidade do solo na intensidade da doença, principalmente, ao longo do espaço no campo. Nesse contexto, as informações sobre a distribuição espacial das doenças e sua dependência espacial com a fertilidade ao longo da área de

plantio podem fornecer subsídios para pesquisas futuras e também para o manejo da doença em grandes áreas, com possibilidade de realizar adubações e pulverizações diferenciadas em áreas específicas. Uma técnica capaz de possibilitar a análise espacial é a geoestatística, já empregada para avaliar a variação espacial de doenças e sua relação com a fertilidade do solo e a nutrição da planta em lavouras de sequeiro (Alves et al., 2009).

Dessa forma, este trabalho objetivou avaliar o padrão espacial da relação da cercosporiose com a fertilidade do solo e a nutrição da planta em lavoura cafeeira irrigada por gotejamento e pivô central.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Localização das áreas experimentais e georreferenciamento

O experimento foi conduzido no Sul de Minas de agosto de 2012 a março de 2015, em lavouras de duas propriedades, localizadas no município de Carmo do Rio Claro, com altitude de 850 m, uma com o sistema de irrigação por gotejamento, latitude de 21°00'28" Sul e longitude de 46°01'30" Oeste e a outra irrigada por pivô central, latitude de 20°59'55" Sul e longitude de 46°02'52" Oeste. A área com sistema de gotejamento foi de 11 ha de lavoura de cafeeiro (*Coffea arabica* L.) da cultivar Acaia 474/19, suscetível à cercosporiose, com 1,5 ano de idade, espaçamento de 3,6 m entre linhas e 0,7 m entre plantas, totalizando 3.968 plantas/ha, declividade de 7% e sua produção iniciou-se em 2013, durante a condução do experimento. A irrigação foi realizada ao longo do ano, de acordo com a necessidade, baseada na aferição de baterias de tensiômetros. A área com sistema de pivô central foi de 17 ha de lavoura de cafeeiro (*Coffea arabica* L.) também da cultivar Acaia 474/19, com 10 anos de idade, espaçamento de 4,0 m entre linhas e 0,5 m entre plantas,

totalizando 5.000 plantas/ha, declividade de 10% e sua produção média é de aproximadamente 30 sacas.ha⁻¹. O início da irrigação por pivô central foi no dia 02/06/2012 com lâminas, fornecidas por aspersores tipo “spray”, para garantir o mínimo de 90 mm mensais, monitorados por pluviômetro. Foram aplicados 30 mm a cada 10 dias, entre os meses de setembro a março.

Os pontos de amostragem de ambas as áreas foram georreferenciados com GPS TRIMBLE 4600 LS® e Estação Total Leica TC600®. A área do pivô central possuía 50 pontos amostrais em malha de 50 x 50 metros e a área do gotejamento possuía 52 pontos amostrais em malha de 40 x 40 metros.

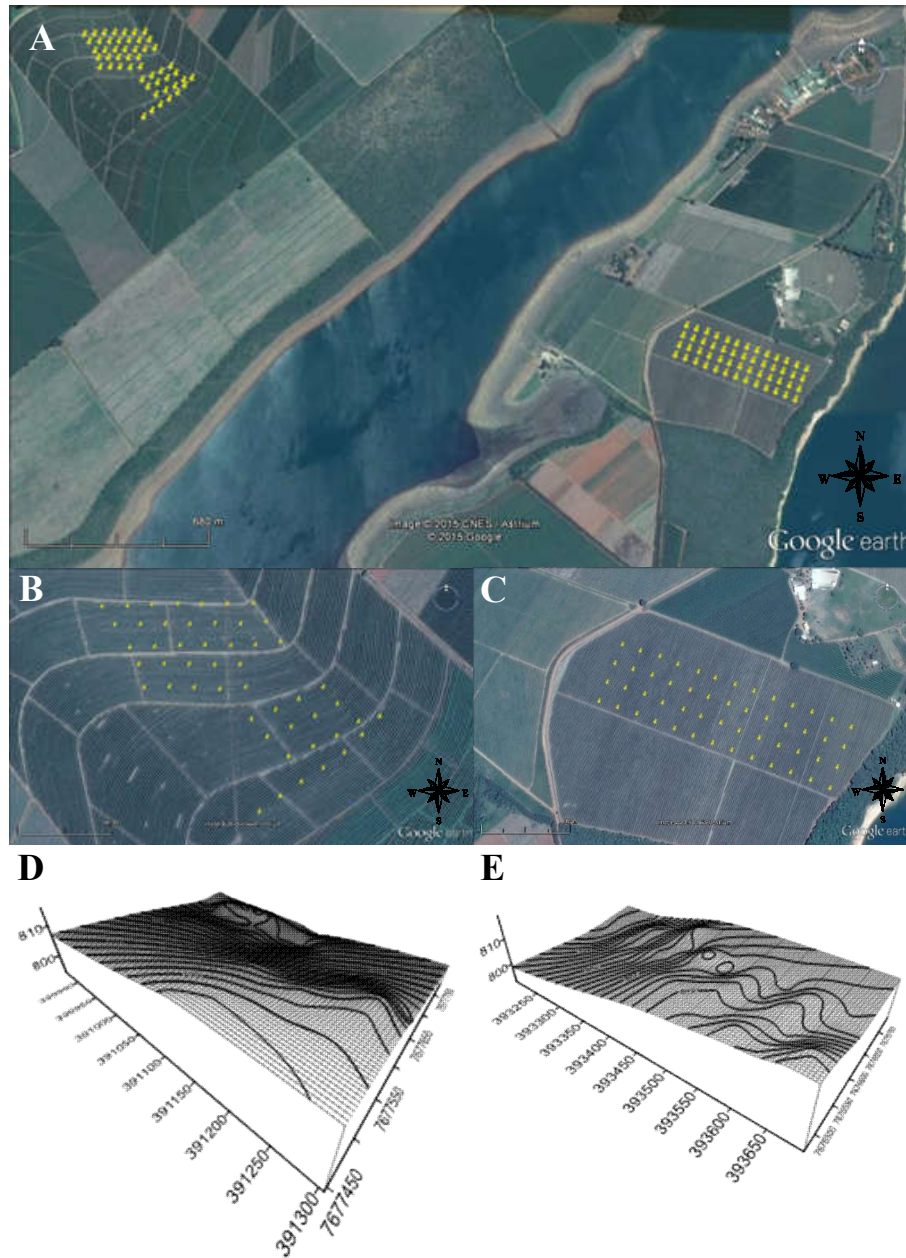


Figura 1 - Áreas com os pontos amostrais georreferenciados (ponto amarelo) (A) na área com sistema de irrigação por pivô central (esquerda) (B), por gotejamento (direita) (C) e o mapa de relevo com coordenadas em UTM e altitude da área de pivô central (D) e de gotejamento (E) em Carmo do Rio Claro – MG. Fonte: <http://earth.google.com>.

Durante a condução do experimento, as lavouras receberam os tratamentos culturais para controle de pragas e plantas daninhas de acordo com o necessário.

Nessas áreas foram monitoradas a cercosporiose, o enfolhamento, a análise nutricional das plantas, a fertilidade do solo e as variáveis climatológicas externas e dentro da copa das plantas. Sendo assim a metodologia descrita abaixo se refere a ambas as áreas.

2.2 Avaliação da intensidade da cercosporiose e do enfolhamento

Avaliações da cercosporiose (*C. coffeicola*) nas folhas foram realizadas observando-se os sintomas da doença em intervalos de dois meses, de agosto de 2012 até março de 2015, totalizando 16 avaliações. Em cada ponto georreferenciado, avaliaram-se cinco plantas, uma central, duas na linha de plantio e nas laterais e uma de cada lado dessas. De cada planta, foram retiradas seis folhas de cada lado da linha, no terço médio da copa, a partir do terceiro e do quarto par de folhas de um ramo escolhido ao acaso, por serem os mais representativos (Huerta, 1963), totalizando 60 folhas coletadas em cada ponto amostral georreferenciado por data de avaliação. Essas plantas foram marcadas para as amostragens posteriores. A incidência (I) foi calculada de acordo com a Equação 1 (Campbell & Madden, 1990).

$$I(\%) = \frac{NFD}{NFT} * 100 \text{ (Equação 1)}$$

Em que:

I = incidência (%)

NFD = número de folhas doentes nas cinco plantas de cada ponto;

NFT = número total de folhas por ponto georreferenciado (60 folhas).

Nas mesmas datas de avaliação da doença, também foi avaliado o

enfolhamento em cada uma das cinco plantas de cada ponto amostral, por meio da escala diagramática proposta por Boldini (2001), nota 1 (0 a 20% de enfolhamento), 2 (21 a 40%), 3 (41 a 60%), 4 (61 a 80%) e 5 (81 a 100%). O valor dessa variável em cada ponto foi obtido calculando-se a nota média das cinco plantas.

2.3 Curva de progresso da doença

Com os dados de incidência e de enfolhamento médio, de todos os pontos amostrais, foram plotadas as curvas de progresso, ao longo do tempo, dessas duas variáveis.

2.4 Área abaixo da curva de progresso da incidência e do enfolhamento

Tanto os dados de incidência quanto de enfolhamento das médias de todos os pontos, utilizados para plotar as curvas de progresso da cercosporiose, foram integralizados em área abaixo da curva de progresso da incidência (AACPI) e do enfolhamento (AACPEnf), segundo Shaner and Finney (1977), de acordo com a Equação 2.

$$\text{AACPI ou AACPEnf} = \sum_{i=1}^{n-1} \frac{(Y_i + Y_{i+1})}{2} * (T_{i+1} - T_i) \text{ (Equação 2)}$$

Em que:

AACPI = área abaixo da curva de progresso da incidência ou

AACPEnf = área abaixo da curva de progresso do enfolhamento;

Y_i = proporção da doença ou enfolhamento na i -ésima observação;

T_i = tempo em dias na i -ésima observação;

N = número total de observações.

2.5 Colheita

A colheita dos frutos de café das cinco plantas de cada ponto amostral georreferenciado foi realizada de forma manual sobre “pano” para a área com sistema de irrigação por gotejamento no ano de 2013, por ser a primeira colheita dessa área e com o objetivo de não ferir os ramos. No restante das colheitas, foram realizadas com colhedora portátil. Após a derriça, foi obtido o peso dos grãos em Kg em cada ponto amostral.

2.6 Análise nutricional das plantas e da fertilidade do solo

Para determinar o teor foliar dos nutrientes de todos os pontos amostrais, realizaram-se amostragens em outubro de 2012, outubro de 2013 e junho de 2014. Para isso, foram coletadas cinco folhas de cada lado da rua, na direção Leste e Oeste, nas cinco plantas por ponto amostrado, do 3º ou 4º par de folhas a partir do ápice de ramos plagiotrópicos, localizados no terço médio da planta. Para as análises de solo, retirou-se uma amostra composta do solo de cada ponto amostral. Essa amostra composta foi obtida pela retirada de cinco amostras simples de solo, em um balde, na projeção da copa das cinco plantas de cada ponto georreferenciado da área em 2012 e 2013. As amostras foram encaminhadas para laboratório e as determinações dos teores foliares e da quantidade no solo, foram feitas conforme metodologia proposta por Malavolta et al. (1997) e por Guimarães et al. (1999) respectivamente.

Foram então obtidos os teores foliares dos nutrientes: nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S), zinco (Zn), ferro (Fe), manganês (Mg), cobre (Cu) e boro (B) e pela análise de solo obteve-se o potencial Hidrogeniônico (pH), potássio (K), fósforo (P), sódio

(Na), cálcio (Ca), magnésio (Mg), alumínio (Al), acidez potencial (H+Al), soma de bases (SB), capacidade de troca catiônica efetiva (t), capacidade de troca catiônica a pH 7.0 (T), porcentagem de saturação por bases (V), porcentagem de saturação por alumínio (m), matéria orgânica (MO), fósforo remanescente (P-rem), zinco (Zn), ferro (Fe), manganês (Mn), cobre (Cu), boro (B) e enxofre (S).

2.7 Variáveis meteorológicas

Foram obtidos dados meteorológicos tanto ao lado externo da copa ou do experimento quanto dentro (interno) da copa do cafeeiro, nesse último nas duas áreas experimentais. Os dados externos à copa foram coletados em estação meteorológica microclimatológica (Campbel Scientific®) instalada ao lado da área experimental a 250 metros da área do pivô central, para monitorar as variáveis temperaturas máxima (TMax.), média (TMed.) e mínima (TMin.); umidade relativa mínima (UMin.), média (UMed.) e máxima (UMax.); velocidade do vento (Veloc.), molhamento foliar (Mol. F. Ext.) e precipitação total (Precip.). Tanto na área de pivô quanto na de gotejamento, instalaram-se dois *datalogger's* de temperatura e umidade do modelo HT-500 Instrutherm® e uma micro estação WatchDog® série 1.000 com sensor de temperatura, umidade e dois sensores de molhamento foliar. Os três sensores foram instalados no terço médio, dentro da copa das plantas e distribuídos ao acaso em cada uma das áreas experimentais. Os dois *ddatalogger's* e a micro estação foram instalados com o objetivo de obter repetições das variáveis dentro da copa. Sendo assim, obteve-se a média dos três aparelhos, da temperatura média mensal (TempD) e da umidade relativa média mensal (URD). Na micro estação WatchDog®, obteve-se também o molhamento foliar dentro da copa (Mol. Foliar).

A média mensal das variáveis climáticas coletadas na estação externa ao experimento foi plotada junto com as curvas de progresso da incidência e do enfolhamento.

2.8 Correlações

Foi então realizada, a correlação de Pearson da incidência média entre a cercosporiose de cada ponto georreferenciado tanto da área experimental irrigada por gotejamento quanto por pivô central e:

- A média dos 30 dias anteriores a cada data de avaliação, das variáveis meteorológicas interna e externa à copa de cada área;
- Os teores foliares de nutrientes, correlacionados com três avaliações da incidência da cercosporiose, sendo uma no mês de coleta das folhas, uma na avaliação da incidência anterior e uma posterior ao mês da coleta das folhas para averiguar a influência dos teores foliares nessas três datas de avaliação da incidência da cercosporiose.
- A fertilidade do solo, sendo correlacionado com três avaliações da incidência da cercosporiose, sendo uma no mês da coleta das folhas, uma avaliação da incidência anterior e uma posterior ao mês da coleta do solo para averiguar a influência da fertilidade do solo na incidência nessas três avaliações.

Para a AACPI, realizou-se a correlação entre a incidência e o enfolhamento em cada data de avaliação, com a AACPEnf, produção de 2013 e 2014, teores foliares e com a fertilidade do solo.

Para realizar a análise de correlação, utilizou-se o procedimento PROC CORR do programa estatístico SAS v. 9.3[®] (SAS Institute).

2.9 Análise geoestatística e da dependência espacial

Após a análise de correlação da AACPI entre a incidência e cada data de avaliação, obteve-se as datas de avaliação significativas. Selecionou-se então, para realizar as análises geoestatísticas, as datas de 17/04/2013, 24/08/2013, 04/06/2014 e 18/08/2014, pois nessas datas houve maior incidência da cercosporiose nas duas áreas e também maiores coeficientes de correlação com a AACPI, resultando em maior influência nessa variável.

Para os teores foliares, após a análise de correlação entre a incidência e as datas selecionadas anteriormente, escolheu-se os teores macronutrientes foliares K e P para realizar a análise geoestatística, por apresentarem o maior número de correlações significativas nas duas áreas. Já para os micronutrientes, escolheu-se o teor foliar de B, pois apresentou alta correlação significativa na área de pivô central em todas as análises foliares com as avaliações da incidência selecionadas.

Em relação à fertilidade do solo, não se realizou análise geoestatística devido à ausência de correlações significativas ou não foram comuns nas duas áreas.

Para a produção nos anos de 2013 e 2014, realizou-se a análise geoestatística nas duas áreas, devido aos coeficientes de correlação significativos com a doença.

A dependência espacial foi analisada com o uso da geoestatística, por meio de ajustes de semivariogramas, com base na pressuposição de estacionariedade da hipótese intrínseca, de acordo com a metodologia de Burrough and McDonnell (1998).

O grau de dependência espacial (GDE) do melhor modelo ajustado aos dados, ou a proporção em porcentagem do efeito pepita (C_0) em relação ao patamar ($C_0 + C$) foi calculado utilizando-se a Equação 3:

$$GDE = \left(\frac{c_0}{c_0+c} \right) * 100 \quad (\text{Equação 3})$$

De acordo com Cambardella et al. (1994), quando o GDE for inferior a 25%, a dependência espacial é forte. Se o GDE ficar entre 26% a 75%, a dependência espacial é moderada e, se for superior a 75%, a dependência espacial é fraca.

O melhor ajuste dos modelos de semivariogramas foi escolhido em função do quadrado médio do erro, erro padrão de predição e da autovalidação (Jack Knife).

Após o ajuste dos semivariogramas, escolhido o melhor modelo, realizou-se a interpolação dos dados por krigagem ordinária, possibilitando construir os mapas, de forma a possibilitar visualizar padrões de distribuição espacial, das variáveis selecionadas, na lavoura em diferentes épocas de avaliação. Foi utilizado, para ajustar os semivariogramas e plotar os mapas de krigagem ordinária, o programa ArcGIS, do *software* ArcGIS 9.2 (Environmental Systems Research Institute - ESRI, 2004).

3. RESULTADOS

Os resultados foram apresentados por sistemas de irrigação, gotejamento e pivô central.

3.1 Gotejamento

3.1.1 Curva de progresso da cercosporiose e correlação com as variáveis meteorológicas

A curva de progresso média da incidência da cercosporiose do cafeeiro variou durante o período avaliado (agosto de 2012 a março de 2015) (**Figura 2**).

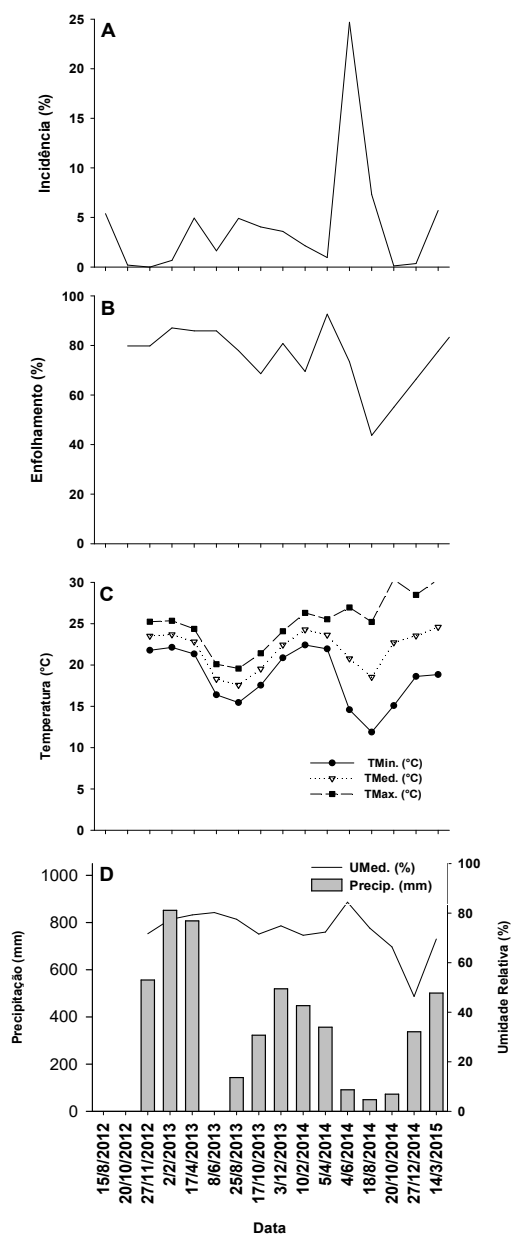


Figura 2 - Curva de progresso da incidência da cercosporiose do cafeeiro (A), enfritamento (B) e das médias mensais das variáveis meteorológicas temperatura máxima (TMax.), média (TMed.) e mínima (TMin.), umidade relativa média (UMed.) e precipitação acumulada (Precip.) (C, D) coletadas externamente à copa entre o período de 15/08/2012 a 14/03/2015, na área de gotejamento.

Durante o período avaliado, observaram-se picos da doença em 17/04/2013 (5%), 24/08/2013 (5%), 04/06/2014 (25%) e 18/08/2014 (7%) (**Figura 2**). No período de picos da doença, foram observadas as menores médias das temperaturas, seguidas de queda no enfolhamento (**Figuras 2B, 2C e 2D**). Seguindo essa tendência observada na curva de progresso, houve correlação negativa da incidência da cercosporiose com a temperatura tanto interna quanto externa à copa e também com a umidade relativa média interna à copa e com o molhamento foliar e velocidade do vento externa à copa. Porém ocorreram correlações significativas positivas da incidência com o molhamento foliar interno à copa, e também com as umidades relativas máxima, média e mínima externas à copa (**Tabela 1 e 2**). Ou seja, o comportamento das variáveis meteorológicas, o molhamento foliar e a umidade relativa foram opostos dentro (interno) e externo à copa.

Tabela 1 - Coeficientes de correlação entre a incidência da cercosporiose do cafeeiro e as variáveis meteorológicas ocorridas nos trinta dias anteriores à avaliação da cercosporiose do cafeeiro no período entre ago./2012 e mar./2015 interna à copa.

	TempD (°C)	URD (%)	Mol. Foliar
Inc.	-0,33*	-0,23*	0,54*

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

Inc. = Incidência, **TempD** = Temperatura dentro da copa, **URD** = umidade relativa dentro da copa e **Mol. Foliar** = Molhamento foliar dentro da copa (varia de 0 a 15, onde 0 = seco a 15= totalmente úmido).

Tabela 2 - Coeficientes de correlação entre a incidência da cercosporiose do cafeeiro e as variáveis meteorológicas ocorridas nos trinta dias anteriores à avaliação da cercosporiose do cafeeiro, no período entre ago./2012 e mar./2015 externa à copa.

	Temperaturas (°C)			Umidade relativa (%)			Precip (mm)	Mol. F. Ext. (hs)	Veloc. (m/s)
	TMin	TMed.	TMax.	UMin.	UMed.	UMax.			
Inc.	-0,19*	-0,20*	-0,21*	0,24*	0,25*	0,24*	0,05 ^{NS}	-0,30*	-0,27*

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

Inc. = Incidência, **TMin.** = temperatura mínima, **TMed.** = temperatura média, **TMax.** = temperatura máxima, **UMin.** = umidade mínima, **UMed.** = umidade média, **UMax.** = umidade máxima, **Precip** = Precipitação, **Mol. F. Ext.** = Molhamento foliar externa à copa e **Veloc.** = velocidade média do vento.

3.1.2 Correlações da cercosporiose com a produção, fertilidade do solo e a nutrição de plantas

Houve correlação positiva da AACPI com as incidências em 17/04/2013, 24/08/2013, 04/06/2014 e 18/08/2014 e com a produção de 2013 (**Tabela 3 e 4**), influenciando a AACPI média (3994,2), devido a isso, foram as escolhidas para a análise geoestatística.

Tabela 3 - Coeficientes de correlação entre a área abaixo da curva do progresso da incidência (AACPI) e as datas de pico da doença, no período entre ago./2012 e mar./2015.

	Incidência 17/04/2013	Incidência 24/08/2013	Incidência 04/06/2014	Incidência 18/08/2014
AACPI	0,33*	0,66*	0,81*	0,38*

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

Tabela 4 - Coeficientes de correlação da produção de 2013 e 2014 com a área abaixo da curva de progresso da doença para incidência (AACPI).

	Produção 2013 (Kg/ha)	Produção 2014 (Kg/ha)
AACPI	0,33*	-0,08 ^{NS}

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

Observou-se correlação significativa apenas para o teor de B amostrado em 2013. A correlação foi positiva entre o teor de B amostrado em 2013 e o pico da incidência da cercosporiose em 17/04/2013 (**Tabela 5**). Para o teor foliar de P, observou-se correlação negativa entre o teor foliar de P amostrado em 2012 com o pico da incidência da cercosporiose em 04/06/2014 e, correlação positiva do teor foliar de P amostrado em 2014 com o pico da incidência da cercosporiose em 24/08/2013 e 04/06/2014. Para o teor foliar de K, observou-se correlação negativa entre o teor foliar de K amostrado em 2013 com o pico da incidência da cercosporiose em 17/04/2013 e correlação positiva do teor foliar de K amostrado em 2014 com os picos da incidência da cercosporiose em 17/04/2013 e 04/06/2014 (**Tabela 5**).

Tabela 5 - Coeficientes de correlação entre a incidência nas datas de pico da doença e os teores foliares de B, P e K amostrados em 2012, 2013 e 2014.

Teores Foliare	Incidência 17/04/2013	Incidência 24/08/2013	Incidência 04/06/2014	Incidência 18/08/2014
B (2012)	0,07 ^{ns}	0,08 ^{ns}	0,08 ^{ns}	0,23 ^{ns}
B (2013)	0,27*	0,10 ^{ns}	0,08 ^{ns}	0,10 ^{ns}
B (2014)	0,18 ^{ns}	-0,13 ^{ns}	-0,03 ^{ns}	-0,19 ^{ns}
P (2012)	-0,10 ^{ns}	-0,24 ^{ns}	-0,27*	-0,06 ^{ns}
P (2013)	-0,10 ^{ns}	-0,21 ^{ns}	-0,05 ^{ns}	0,04 ^{ns}
P (2014)	0,22 ^{ns}	0,30*	0,53*	0,12 ^{ns}
K (2012)	-0,22 ^{ns}	0,36 ^{ns}	0,07 ^{ns}	-0,03 ^{ns}
K (2013)	-0,27*	-0,07 ^{ns}	-0,08 ^{ns}	-0,07 ^{ns}
K (2014)	0,34*	0,01 ^{ns}	0,28*	0,09 ^{ns}

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

Para a amostragem de solo e de folhas, não se observou correlação entre a incidência da cercosporiose na data de amostragem, em outubro de 2012 e 2013, com os teores foliares e no solo (**Anexo – Tabelas I a IV**). Enquanto na amostragem de folhas em junho de 2014, observou-se correlação positiva do teor foliar de P e K com a incidência da cercosporiose no mês de amostragem de folhas (**Anexo – Tabela V**).

3.1.3 Distribuição espacial da cercosporiose, da produção e da nutrição mineral das plantas

De acordo com a análise geoestatística, tanto para a AACPI quanto para as quatro datas selecionadas de incidência, ocorreram variações na intensidade da doença ao longo da área amostrada. Para essas variáveis e para a produção e os teores foliares de B, P e K, o melhor modelo ajustado foi o Exponencial (**Tabela 6**).

Tabela 6 – Parâmetros e coeficientes dos semivariogramas relativos à AACPI e nas quatro datas de incidência da cercosporiose, produção de 2013 e 2014 e referente às análises foliares de boro, fósforo e potássio em 2012, 2013 e 2014, na área de gotejamento.

Variável	Modelo	Ao	Co	Co+C	Co/Co +C	GDE
Cercosporiose						
AACPI	Exp.	136,37	0	1366118	0	Forte
Inc. 17/04/2013	Exp.	204,89	4,96	9,13	0,54	Mod.
Inc. 24/08/2013	Exp.	150,68	0	14,95	0	Forte
Inc. 04/06/2014	Exp.	96,81	0	90,96	0	Forte
Inc. 18/08/2014	Exp.	78,46	2,94	4,54	0,65	Mod.
Produção						
Produção 2013	Exp.	204,24	441747	775560	0,57	Mod.
Produção 2014	Exp.	559,15	90393	608160	0,15	Forte
Análises foliares						
Boro (2012)	Exp.	186,98	3,59	14,57	0,25	Forte
Boro (2013)	Exp.	369,36	52,51	66,46	0,79	Fraco
Boro (2014)	Exp.	246,36	0	309,93	0	Forte
Fósforo (2012)	Exp.	108,61	0	0,02	0	Forte
Fósforo (2013)	Exp.	78,46	0	0,004	0	Forte
Fósforo (2014)	Exp.	491,01	0,01	0,03	0,33	Mod.
Potássio (2012)	Exp.	99,49	0	3,24	0	Forte
Potássio (2013)	Exp.	262,14	5,13	6,28	0,82	Fraco
Potássio (2014)	Exp.	355,90	0,86	4,68	0,18	Forte

Ao = alcance, Co = efeito pepita, C+Co = patamar, Co/C+Co = razão indicativa do grau de dependência espacial (GDE, onde de 0 a 0,25 = forte; 0,25 a 0,75 = moderado e 0,75 a 1 = fraco), Inc. = Incidência, Exp. = exponencial, Lin. = linear, Esf. = esférico, Gau. = gaussiano e Mod. = moderado

Para a AACPI, houve forte grau de dependência espacial, com alcance de 136,37 m (**Tabela 6**). Foram observados dois focos bem definidos, um próximo ao centro da área e outro ao sudeste dessa. Os maiores valores da AACPI, no centro do foco, variaram de 5.657,98 a 7.131,83, ou seja, mais de 158,9% de aumento em relação ao menor valor das áreas com menores intensidades da cercosporiose (**Figura 3A**).

Já para as avaliações da incidência, nas datas de 17/04/2013 e 18/08/2014 houve moderada dependência espacial enquanto nos dias 24/08/2013 e 04/06/2014 a dependência espacial foi forte, com valores de alcance variando de 78,46 a 204,89 m (**Figuras 3B a 3E**).

Embora a distribuição da incidência ao longo do espaço variou entre as datas, as áreas de maior intensidade, foram às mesmas, ou próximas, nos diferentes períodos, coincidindo com a AACPI (**Figuras 3A a 3E**).

A produção também variou ao longo da área nos dois anos de colheita, porém houve inversão das áreas de maior produção, em 2013 foi ao lado Sudeste, atingindo até 4.341,78 kg/ha ou 72,36 sacas/ha e em 2014 foi ao lado Noroeste com até 5.234 kg/ha ou 87,23 sacas/ha (**Figuras 3F e 3G**).

Para a produção, houve variação quanto à dependência espacial nos dois anos de produção. Na produção de 2013, houve moderada dependência espacial, enquanto para a produção de 2014 houve forte dependência espacial, com valores de alcance de 204,24 até 559,15 m.

Em relação a 2013, nas áreas de maiores produções, antes da colheita, na avaliação de 17/04/2013 foram observadas menores incidências da doença, enquanto após a colheita, em 24/08/2013 a incidência aumentou drasticamente, cerca de 321,5%, chegando ao máximo de 15% em dois focos principais. Já em 2014, ficaram nítidas as maiores produções nas áreas onde ocorrem baixas incidências da doença, principalmente quando comparadas à avaliação da doença em 04/06/2014, atingindo até 52% no centro dos focos.

Além disso, observaram-se nos mapas de krigagem, a variação na distribuição do B, P e K ao longo da área amostrada.

A distribuição dos teores foliares de B variou ao longo do espaço e do tempo, com teores de 38,55 a 42,90 mg/kg em 2012, de 57,12 a 59,26 mg/kg em 2013 e de 80,06 a 83,00 mg/kg em 2014 (**Figuras 3H, 3I e 3J**). Houve variação quanto à dependência espacial para o teor foliar de B na amostragem em 2012, 2013 e 2014. Na amostragem do teor foliar em 2012 e 2014, houve forte dependência espacial, enquanto em 2013 foi fraca, com valores de alcance variando de 186,98 até 369,36 m (**Tabela 6**).

A distribuição dos teores foliares de P variou ao longo do espaço e do tempo, com teores de 1,30 a 1,34 g/kg em 2012, de 1,45 a 1,50 g/kg em 2013 e de 1,70 a 1,80 g/kg em 2014 (**Figuras 3K, 3L e 3M**). Houve variação quanto à dependência espacial para o teor foliar de P na amostragem em 2012, 2013 e 2014. Na amostragem do teor foliar em 2012 e 2013, houve forte dependência espacial, enquanto em 2014 foi moderada, com valores de alcance variando de 78,46 até 491,01 m (**Tabela 6**).

A distribuição dos teores foliares de K variou ao longo do espaço e do tempo. No ano de 2012, foi maior do lado Noroeste, enquanto no ano de 2013 e 2014 foi maior do lado Sudeste da área, variando nos pontos de maiores teores de 20,03 a 21,00 g/kg em 2012, de 20,29 a 22,80 g/kg em 2013 e de 21,36 a 22,70 g/kg em 2014 (**Figuras 3N, 3O e 3P**). Houve variação quanto à dependência espacial para o teor foliar de K na amostragem em 2012, 2013 e 2014. Na amostragem do teor foliar em 2012 e 2014, houve forte dependência espacial, enquanto em 2013 foi fraca, com valores de alcance variando de 99,49 até 355,90 m (**Tabela 6**).

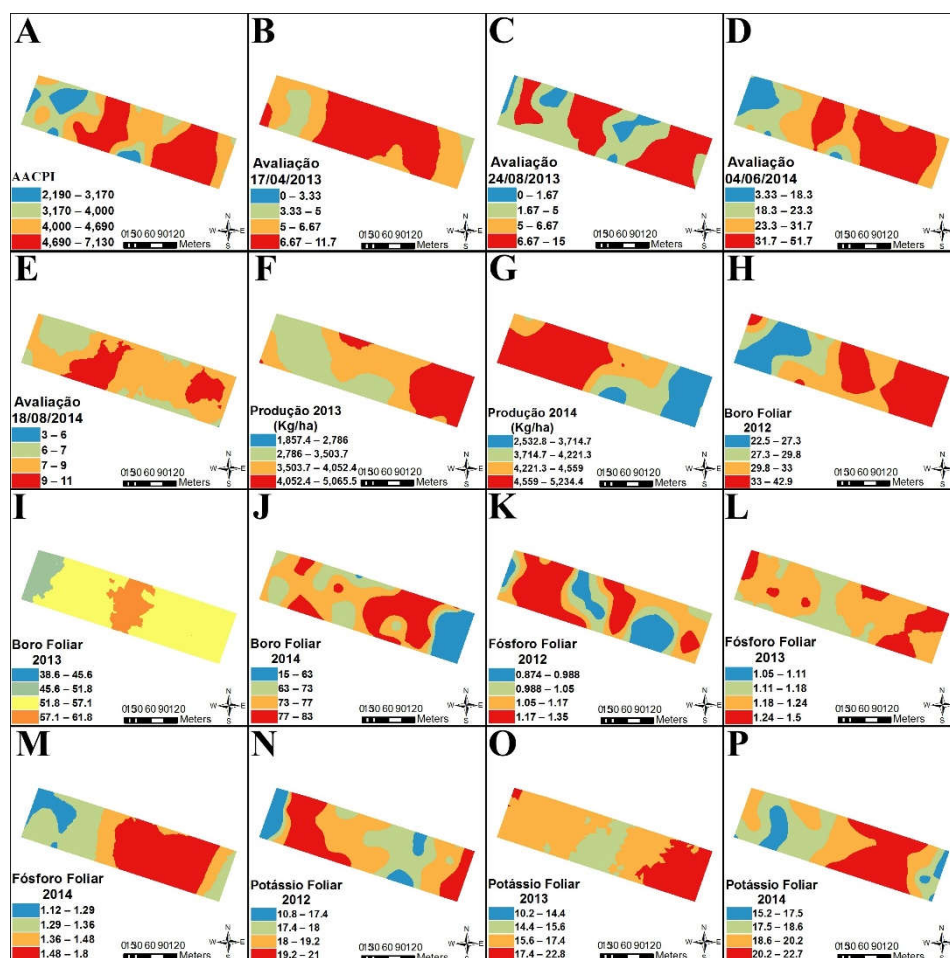


Figura 3 - Krigagem da AACPI (A), da incidência da cercosporiose (%) nas datas de 17/07/2013 (B), 24/08/2013 (C), 04/06/2014 (D) e 18/08/2014 (E), da produção (kg/ha) em 2013 (F) e 2014 (G), dos teores foliares de boro (mg/kg) nos anos de 2012 (H), 2013 (I) e 2014 (J), dos teores foliares de fósforo (g/kg) nos anos de 2012 (K), 2013 (L) e 2014 (M) e dos teores foliares de potássio (g/kg) nos anos de 2012 (N), 2013 (O) e 2014 (P) na área de gotejamento.

Na relação das variáveis analisadas para 2014 do lado Sudeste da área, foram observadas as menores produções, as maiores intensidades da cercosporiose e os maiores teores foliares de K, P e B.

3.2 Pivô Central

3.2.1 Curva de progresso da cercosporiose e correlação com as variáveis climáticas

A curva de progresso média da incidência da cercosporiose do cafeeiro variou durante o período avaliado (Agosto de 2012 a março de 2015) (**Figura 4**).

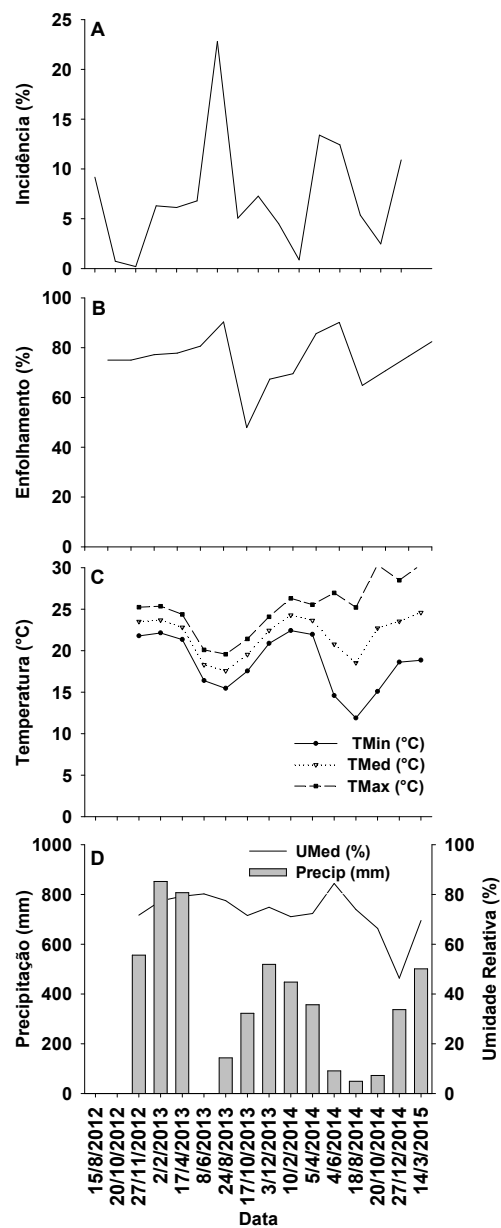


Figura 4 - Curva de progresso da incidência da cercosporiose do cafeeiro (A), enfolhamento (B) e das médias mensais das variáveis meteorológicas temperatura máxima (TMax), média (TMed) e mínima (TMin), umidade relativa média (UMed) e precipitação acumulada (Precip.) (C, D) coletadas externamente à copa entre o período de 15/08/2012 a 14/03/2015 na área de pivô central.

Durante o período avaliado, observaram-se picos da doença em 24/08/2013 (23%), 04/06/2014 (13%), 03/12/2013 (7%) 18/08/2014 (12%) e 14/03/2015 (11%) (**Figura 4**). No período de picos da doença, foram observadas as menores médias das temperaturas seguidas de queda no enfolhamento (**Figuras 4C e 4D**). Seguindo essa tendência observada na curva de progresso, houve correlação negativa da incidência da cercosporiose com a temperatura e com o molhamento foliar tanto interna quanto externa à copa, precipitação acumulada e velocidade média do vento na área externa à copa. Porém ocorreram correlações positivas da incidência da cercosporiose com a umidade relativa média, tanto interna quanto externa à copa (**Tabelas 7 e 8**). Diferentemente da área com sistema de irrigação por gotejamento, não houve diferença entre molhamento foliar interna e externa à copa.

Tabela 7 - Coeficientes de correlação entre a incidência da cercosporiose do cafeeiro e as variáveis meteorológicas ocorridas nos trinta dias anteriores à avaliação da cercosporiose do cafeeiro, no período entre ago./2012 e mar./2015 interna à copa.

	TempD (°C)	URD (%)	Mol. Foliar
Inc.	-0,46*	0,1*	-0,14*

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

Inc. = Incidência, **TempD** = Temperatura dentro da copa, **URD** = umidade relativa dentro da copa, **Mol. Foliar** = Molhamento foliar dentro da copa (varia de 0 a 15, em que 0 = seco e 15 = totalmente úmido).

Tabela 8 - Coeficientes de correlação entre a incidência da cercosporiose do cafeeiro e as variáveis meteorológicas ocorridas nos trinta dias anteriores à avaliação da cercosporiose do cafeeiro, no período entre ago./2012 e mar./2015 externa à copa.

	Temperaturas (°C)			Umidade Relativa (%)			Precip. (mm)	Mol. F. Ext. (hs)	Veloc. (m/s)
	TMin.	TMed.	TMax.	UMin.	UMed.	UMax.			
Inc.	-0,47*	-0,47*	-0,47*	0,38*	0,40*	0,45*	-0,18*	-0,55*	-0,40*

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

Inc. = Incidência, **TMin.** = temperatura mínima, **TMed.** = temperatura média, **TMax.** = temperatura máxima, **UMin.** = umidade mínima, **UMed.** = umidade média, **UMax.** = umidade máxima, **Precip** = Precipitação, **Mol. F. Ext.** = Molhamento foliar externa à copa e **Veloc.** = velocidade média do vento.

3.2.2 Correlações entre a cercosporiose e a fertilidade do solo e a nutrição de plantas

Houve correlação positiva da AACPI com as incidências em 17/04/2013, 24/08/2013, 04/06/2014 e 18/08/2014 e com a produção de 2013, e correlação negativa com a produção em 2014 (**Tabela 9 e 10**), influenciando a AACPI média (6829,18), devido a isso, foram as escolhidas para a análise geoestatística.

Tabela 9 - Coeficientes de correlação entre a área abaixo da curva do progresso da incidência (AACPI) e as datas de pico da doença no período entre ago./2012 e mar./2015.

	Incidência 17/04/2013	Incidência 24/08/2013	Incidência 04/06/2014	Incidência 18/08/2014
AACPI	0,55*	0,80*	0,28*	0,81*

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

Tabela 10 - Coeficientes de correlação da produção de 2013 e 2014 com a área abaixo da curva de progresso da doença para incidência (AACPI).

	Produção 2013 (Kg/ha)	Produção 2014 (Kg/ha)
AACPI	0,54*	-0,30*

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

Observou-se correlação significativa para o teor de B amostrado em 2012, 2013 e 2014. A correlação foi negativa entre o teor de B amostrado em 2012 e 2014 e o pico da incidência da cercosporiose em 17/04/2013, 24/08/2013 e 18/08/2014, e correlação positiva entre o teor amostrado em 2013 com o pico da incidência em 17/04/2013, 24/08/2013 e 18/08/2014 (**Tabela 11**). Para o teor foliar de P, observou-se correlação negativa entre o teor foliar de P amostrado em 2013 com o pico da incidência da cercosporiose em 24/08/2013 e 18/08/2014. Para o teor foliar de K, observou-se correlação positiva entre o teor foliar de K amostrado em 2012 com o pico da incidência da cercosporiose em 24/08/2013 e 18/08/2014 e correlação negativa do teor foliar de K amostrado em 2013 com os picos da incidência da cercosporiose em 24/08/2013 e 18/08/2014 (**Tabela 11**). Devido a isso, os teores foliares de B, P e K foram as escolhidas para a análise geoestatística.

Tabela 11 - Coeficientes de correlação da incidência nas datas de pico da doença com os teores foliares de B, P e K amostrados em 2012, 2013 e 2014.

	Incidência 17/04/2013	Incidência 24/08/2013	Incidência 04/06/2014	Incidência 18/08/2014
B (2012)	-0,43*	-0,57*	0,14 ^{ns}	-0,70*
B (2013)	0,31*	0,50*	0,004 ^{ns}	0,52*
B (2014)	-0,29*	-0,60*	0,07 ^{ns}	-0,56*
P (2012)	-0,22 ^{ns}	0,05 ^{ns}	-0,12 ^{ns}	0,01 ^{ns}
P (2013)	-0,02 ^{ns}	-0,55*	0,02 ^{ns}	-0,54*
P (2014)	0,03 ^{ns}	-0,02 ^{ns}	0,06 ^{ns}	-0,10 ^{ns}
K (2012)	-0,04 ^{ns}	0,32*	0,12 ^{ns}	0,32*
K (2013)	-0,002 ^{ns}	-0,51*	-0,10 ^{ns}	-0,54*
K (2014)	0,24 ^{ns}	0,06 ^{ns}	0,23 ^{ns}	0,09 ^{ns}

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

Para a amostragem de solo e de folhas, não se observou correlação entre a incidência da cercosporiose na data de amostragem, em outubro de 2012, 2013 e 2014, com teor foliar e a quantidade do solo de B, P e K (**Anexo – Tabelas VI a X**), enquanto ocorreu correlação nas datas de pico da incidência (**Tabela 8**).

3.2.3 Distribuição espacial da cercosporiose, da produção e da nutrição mineral das plantas

De acordo com a análise geoestatística, tanto para a AACPI quanto para as quatro datas selecionadas de incidência, ocorreram variações na intensidade da doença ao longo da área amostrada. Para essas variáveis, para a produção e os teores foliares de B, P e K, o melhor modelo ajustado foi o Exponencial (**Tabela 12**).

Tabela 12 – Parâmetros e coeficientes dos semivariogramas relativos à AACPI e nas quatro datas de incidência da cercosporiose, produção de 2013 e 2014 e referente às análises foliares de boro, fósforo e potássio em 2012, 2013 e 2014 na área de pivô central.

Variável	Modelo	Ao	Co	Co+C	Co/ Co+C	GDE
Cercosporiose						
AACPI	Exp.	552,7	638701	3723070	0,17	Forte
Inc. 17/04/2013	Exp.	552,7	9,04	20,67	0,44	Mod.
Inc. 24/08/2013	Exp.	552,7	21,24	130,66	0,16	Forte
Inc. 04/06/2014	Exp.	108,6	18,16	22,89	0,79	Fraco
Inc. 18/08/2014	Exp.	552,7	5,84	39,52	0,15	Forte
Produção						
Produção 2013	Exp.	524,2	249723	2106267,7	0,12	Forte
Produção 2014	Exp.	552,7	103583	217635,6	0,48	Mod.
Análises foliares						
Boro (2012)	Exp.	552,7	0	108,32	0	Forte
Boro (2013)	Exp.	524,2	2,63	54,58	0,05	Forte
Boro (2014)	Exp.	71,33	0	64,5	0	Forte
Fósforo (2012)	Exp.	281,4	0,001	0,011	0,09	Forte
Fósforo (2013)	Exp.	328,9	0	0,1	0	Forte
Fósforo (2014)	Exp.	334,2	0,001	0,002	0,5	Mod.
Potássio (2012)	Exp.	207,5	0,80	3,09	0,26	Mod.
Potássio (2013)	Exp.	243,2	0	6,87	0	Forte
Potássio (2014)	Exp.	88,4	0,65	1,69	0,39	Mod.

Ao = alcance, Co = efeito pepita, C+Co = patamar, Co/C+Co = razão indicativa do grau de dependência espacial (GDE, onde de 0 a 0,25 = forte; 0,25 a 0,75 = moderado e 0,75 a 1 = fraco), Inc. = Incidência, Exp. = exponencial, Lin. = linear, Esf. = esférico, Gau. = gaussiano e Mod. = moderado

Para a AACPI, houve forte grau de dependência espacial, com alcance de 552,72 m (**Tabela 12**). Foi observado um foco bem definido a Sudeste da área. Os maiores valores da AACPI, no centro do foco, variaram de 9.297,38 a 10.437,50, ou seja, mais de 56,53% de aumento em relação ao menor valor das áreas com menores intensidades da cercosporiose (**Figura 5A**).

Já para as avaliações da incidência, nas datas de 17/04/2013 e 04/06/2014, houve moderada e fraca dependência espacial respectivamente, enquanto nos dias 24/08/2013 e 18/08/2014 a dependência foi forte, com valores de alcance variando de 108,60 a 552,72 m (**Tabela 12**).

Embora a distribuição da incidência ao longo do espaço tenha variado entre as datas (**Figura 5B, 5C, 5D e 5E**), as áreas de maior intensidade, foram as mesmas, ou próximas, nos diferentes períodos, coincidindo com a AACPI (**Figuras 5A a 5E**).

A produção também variou ao longo da área nos dois anos de colheita, porém houve inversão das áreas de maior produção. Em 2013, foi o lado Sudeste, atingindo até 5.744,68 kg/ha ou 95,74 sc/ha e, em 2014, foi o lado Noroeste com até 1.957,52 kg/ha ou 32,63 sc/ha (**Figura 5F e 5G**).

Para a produção, houve variação quanto à dependência espacial nos dois anos de produção. Na produção de 2013, houve forte dependência espacial, enquanto para a produção de 2014, houve moderada dependência espacial com valores de alcance de 524,21 até 552,72 m.

Em relação a 2013, nas áreas de maiores produções, antes da colheita, na avaliação de 17/04/2013, foram observadas incidências da doença até 10,81%, enquanto após a colheita, em 24/08/2013, a incidência aumentou drasticamente, cerca de 416,3%, chegando ao máximo de 45%. Já em 2014, ficaram nítidas as maiores produções nas áreas onde ocorrem baixas incidências da doença, principalmente quando comparada à avaliação da doença em 18/08/2014, atingindo até 23% de doença.

Além disso, observaram-se nos mapas de krigagem, a variação na distribuição do B, P e K ao longo da área amostrada.

A distribuição dos teores foliares de B variou ao longo do espaço e do tempo. Nos anos de 2012 e 2014, foram maiores do lado Noroeste da área, enquanto em 2013, foi maior do lado Sudeste, variando nos pontos de maiores

teores de 43,61 a 46,80 mg/kg em 2012, de 49,67 a 53,94 mg/kg em 2013 e de 96,97 a 105,00 mg/kg em 2014 (**Figura 5H, 5I e 5J**). Para o teor foliar de B, não houve variação quanto à dependência espacial na amostragem em 2012, 2013 e 2014. Todas apresentaram forte dependência espacial, com valores de alcance variando de 71,33 até 552,72 m (**Tabela 12**).

A distribuição dos teores foliares de P variou ao longo do espaço e tempo. No ano de 2012 e 2013, foram maiores do lado Noroeste da área, variando nos pontos de maiores teores de 1,47 a 1,53 g/kg em 2012, de 1,55 a 1,71 g/kg em 2013 e de 1,37 a 1,41 g/kg em 2014 (**Figura 5K, 5L e 5M**). Houve variação quanto à dependência espacial para o teor foliar de P na amostragem em 2012, 2013 e 2014. Na amostragem do teor foliar em 2012 e 2013, houve forte dependência espacial, enquanto em 2014 foi moderada, com valores de alcance variando de 281,36 até 334,21 m (**Tabela 12**).

A distribuição dos teores foliares de K variou ao longo do espaço e do tempo. No ano de 2012, foi maior no Centro e do lado Sudeste da área, enquanto no ano de 2013, foi maior no lado Noroeste da área e, em 2014, foi maior do lado Sudeste da área com um foco no lado Noroeste, variando nos pontos de maiores teores de 16,81 a 17,40 g/kg em 2012, de 21,55 a 23,40 g/kg em 2013 e de 24,97 a 26,60 g/kg em 2014 (**Figura 5N, 5O e 5P**). Houve variação quanto à dependência espacial para o teor foliar de K na amostragem em 2012, 2013 e 2014. Na amostragem do teor foliar em 2012 e 2014, houve moderada dependência espacial, enquanto em 2013 foi forte, com valores de alcance variando de 88,44 até 243,23 m (**Tabela 12**).

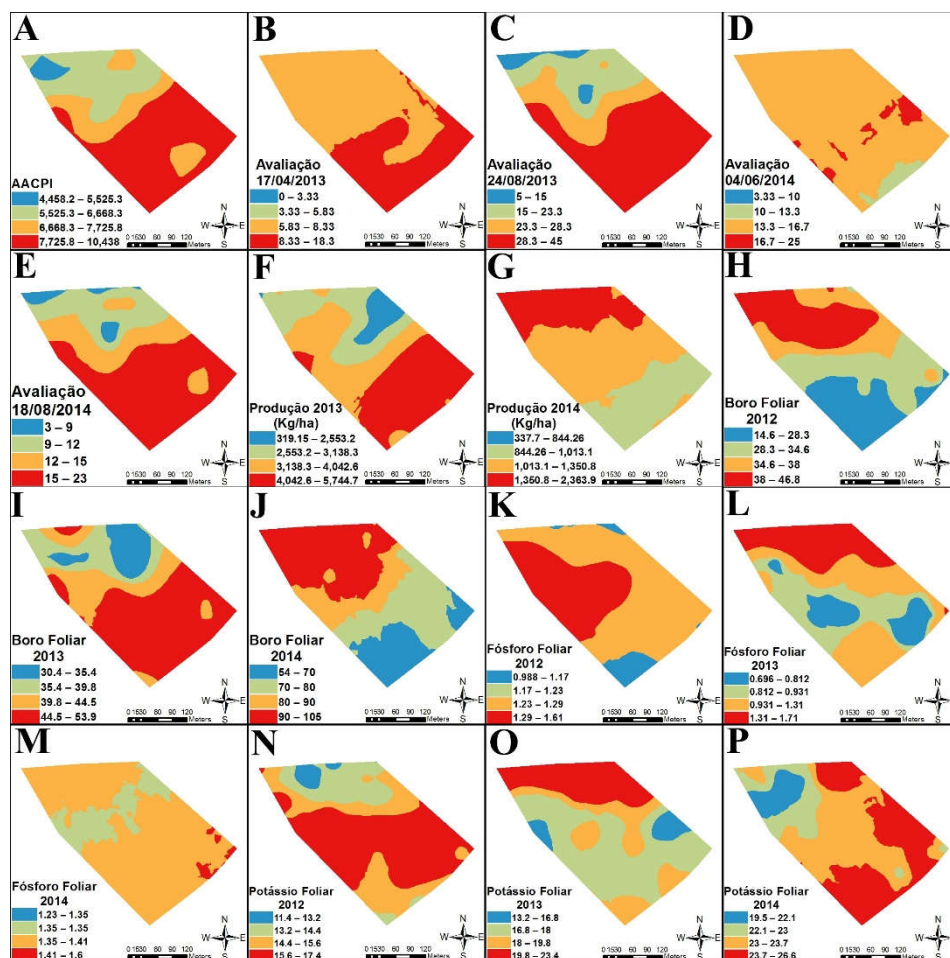


Figura 5 - Krigagem da AACPI (A), da incidência da cercosporiose (%) nas datas de 17/04/2013 (B), 24/08/2013 (C), 04/06/2014 (D) e 18/08/2014 (E), da produção (kg/ha) em 2013 (F) e 2014 (G), dos teores foliares de boro (mg/kg) nos anos de 2012 (H), 2013 (I) e 2014 (J), dos teores foliares de fósforo (g/kg) nos anos de 2012 (K), 2013 (L) e 2014 (M) e dos teores foliares de potássio (g/kg) nos anos de 2012 (N), 2013 (O) e 2014 (P) na área de gotejamento.

Na relação das variáveis analisadas para 2013 do lado Sudeste da área, foram observadas as maiores produções, as maiores intensidades da cercosporiose e os maiores teores foliares de B e menor teor de P e K. Na relação das variáveis analisadas para 2014 do lado Sudeste da área, foram

observadas as menores produções, as maiores intensidades da cercosporiose e os maiores teores foliares de P, K e menor teor de B.

4. DISCUSSÃO

4.1 Gotejamento

4.1.1 Curva de progresso da cercosporiose e correlação com as variáveis climáticas

Houve variação no progresso temporal da cercosporiose do cafeeiro durante o período avaliado. No ano de 2013, os picos da doença ocorreram em abril e agosto, e, em 2014, os picos ocorreram em junho e agosto. Esse fato ocorreu devido à alta produção em 2014 (4.156 kg/ha) que coincidiu com as maiores incidências da doença durante o período avaliado, levando à queda acentuada de folhas. Para Juliatti et al. (1998), o período de maior incidência da doença está entre maio e fim de julho, enquanto para Nunes et al. (2006), o maior pico da incidência da cercosporiose em área de gotejamento, no Cerrado Mineiro, ocorreu no mês de julho, e para Talamini et al. (2003), pontos de maiores incidência nas curvas de progresso da doença em diferentes parcelamentos da adubação com nitrogênio, potássio e fósforo por fertirrigação, ocorreram entre os meses de maio e setembro, ou seja, o comportamento da curva de progresso ao longo do tempo pode variar.

A partir do mês de abril de cada ano, houve redução das temperaturas médias (TMed) e mínimas (TMin) e precipitação acumulada (Precip.). Para *C. coffeicola*, à temperatura média do ar de 24 °C, obtém-se um aumento no crescimento micelial e esporulação entre 24 e 30 °C. Temperaturas abaixo de 12 °C e acima de 30 °C resultam em menores diâmetros das colônias

(Echandi, 1959). As temperaturas médias internas à copa, entre 19 e 23 °C na projeção das copas, e temperaturas mínima, média e máxima de 15, 17 e 19 °C externas à copa, favoreceram para a obtenção de alta incidência da cercosporiose. Ou seja, as temperaturas médias observadas foram abaixo do proposto por Echandi (1959). Além das temperaturas, para Santos et al. (2008), esses picos de incidência podem também ser resultados da elevação no progresso da doença durante o período de frutificação, quando os cafeeiros ficam mais propensos ao desequilíbrio nutricional, tornando as plantas mais suscetíveis à cercosporiose, como observado por Fernandez-Borrero et al. (1966).

Ainda em relação à curva de progresso, após a cercosporiose atingir seu valor máximo nos anos avaliados, houve queda acentuada da doença, ou seja, não houve período de estabilização na quantidade de folhas lesionadas. Essa queda do enfolhamento atingiu um mínimo de 68% em 24/08/2013 e 55% em 18/08/2014, semelhante à observada por Boldini (2001) para ferrugem, provavelmente devido aos efeitos conjuntos dessa doença com outros fatores fisiológicos e devido à alta produção. Dentre os fatores fisiológicos está a elevada produção de etileno nas plantas infectadas pela cercosporiose, conforme relatado por Valencia (1970). Segundo Santos et al. (2008), a desfolha, intensificada pela doença, além de reduzir a capacidade fotossintética, reduz o crescimento vegetativo e o tamanho dos frutos, durante o ciclo cafeeiro. Essa intensa queda de folhas, do ciclo anterior da doença, reduz o número de nós, danificando a formação dos botões florais na qual produziram café, reduzindo a capacidade produtiva do cafeeiro para a safra seguinte (Santos et al., 2008).

Com base nos resultados dos sensores colocados interna e externamente à copa, observou-se diferença entre os sensores de molhamento foliar e umidade nas estações climatológicas externa e interna à copa. Essa

diferença pode ter ocorrido, pois a estação instalada externa à copa está a 2,5 km de distância do experimento, o que não mostra a situação real na área de gotejamento. O sensor interno à copa, demonstra com maior precisão essas variáveis. Houve correlação positiva entre a incidência da cercosporiose com o molhamento foliar e correlação negativa com a umidade relativa interna à copa, ou seja, o microclima interno à copa é importante na intensidade da cercosporiose do cafeeiro. O microclima, especificamente o período de molhamento foliar promovido pelo orvalho, neblina, chuva ou irrigação e fatores relacionados à área foliar, sistema de plantio e arranjos das plantas no campo, são fatores importantes no progresso de doenças do cafeeiro (Avelino et al., 2004; Campanha et al., 2004; Madeira et al., 2002; Salgado et al., 2007; Sentelhas et al., 2005). Esses autores relataram a interferência desses fatores na interceptação e no balanço da radiação, assim como na temperatura, umidade e regime de molhamento na copa da planta. Molhamento foliar acima de 6 h até 48 h resultou em maior proporção acumulada de folhas com lesões (Fernandes, 1988), provavelmente devido à germinação de esporos. Dessa forma, condições de manejo, como a direção de plantio do cafeeiro, expondo sua face à radiação solar, podem alterar a intensidade da cercosporiose por modificar o período de molhamento e de sombreamento das folhas (Custódio et al., 2010), onde a radiação solar direta favorece a doença.

4.1.2 Correlações entre a cercosporiose e a produção, fertilidade do solo e a nutrição de plantas

A diferença da correlação entre AACPI e a produção pode estar relacionada com a produtividade. A maior produção ocorreu no ano de 2014 (4.156 kg/ha), em relação ao ano de 2013 (3.463 kg/ha), e, com maior intensidade da cercosporiose, no ano de 2013, em que a presença do

patógeno, mesmo uma pequena lesão, provoca a queda prematura da folha, e consequentemente, menor área foliar, menor produção de fotoassimilados e acúmulo de nutrientes para a produção do ano seguinte. Essa queda prematura está relacionada com a produção de etileno nas folhas, devido à ativação da toxina cercosporina pela intensidade luminosa (Daub & Ehrenshaft, 2000; Daub et al., 2005) levando a queda acentuada de folhas, observada nas datas de maior incidência da doença. Segundo Androcioli et al. (2012), no estudo de produtos alternativos no controle da cercosporiose e na ferrugem do cafeeiro, a produção no segundo ano de estudos, é reflexo de algum tratamento realizado no ano anterior possibilitando um maior enfolhamento do cafeeiro. A extração de nutrientes mais elevada das folhas para a alta carga pendente e a queda acentuada de folhas proporcionaram maior suscetibilidade dos cafeeiros à infecção por *C. coffeicola*, resultando em maior AACPI.

Os teores foliares de B, P e K apresentaram correlação com as datas de maior pico da incidência da cercosporiose. Para Freitas (2013), em estudo da Sigatoka-amarela, observou-se que os teores médios dos nutrientes no solo e nas plantas não apresentaram variação entre os grades e, de acordo com Silva et al. (2002), os nutrientes P, K e B apresentaram níveis abaixo dos indicados para o cultivo de banana da cultivar Prata-Anã. Uchôa et al. (2011), estudando a fertilidade do solo e a relação com Sigatoka-negra em bananal, no município de Registro, SP, também observou deficiência nos teores médios dos nutrientes, principalmente P, Ca, S, Mg e Zn.

4.1.3 Distribuição espacial da cercosporiose, da produção, da fertilidade do solo e da nutrição mineral das plantas

No estudo da análise espacial, observou-se que a AACPI apresentou forte grau de dependência espacial com modelo do semivariograma ajustado

para o exponencial, similar ao encontrado por Alves et al. (2009) para cercosporiose do cafeeiro. Freitas (2013), estudando a relação da sigatoka-amarela com a fertilidade do solo e nutrição mineral, verificou que todos os nutrientes apresentaram alguma dependência espacial e, para essas variáveis, conseguiu-se ajustar os modelos exponencial, esférico e gaussiano com variados valores de alcance, tendo o modelo exponencial prevalecido para a maioria das variáveis. No presente trabalho, como obtido por Freitas (2013), está de acordo com os trabalhos de Silva and Chaves (2001), na qual afirmam o modelo exponencial na qual mais se ajusta às propriedades da nutrição de plantas e fertilidade do solo. Alves et al. (2009) encontraram alcance variando de 46 a 57 m, para a cercosporiose do cafeeiro, enquanto no presente trabalho encontrou-se alcance de até 136,37 m. No trabalho de Alves (2006), caracterizando o progresso espaço-temporal da severidade da antracnose do feijoeiro *Colletotrichum lindemuthianum* (Sacc. & Magnus), também se verificou forte grau de dependência espacial entre plantas, nas épocas de avaliações 26, 33, 40, 47, 54 e 61 dias após o plantio. Resultados encontrados por Uchôa et al. (2011) também apresentaram forte grau de dependência espacial e alcance de 25,26 m, para severidade da Sigatoka-negra, por meio da geoestatística. Mas, Carvalho (2008), estudando as doenças de final de ciclo da soja, verificou moderada dependência espacial com alcance de 70 m. O alcance é importante, pois é uma distância dentro da qual as amostras se apresentam correlacionadas espacialmente, sua medida é importante no planejamento e na avaliação experimental, pois pode auxiliar na definição do procedimento de amostragem (Mcbratney & Webster, 1983).

A geoestatística é uma importante ferramenta de análise da distribuição espacial de doenças (Alves et al., 2006) e da variabilidade de características do solo (Carvalho, 2008, Carvalho et al., 2002), pois permite quantificar a magnitude e o grau de dependência espacial e descrever

detalhadamente a variabilidade espacial das variáveis estudadas por meio de um interpolador exato e preciso. Além disso, a geoestatística é capaz de determinar a acurácia e a confiabilidade dos experimentos, e mostrar diferenças entre tratamentos na qual não se constataria com o pressuposto de erros aleatórios, considerados na análise clássica de dados (Pontes, 2002).

No mapa de Krigagem da AACPI, observaram-se, na área à direita do mapa e no centro da área, dois focos da doença. Para a intensidade da cercosporiose observou-se correspondência e correlação entre a incidência nos dias 17/04/2013, 24/08/2014, 04/06/2014 e 18/08/2014 e a AACPI. Ainda com relação à AACPI, observou-se padrão de variabilidade espacial correspondente com o mapa de teor foliar de B, P e K em 2014 e padrão inverso com a produção de 2014, ou seja, na região onde se observou as menores produções à direita da área, obteve-se maiores intensidades da cercosporiose e os maiores teores foliares de B, P e K amostrados em junho de 2014, após a colheita. Mas Alves (2006), avaliando a cercosporiose em 06/2005, observou correspondência inversa da doença com o teor foliar de P. Segundo o mesmo autor, a nutrição mineral e as características físico-químicas podem ter influenciado na incidência da cercosporiose em folhas. Esse fato pode ser explicado, pois a cercosporiose tem sido problema em lavouras mal conduzidas, onde há deficiência e desequilíbrio nutricional (Garcia Junior et al., 2003; Pozza et al., 2000).

O desequilíbrio de nutrientes pode proporcionar maior intensidade das doenças e promover variações nos mecanismos bioquímicos e estruturais de defesa do hospedeiro (Balardin et al., 2006; Develash & Sugha, 1997; Rodrigues et al., 2003). Conforme relatam Borges et al. (1997), a absorção de P pode ser influenciada pelo suprimento de Mg, ou seja, baixo suprimento de Mg reduz a absorção de P pelas raízes. Assim, possivelmente, mesmo o P estando presente no solo, e este não sendo absorvido pelas plantas, já se caracteriza a

deficiência em dois nutrientes importantes para a cultura, na qual, resulta na maior severidade da doença nessa área. Enquanto para o K, doses elevadas, em solução nutritiva, aumentaram a incidência da cercosporiose em mudas de cafeeiros (Pozza et al., 2000). Este nutriente, de modo geral, aumenta a resistência às doenças, promove rápida recuperação dos tecidos danificados e aumento na espessura da cutícula e da parede celular, o que dificulta a penetração do patógeno e o progresso da infecção (Xu & Heath, 1998). Entretanto, o excesso de K inibe a absorção de outros cátions como Ca e Mg, em decorrência de competição pelos sítios de absorção ocupados pelo K, o que favorece a cercosporiose do cafeeiro, conforme Pozza et al. (2001) e Garcia Junior et al. (2003).

O cálcio é essencial para a integridade das células (Santos et al., 2008). O B, um micronutriente, foi pouco estudado na cercosporiose do cafeeiro. Uchôa et al. (2011) observaram padrão de variabilidade espacial inversa da severidade da Sigatoka-amarela com o teor foliar K e P em bananeiras e relação positiva com o cálcio no solo. De acordo com os mapas de krigagem realizado por Uchôa et al. (2011), gerados após o ajuste dos semivariogramas isotrópicos experimentais, observou-se o padrão agregado e a relação negativa dos nutrientes K e B com a severidade da sigatoka-negra. Áreas com níveis mais altos de K e B apresentaram menor severidade (Uchôa et al., 2011). Teores adequados de B e sua aplicação foram citados reduzindo doenças associadas a *Plasmodiophora brassicae* (Woron.) em crucíferas, *Fusarium solani* (Mar.) (Sacc.) em feijão, *Verticillium albo-atrum* (Reinke & Berth) em tomate e algodão, *Tobacco Mosaic Virus* em feijão, *Tomato Yellow Leaf Curl Virus* em tomate, *Gaeumanomyces graminis* (Sacc.), *Blumeria graminis* (D.C.) (Speer) em trigo (Graham & Webb, 1991; Marschner, 2012), *Heterobasidion annosum* (Fr.) em coníferas e *Eutypa lata* (Fr.) em vinícolas (Rolshausen & Gubler, 2005), enquanto seu excesso ou deficiência ainda não haviam sido

relatadas para cercosporiose. Segundo Ruaro et al. (2009), no estudo de doses de B e de nitrogênio (N) em diferentes níveis de pH no controle de *P. brassicae*, a severidade da doença foi maior com doses inferiores a 10 mg.kg⁻¹ e pH menor que 6. O B também reduziu o número de lesões de *Drechslera tritici-repentis* com aplicações foliares em trigo (Simoglou & Dordas, 2006). Mas a sua relação na geoestatística ainda não havia sido estudada para cercosporiose do cafeeiro. O B, neste trabalho, apresentou de fraca a forte dependência espacial com alcance de 186,98 m a 369,36 m.

4.2 Pivô Central

4.2.1 Curva de progresso da cercosporiose e correlação com as variáveis climáticas

Ocorreu variação no progresso temporal da cercosporiose do cafeeiro durante o período avaliado. No ano de 2013, os picos da doença ocorreram em abril e agosto, e, em 2014, ocorreram em junho e agosto. A diferença entre o comportamento do progresso médio da incidência da cercosporiose do cafeeiro durante o período avaliado pode ser explicada pela diferença na produção e no enfolhamento. A maior produção no ano de 2013 (3.189 kg/ha), em relação ao ano de 2014 (1.105 kg/ha), exigiu maior disponibilidade de nutrientes para os frutos, o que pode ter levado a um desequilíbrio nutricional (Menezes, 2001). Para Juliatti et al. (1998), o período de maior incidência da doença está entre maio e fim de julho, devido, provavelmente, às baixas temperaturas durante esse período, com resultados semelhantes observados em quatro safras no município de Lavras, MG, em lavoura irrigada por gotejamento (Boldini, 2001; Miranda, 2004; Talamini et al., 2003). Esses picos da doença coincidiram com o período de temperaturas

baixas. No mês de abril e agosto de 2013, as temperaturas médias externas à copa foram de 22,8 °C e 17,6 °C e interna à copa foram de 22,9 °C e 17,9 °C respectivamente, enquanto nos meses de junho e agosto de 2014, as temperaturas médias da área externa à copa foram 20,8 °C e 18,5 °C e na área interna à copa foram de 17,9 °C e 17,8 °C respectivamente. Para a cercosporiose do cafeeiro, à temperatura média do ar de 24 °C obtém-se um aumento no crescimento do fungo e na sua esporulação, com maior potencial de germinação de conídios *in vitro* entre 24 e 30 °C. Temperaturas abaixo de 12 °C e acima de 30 °C resultam em menores diâmetros das colônias (Echandi, 1959). A temperatura média internamente entre 17 e 23 °C, na projeção das copas, e temperaturas mínima, média e máxima de 15, 17 e 19 °C favoreceram para a obtenção de alta incidência da cercosporiose. Para Santos et al. (2008), esses picos de incidência também podem ser resultados da elevação no progresso da doença durante o período de frutificação, quando os cafeeiros ficam mais propensos ao desequilíbrio nutricional, devido a um maior dreno de nutrientes das folhas para o enchimento dos grãos, tornando as plantas mais suscetíveis à cercosporiose, como observado por Fernandez-Borrero et al. (1966).

Após a maior incidência média no ano 2013 e 2014, houve queda acentuada do enfolhamento, com um mínimo de 48% em 24/08/2013 e 71% em 18/08/2014, de forma semelhante à observada para ferrugem. Provavelmente pelo desequilíbrio nutricional das plantas em função da alta carga pendente de frutos, ocasionando a deficiência nutricional das folhas (Boldini, 2001). Além disso, pode ocorrer uma diluição da incidência da doença devido à queda prematura das folhas causada pela cercosporiose do cafeeiro e também pela colheita dos frutos, além do aumento da temperatura e precipitação (Pozza et al., 2001). O menor enfolhamento também pode ter ocorrido fisiologicamente, em detrimento à elevada produção de etileno nas

plantas infectadas pela cercosporiose, conforme relatado por Valencia (1970). Segundo Santos et al. (2008), a desfolha, intensificada pela doença, além de reduzir a capacidade fotossintética, reduz o crescimento vegetativo e o tamanho dos frutos durante o ciclo cafeeiro. Essa intensa queda de folhas, do ciclo anterior da doença, reduz o número de nós, danificando a formação dos botões florais na qual produziriam café reduzindo a capacidade produtiva do cafeeiro para a safra seguinte (Santos et al., 2008). Com isso a curva de progresso médio da cercosporiose chegou próximo a zero em outubro e novembro de 2012 juntamente com o aumento gradativo da precipitação e aumento das temperaturas e da umidade relativa, fato também observado por Talamini et al. (2003) e por Custódio et al. (2010), sendo observado em determinado período, a ausência da doença. Nessa época iniciam os lançamentos foliares, diluindo a quantidade de doença (Madden et al., 2007).

Os sensores externo e interno à copa apresentaram resultados semelhantes tanto na área externa como na interna à copa, diferentemente da área de gotejamento. Essa semelhança pode ter ocorrido, pois a estação instalada externa à copa está a 250 m de distância do experimento, mas observa-se que o coeficiente de correlação para as variáveis climáticas umidade relativa média e molhamento foliar interno à copa são menores em relação aos sensores da estação instalada externo à copa. Esse resultado pode ter influência do espaçamento e tamanho das plantas que conseqüentemente aumentou o sombreamento, o que favorece o microclima da área durante todo o ano. O microclima da copa das culturas é influenciado por fatores relacionados à área foliar, sistema de plantio, estrutura ou arranjo das plantas no campo (Campanha et al., 2004; Madeira et al., 2002; Sentelhas et al., 2005). Esses autores relataram a interferência desses fatores na interceptação e no balanço da radiação, assim como na temperatura, umidade e regime de molhamento na copa da planta. Dessa forma, condições de manejo, como a

direção de plantio do cafeeiro, expondo sua face à radiação solar, podem alterar a intensidade de doenças de parte aérea por modificar o período de molhamento e de sombreamento das folhas (Custódio et al., 2010), onde a radiação solar direta favorece a cercosporiose do cafeeiro.

Santos et al. (2004) encontraram evidências da associação entre deficiência hídrica e progresso da cercosporiose em cafeeiros irrigados por gotejamento. Observaram os maiores valores de incidência da cercosporiose em parcelas não irrigadas, enquanto nas parcelas irrigadas a incidência em folhas e frutos foram maiores quando se realizaram as menores lâminas de irrigação. 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 na qual receberam irrigação por pivô central, com lâmina única de água (100 mm/mês), quando comparado ao irrigado por gotejamento, malha perfurada (60, 80 e 100 mm/mês) ou ao tratamento não irrigado. Constatou-se que o molhamento foliar proporcionado pela irrigação por pivô central favoreceu o progresso das doenças, apresentando comportamento cíclico, com frequentes picos durante todo o período avaliado.

Devido ao molhamento foliar, ocorreu a formação de microclima favorável ao progresso da ferrugem, apresentando comportamento cíclico, com reinoculação frequente do patógeno (Custódio et al., 2010). Segundo os mesmos autores, o sistema por gotejamento não ocasiona o molhamento foliar, desfavorecendo a germinação de esporo de ferrugem do cafeeiro. Esse resultado também pode ser explicado neste trabalho, pois onde a irrigação era por aspersão, a umidade teve menor variação em relação à área com gotejamento. Além disso, observa-se na área com pivô central, que o espaçamento entre linhas de plantio é maior (4 m), em relação à área de

gotejamento (aproximadamente 3,6 m), o que aumenta a de radiação na copa do café, conseqüentemente, o ambiente fica mais favorável para o desenvolvimento da cercosporiose. Dessa forma, o sistema de irrigação utilizado também pode interferir no progresso da doença. Outros experimentos com sistema por gotejamento, o aumento de lâminas de irrigação aumentou a intensidade da ferrugem devido ao aumento na produtividade (Miranda et al., 2006) e diminuiu a de cercosporiose (Santos et al., 2004; Talamini et al., 2003). Isso ocorreu devido ao melhor transporte de nutrientes e constituição de barreiras de resistência para esse fungo necrotrófico. Entretanto a intensidade de doenças não depende somente do tipo do sistema de irrigação, mas da quantidade de água e de nutrientes fornecida, da textura, estrutura e fertilidade do solo, da nutrição da planta, da sua produtividade e da suscetibilidade à doença, entre outros (Pozza & Pozza, 2012).

4.2.2 Correlações entre a cercosporiose e a produção, fertilidade do solo e a nutrição de plantas

A diferença da correlação entre AACPI e a produção pode estar relacionada com a maior produção no ano de 2013 (3.189 kg/ha) em relação ao ano de 2014 (1.105 kg/ha) e com a maior intensidade da cercosporiose no ano de 2013, e na presença do patógeno, mesmo uma pequena lesão, provoca a queda prematura da folha, e conseqüentemente, menor área foliar, menor produção de fotoassimilados e acúmulo de nutrientes para a produção do ano seguinte. Essa queda prematura está relacionada com a produção de etileno nas folhas, devido à ativação da toxina cercosporina pela intensidade luminosa (Daub & Ehrenshaft, 2000; Daub et al., 2005) levando à queda acentuada de folhas, observada nas datas de maior incidência da doença.

Segundo Androcioli et al. (2012), no estudo de produtos alternativos no controle da cercosporiose e na ferrugem do cafeeiro, a produção no segundo ano de estudos, é reflexo de algum tratamento realizado no ano anterior que possibilitou um maior enfolhamento do cafeeiro. A extração de nutrientes mais elevada das folhas para a alta carga pendente e a queda acentuada de folhas proporcionou maior suscetibilidade dos cafeeiros à infecção por *C. coffeicola*, resultando em maior AACPI.

Os teores foliares de B, P e K apresentaram correlação com as datas de maior pico da incidência da cercosporiose. Freitas (2013), em estudo da Sigatoka-amarela, observou que os teores médios dos nutrientes no solo e nas plantas não apresentaram variação entre os grades e, de acordo com Silva et al. (2002), os nutrientes P, K e B apresentaram níveis abaixo dos indicados para o cultivo da cultivar Prata-Anã. Uchôa et al. (2011), estudando a fertilidade do solo e a relação com Sigatoka-negra em bananal, no município de Registro, SP, também observaram deficiência nos teores médios dos nutrientes, principalmente P, Ca, S, Mg e Zn.

4.2.3 Distribuição espacial da cercosporiose, da produção, da fertilidade do solo e da nutrição mineral das plantas

A AACPI apresentou forte grau de dependência espacial com modelo do semivariograma ajustado para o Exponencial, o mesmo encontrado por Alves et al. (2009) para cercosporiose. Freitas (2013), estudando a relação da Sigatoka-amarela com a fertilidade do solo e nutrição mineral, verificou alguma dependência espacial e, para essas variáveis, conseguiu ajustar os modelos exponencial, esférico e gaussiano com variados valores de alcance, tendo o modelo exponencial prevalecido para a maioria das variáveis. O presente trabalho, como o obtido por Freitas (2013), está de acordo com os de Silva and

Chaves (2001), nos quais afirmam que o modelo exponencial é o que mais se ajusta às propriedades da nutrição de plantas e fertilidade do solo. Alves et al. (2009) encontraram alcance variando de 46 a 57 m, para a cercosporiose do cafeeiro, enquanto no presente trabalho encontrou-se alcance de até 552,72 m. No trabalho de Alves (2006), caracterizando o progresso espaço-temporal da severidade da antracnose do feijoeiro *Colletotrichum lindemuthianum* (Sacc. & Magnus), também se verificou forte grau de dependência espacial entre plantas, nas épocas de avaliações 26, 33, 40, 47, 54 e 61 dias após o plantio. Resultados encontrados por Uchôa et al. (2011) também apresentaram forte grau de dependência espacial e alcance de 25,26 m, para severidade da Sigatoka-negra, por meio da geoestatística. Mas, Carvalho (2008), estudando as doenças de final de ciclo da soja, também verificou moderada dependência espacial, com alcance de 70 m. O alcance é importante, pois é uma distância dentro da qual as amostras se apresentam correlacionadas espacialmente, sua medida é importante no planejamento e na avaliação experimental, pois pode auxiliar na definição do procedimento de amostragem (Mcbratney & Webster, 1983). Para o mofo-branco em área irrigada por pivô central, Carvalho (2008) encontrou forte grau de dependência espacial com 111,19 m de alcance.

Após construir os mapas de krigagem, observou-se correspondência e correlação entre AACPI e a incidência nos dias 17/04/2013, 24/08/2014, 04/06/2014 e 18/08/2014, ou seja, as incidências nessas datas coincidiram com o mapa da AACPI, principalmente após a colheita, no mês de agosto. Esses mapas apresentaram maiores intensidades no lado Sudeste do mapa. Nesse mesmo lado também foram observados os maiores teores de B, e baixos teores de P e K. Enquanto para a produção em 2014, no lado Sudeste do mapa, observou-se baixa produção, maiores intensidades da cercosporiose da AACPI e na incidência na data 18/08/2014, após a colheita, e altos teores foliares de P, K e baixos teores de B.

A produção dos cafeeiros na área com sistema de irrigação por pivô central foi maior no ano de 2013, ano de alta carga pendente. A menor produtividade dos cafeeiros no lado Noroeste da área em 2013 para o sistema por pivô central deve ter contribuído para uma menor intensidade da cercosporiose nessa área, pois, quando a produtividade é menor, reduz-se o dreno para a frutificação ficando uma maior concentração de nutrientes nas folhas amostradas (Kiehl, 1985), o que eleva a produção no ano seguinte na mesma região do mapa. Com menor carga pendente, possivelmente houve uma maior resistência dos cafeeiros orgânicos à infecção por *C. coffeicola*. A extração de nutrientes mais elevada das folhas para a alta carga pendente no lado sudeste da área em 2013 propiciou maior suscetibilidade dos cafeeiros à infecção pelo patógeno, resultando em maior intensidade da cercosporiose nesse lado.

Esse fato ocorre onde há deficiência ou desequilíbrio nutricional (Garcia Junior et al., 2003; Pozza et al., 2000). Alves (2006), avaliando a cercosporiose em 06/2005, observou correspondência inversa da doença com o teor foliar de P e em 12/2006 verificou relação inversa da severidade da doença com o teor foliar de N, K, Ca e Mg. Segundo o mesmo autor, a nutrição mineral e as características físico-químicas pode ter influenciado na incidência da cercosporiose em folhas. Conforme relatam Borges et al. (1997), a absorção de P pode ser influenciada pelo suprimento de Mg, ou seja, baixo suprimento de Mg reduz a absorção de P pelas raízes. Assim, possivelmente, mesmo o P estando presente no solo e este não sendo absorvido pelas plantas, já se caracteriza a deficiência em dois nutrientes importantes para a cultura, resultando na maior severidade da doença nessa área. Uchôa et al. (2011) observaram padrão de variabilidade espacial inversa da severidade da Sigatoka-amarela com o teor foliar K e P em bananeiras e relação positiva com o cálcio no solo. De acordo com os mapas de krigagem realizado por Uchôa et al. (2011),

gerados após o ajuste dos semivariogramas isotrópicos experimentais, observou-se o padrão agregado e a relação negativa dos nutrientes K e B com a severidade da sigatoka-negra. Áreas com níveis mais altos de K e B apresentaram menor severidade (Uchôa et al., 2011).

Couto and Klamt (1999), estudando a distribuição espacial de micronutrientes em solo sob pivô central, observaram que houve deficiência onde 95% das amostras de B apresentaram valores abaixo do crítico, o que sugeriu que as práticas de aplicação de fertilizantes, apesar de valores elevados, não foram suficientes. Em solução nutritiva, Pozza et al. (2000), estudando a nutrição mineral de mudas de cafeeiro e seu efeito no progresso da cercosporiose, também observaram aumento no número total de lesões, número de lesões por folha e desfolha com a redução das doses de nitrogênio e aumento das doses de potássio. Segundo os autores, houve redução nos teores foliares de cálcio e cobre em detrimento da elevação das doses de potássio e consequentemente favorecimento da doença. De forma semelhante, Garcia Junior et al. (2003) constataram efeito significativo de interação quadrática da solução nutritiva com Ca e K sobre a área abaixo da curva de progresso da cercosporiose do cafeeiro, comprovando haver efeito na intensidade da doença de acordo com a variação desses nutrientes, e Zambolim (1999) afirmou que a cercosporiose é favorecida em lavouras com estado nutricional desequilibrado e em anos de maior produção. E Juliatti and Silva (2001) também mencionaram que os danos causados pela cercosporiose decorrem da redução da área foliar e da desfolha, principalmente em áreas com maior produção. Para Uchôa et al. (2011), o equilíbrio de nutrientes pode ser tão importante quanto o nível de um elemento específico, ressaltando a importância de condições adequadas de fertilidade do solo, com adequado fornecimento de nutrientes às plantas para se conseguir o controle de doenças.

Na cultura do cafeeiro, a fertilização das plantas mantendo níveis adequados de nutrientes minerais promove acréscimos de produtividade (Martinez et al., 2003; Silva et al., 2009), além de manter o enfolhamento e reduzir a incidência de doenças. Esses níveis adequados devem ser observados durante todo o ciclo da cultura, pois como visto nos mapas para os teores foliares, há uma demanda de nutrientes e conseqüentemente ocorre uma variação no teor foliar a cada ano, sendo necessária a reposição para não ocorrer qualquer efeito no incremento da doença.

5. CONCLUSÕES

As maiores intensidades da doença na área de gotejamento ocorreram na região Sudeste da área. Nessa mesma região em 2014, ocorreram as menores produções e maiores teores foliares de K, P e B.

As maiores intensidades da doença na área de pivô central ocorreram na região Sudeste da área. Nessa mesma região em 2014, ocorreram as menores produções e os maiores teores foliares de K, P e o menor teor foliar de B.

6. ANEXO

Tabela I - Coeficientes de correlação entre a análise de solo em out./2012 e avaliação da cercosporiose do cafeeiro, ocorrida no mês de coleta do solo e na avaliação da incidência anterior a coleta de solo na área de gotejamento.

	Avaliação 15/08/12	Avaliação 20/10/12
pH	-0,22 ^{ns}	0,24 ^{ns}
P	0,27 ^{ns}	-0,15 ^{ns}
K	-0,15 ^{ns}	-0,05 ^{ns}
Ca	0,34 ^{ns}	0,01 ^{ns}
Mg	0,16 ^{ns}	0,26 ^{ns}
Al	-0,16 ^{ns}	-0,11 ^{ns}
H + Al	-0,01 ^{ns}	0,04 ^{ns}
SB	0,31 ^{ns}	0,03 ^{ns}
t	0,31 ^{ns}	0,03 ^{ns}
T	0,35 ^{ns}	0,05 ^{ns}
V	0,16 ^{ns}	0,05 ^{ns}
m	-0,17 ^{ns}	-0,11 ^{ns}
M.O	0,17 ^{ns}	0,27 ^{ns}
P-rem	0,30 ^{ns}	0,08 ^{ns}
Zn	0,05 ^{ns}	0,08 ^{ns}
Fe	0,51 ^{ns}	-0,27 ^{ns}
Mn	0,18 ^{ns}	-0,11 ^{ns}
Cu	-0,04 ^{ns}	0,35 ^{ns}
B	0,06 ^{ns}	-0,35 ^{ns}
S	0,10 ^{ns}	0,02 ^{ns}

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

Devido à incidência zero na área de gotejamento na data de avaliação de 27/11/2012 não foi calculada a correlação entre a incidência da cercosporiose e a análise de solo amostrado em outubro de 2012.

Tabela II - Coeficientes de correlação entre a análise foliar em out./2012 e avaliação da cercosporiose do cafeeiro, ocorrida no mês de coleta de folhas e na avaliação da incidência anterior a coleta de folhas na área de gotejamento.

	Avaliação 15/08/12	Avaliação 20/10/12
Mn	-0,27 ^{ns}	-0,13 ^{ns}
Cu	0,18 ^{ns}	-0,16 ^{ns}
Fe	0,21 ^{ns}	-0,10 ^{ns}
Zn	0,19 ^{ns}	-0,13 ^{ns}
Mg	-0,03 ^{ns}	0,07 ^{ns}
Ca	-0,20 ^{ns}	-0,04 ^{ns}
N	-0,16 ^{ns}	-0,03 ^{ns}
P	0,20 ^{ns}	0,17 ^{ns}
K	0 ^{ns}	0,14 ^{ns}
S	-0,02 ^{ns}	-0,10 ^{ns}
B	0,34*	-0,01 ^{ns}

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

Tabela III - Coeficientes de correlação entre a análise de solo em out./2013 e avaliação da cercosporiose do cafeeiro, ocorrida no mês de coleta do solo e na avaliação da incidência anterior e posterior a coleta de solos na área de gotejamento.

	Avaliação 24/08/13	Avaliação 17/10/13	Avaliação 03/12/13
pH	0,18 ^{ns}	-0,06 ^{ns}	-0,38 ^{ns}
P	0,05 ^{ns}	0,25 ^{ns}	0,20 ^{ns}
K	-0,09 ^{ns}	0,38 ^{ns}	-0,27 ^{ns}
Ca	0,03 ^{ns}	-0,27 ^{ns}	0,14 ^{ns}
Mg	0,03 ^{ns}	-0,01 ^{ns}	-0,12 ^{ns}
Al	0,02 ^{ns}	-0,05 ^{ns}	0,21 ^{ns}
H + Al	0 ^{ns}	0,20 ^{ns}	0,0 ^{ns}
SB	0,03 ^{ns}	-0,17 ^{ns}	0,03 ^{ns}
t	0,01 ^{ns}	-0,18 ^{ns}	0,04 ^{ns}
T	0,03 ^{ns}	0,02 ^{ns}	0,0 ^{ns}
V	0,06 ^{ns}	-0,23 ^{ns}	-0,38 ^{ns}
m	-0,03 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,18 ^{ns}
M.O	0,19 ^{ns}	-0,10 ^{ns}	-0,02 ^{ns}
P-rem	0,24 ^{ns}	0 ^{ns}	-0,35 ^{ns}
Zn	0,02 ^{ns}	0 ^{ns}	-0,33 ^{ns}
Fe	0,06 ^{ns}	-0,04 ^{ns}	0,04 ^{ns}
Mn	0,05 ^{ns}	-0,26 ^{ns}	-0,33 ^{ns}
Cu	-0,32 ^{ns}	0,05 ^{ns}	-0,0 ^{ns}
B	-0,19 ^{ns}	0,08 ^{ns}	-0,12 ^{ns}
S	-0,09 ^{ns}	-0,20 ^{ns}	0,14 ^{ns}

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

Tabela IV - Coeficientes de correlação entre a análise foliar em out./2013 e avaliação da cercosporiose do cafeeiro, ocorrida no mês de coleta de folhas e na avaliação da incidência anterior e posterior a coleta de folhas na área de gotejamento.

	Avaliação 24/08/13	Avaliação 17/10/13	Avaliação 03/12/13
Mn	0,26 ^{ns}	-0,11 ^{ns}	0,12 ^{ns}
Cu	0,21 ^{ns}	-0,21 ^{ns}	0,07 ^{ns}
Fe	0,03 ^{ns}	-0,04 ^{ns}	0,02 ^{ns}
Zn	0,14 ^{ns}	-0,08 ^{ns}	-0,17 ^{ns}
Mg	0,18 ^{ns}	0,06 ^{ns}	-0,18 ^{ns}
Ca	0,10 ^{ns}	0,04 ^{ns}	-0,14 ^{ns}
N	-0,11 ^{ns}	-0,08 ^{ns}	0,18 ^{ns}
P	-0,21 ^{ns}	0,04 ^{ns}	0,05 ^{ns}
K	-0,07 ^{ns}	0,07 ^{ns}	0,08 ^{ns}
S	-0,24 ^{ns}	-0,17 ^{ns}	-0,20 ^{ns}
B	0,10 ^{ns}	-0,18 ^{ns}	-0,24 ^{ns}

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

Tabela V - Coeficientes de correlação entre a análise foliar em jun./2014 e avaliação da cercosporiose do cafeeiro, ocorrida no mês de coleta de folhas e na avaliação da incidência anterior e posterior a coleta de folhas na área de gotejamento.

	Avaliação 05/04/14	Avaliação 04/06/14	Avaliação 18/08/14
Mn	-0,23 ^{ns}	-0,28*	-0,26*
Cu	-0,44*	-0,42*	-0,10 ^{ns}
Fe	0,37*	0 ^{ns}	-0,09 ^{ns}
Zn	0,09 ^{ns}	-0,20 ^{ns}	-0,38*
Mg	0,15 ^{ns}	-0,02 ^{ns}	-0,30*
Ca	0,18 ^{ns}	0,11 ^{ns}	-0,19 ^{ns}
N	-0,13 ^{ns}	0,17 ^{ns}	0,35*
P	0,45*	0,53*	0,12 ^{ns}
K	0,31*	0,28*	0,09 ^{ns}
S	0,19 ^{ns}	0,28*	-0,01 ^{ns}
B	0,01 ^{ns}	-0,03 ^{ns}	-0,19 ^{ns}

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

Tabela VI - Coeficientes de correlação entre a análise de solo em out./2012 e avaliação da cercosporiose do cafeeiro, ocorrida no mês de coleta de solo e na avaliação da incidência anterior e posterior a coleta de solo na área de pivô central.

	Avaliação 15/08/12	Avaliação 20/10/12	Avaliação 27/11/12
pH	-0,19 ^{ns}	0,07 ^{ns}	-0,05 ^{ns}
P	0,05 ^{ns}	0,39 ^{ns}	-0,12 ^{ns}
K	-0,25 ^{ns}	-0,04 ^{ns}	0,16 ^{ns}
Ca	0,34 ^{ns}	-0,01 ^{ns}	-0,08 ^{ns}
Mg	-0,14 ^{ns}	-0,30 ^{ns}	0,06 ^{ns}
Al	-0,11 ^{ns}	0,15 ^{ns}	-0,10 ^{ns}
H + Al	0,01 ^{ns}	0,15 ^{ns}	0,02 ^{ns}
SB	0,18 ^{ns}	-0,03 ^{ns}	-0,02 ^{ns}
t	0,28 ^{ns}	-0,01 ^{ns}	-0,11 ^{ns}
T	0,29 ^{ns}	0,19 ^{ns}	0 ^{ns}
V	0,09 ^{ns}	0,19 ^{ns}	0 ^{ns}
m	-0,03 ^{ns}	0 ^{ns}	-0,12 ^{ns}
M.O	0,07 ^{ns}	-0,17 ^{ns}	0,1 ^{ns}
P-rem	0,12 ^{ns}	0,40 ^{ns}	-0,07 ^{ns}
Zn	0,38 ^{ns}	0,11 ^{ns}	0,11 ^{ns}
Fe	0,09 ^{ns}	0,03 ^{ns}	0,12 ^{ns}
Mn	0,32 ^{ns}	-0,03 ^{ns}	0,02 ^{ns}
Cu	-0,01 ^{ns}	-0,11 ^{ns}	0 ^{ns}
B	0,13 ^{ns}	0 ^{ns}	0,43 ^{ns}
S	0,07 ^{ns}	0,03 ^{ns}	-0,30 ^{ns}

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

Tabela VII - Coeficientes de correlação entre a análise foliar em out./2012 e avaliação da cercosporiose do cafeeiro, ocorrida no mês de coleta de folhas e na avaliação da incidência anterior e posterior a coleta de folhas na área de pivô central.

	Avaliação 15/08/12	Avaliação 20/10/12	Avaliação 27/11/12
Mn	0 ^{ns}	0,04 ^{ns}	-0,11 ^{ns}
Cu	0 ^{ns}	0,21 ^{ns}	-0,08 ^{ns}
Fe	0,27 ^{ns}	-0,10 ^{ns}	-0,06 ^{ns}
Zn	0,07 ^{ns}	-0,10 ^{ns}	-0,03 ^{ns}
Mg	0,07 ^{ns}	-0,18 ^{ns}	0,14 ^{ns}
Ca	0,26 ^{ns}	0,05 ^{ns}	-0,03 ^{ns}
N	0,08 ^{ns}	0,08 ^{ns}	-0,38*
P	0,23 ^{ns}	-0,04 ^{ns}	0,05 ^{ns}
K	0,30*	-0,21 ^{ns}	0,20 ^{ns}
S	0 ^{ns}	-0,05 ^{ns}	-0,12 ^{ns}
B	-0,02 ^{ns}	-0,06 ^{ns}	-0,03 ^{ns}

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

Tabela VIII - Coeficientes de correlação entre a análise de solo em out./2013 e avaliação da cercosporiose do cafeeiro, ocorrida no mês de coleta de solo e na avaliação da incidência anterior e posterior a coleta de solo na área de pivô central.

	Avaliação 24/08/13	Avaliação 17/10/13	Avaliação 03/12/13
Ph	-0,04 ^{ns}	-0,21 ^{ns}	-0,38 ^{ns}
P	0,21 ^{ns}	0,45 ^{ns}	0,01 ^{ns}
K	0,12 ^{ns}	-0,24 ^{ns}	-0,23 ^{ns}
Ca	-0,29 ^{ns}	0,06 ^{ns}	-0,29 ^{ns}
Mg	-0,04 ^{ns}	-0,34 ^{ns}	-0,42 ^{ns}
Al	0,37 ^{ns}	0,07 ^{ns}	0,45 ^{ns}
H + Al	-0,03 ^{ns}	0,32 ^{ns}	0,24 ^{ns}
SB	-0,34 ^{ns}	0 ^{ns}	-0,32 ^{ns}
T	-0,25 ^{ns}	0,05 ^{ns}	-0,18 ^{ns}
T	-0,03 ^{ns}	0,23 ^{ns}	0,25 ^{ns}
V	-0,11 ^{ns}	-0,18 ^{ns}	-0,39 ^{ns}
M	0,39 ^{ns}	0,13 ^{ns}	0,41 ^{ns}
M.O	0,10 ^{ns}	0,14 ^{ns}	0,11 ^{ns}
P-rem	-0,23 ^{ns}	0,03 ^{ns}	-0,09 ^{ns}
Zn	0,23 ^{ns}	0,29 ^{ns}	0,03 ^{ns}
Fe	0 ^{ns}	0,16 ^{ns}	0,06 ^{ns}
Mn	0,13 ^{ns}	0,37 ^{ns}	-0,18 ^{ns}
Cu	-0,06 ^{ns}	-0,14 ^{ns}	0,19 ^{ns}
B	0,16 ^{ns}	0,09 ^{ns}	-0,05 ^{ns}
S	0,15 ^{ns}	0,31 ^{ns}	-0,05 ^{ns}

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

Tabela IX - Coeficientes de correlação entre a análise foliar em out./2013 e avaliação da cercosporiose do cafeeiro, ocorrida no mês de coleta de folhas e na avaliação da incidência anterior e posterior a coleta de folhas na área de pivô central.

	Avaliação 24/08/13	Avaliação 17/10/13	Avaliação 03/12/13
Mn	0,64*	0,33*	0,36*
Cu	-0,05 ^{ns}	0,14 ^{ns}	-0,14 ^{ns}
Fe	0,30*	0,04 ^{ns}	0,01 ^{ns}
Zn	-0,59*	-0,14 ^{ns}	-0,43*
Mg	-0,38*	-0,16 ^{ns}	-0,17 ^{ns}
Ca	0,21 ^{ns}	0,22 ^{ns}	0,05 ^{ns}
N	0 ^{ns}	-0,03 ^{ns}	0,16 ^{ns}
P	-0,55*	-0,22 ^{ns}	-0,31*
K	-0,51*	-0,25 ^{ns}	-0,34*
S	-0,30*	-0,05 ^{ns}	-0,29*
B	0,50*	0,11 ^{ns}	0,23 ^{ns}

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

Tabela X - Coeficientes de correlação entre a análise foliar em jun./2014 e avaliação da cercosporiose do cafeeiro, ocorrida no mês de coleta de folhas e na avaliação da incidência anterior e posterior a coleta de folhas na área de pivô central.

	Avaliação 05/04/14	Avaliação 04/06/14	Avaliação 18/08/14
Mn	-0,08 ^{ns}	-0,04 ^{ns}	0,06 ^{ns}
Cu	-0,02 ^{ns}	-0,12 ^{ns}	0,035 ^{ns}
Fe	-0,05 ^{ns}	-0,02 ^{ns}	-0,30*
Zn	0,17 ^{ns}	0,03 ^{ns}	-0,15 ^{ns}
Mg	-0,23 ^{ns}	0 ^{ns}	-0,40*
Ca	-0,04 ^{ns}	0,05 ^{ns}	-0,14 ^{ns}
N	0,11 ^{ns}	-0,01 ^{ns}	0,13 ^{ns}
P	0,15 ^{ns}	0,06 ^{ns}	-0,10 ^{ns}
K	0,13 ^{ns}	0,23 ^{ns}	0,09 ^{ns}
S	-0,37*	0,17 ^{ns}	-0,28*
B	-0,31*	0,07 ^{ns}	-0,56*

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

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

1.

Alves, M.C.; Pozza, E.A.; Machado, J.C.; Araújo, D.V.; Talamini, V.; Oliveira, M.S. Geoestatística como metodologia para estudar a dinâmica espaço-temporal de doenças associadas a *Colletotrichum* spp. transmitidos por sementes. *Fitopatologia Brasileira* 31:557 - 563, 2006.

Alves, M.d.C. Geoestatística e sistemas 'fuzzy' na proteção de plantas. Universidade Federal de Lavras (Doutorado em Fitopatologia), Lavras, 2006.

Alves, M.d.C.; Silva, F.M.d.; Pozza, E.A.; Oliveira, M.S.d. Modeling spatial variability and pattern of rust and brown eye spot in coffee agroecosystem. *J Pest Sci* 82:137-148, 2009.

Androcioli, H.G.; Menezes Junior, A.d.O.; Hoshino, A.T.; Androcioli, L.G. Alternative products to control *Hemileia vastatrix* (Berkeley & Broome) and *Cercospora coffeicola* (Berkeley & Cooke) in organic coffee. *Coffee Science* 7:187-197, 2012.

Avelino, J.; Willocquet, L.; Savary, S. Effects of crop management patterns on coffee rust epidemics. *Plant Pathol* 53:541-547, 2004.

Balardin, R.S.; Dallagnol, L.J.; Didoné, H.T.; Navarini, L. Influência do fósforo e do potássio na severidade da ferrugem-da-soja *Phakopsora pachyrhizi*. *Fitopatologia Brasileira* 31:462-467, 2006.

Boldini, J.M. Epidemiologia da ferrugem e da cercosporiose em cafeeiro irrigado e fertirrigado. Dissertação. Universidade Federal de Lavras (Mestrado em Fitopatologia), Lavras, 2001.

Borges, A.L.; Oliveira, A.M.G.; Souza, L.S. Solos, nutrição e adubação. A cultura da banana aspectos técnicos, socioeconômicos e agroindustriais. Cruz das Almas:EMBRAPA/CNPMPF, pp. 197 - 260, 1997.

Browne, G.T.; De Tar, W.R.; Sanden, B.L.; Phene, C.J. Comparison of drip and sprinkler irrigation systems for applying metam sodium and managing stem rot on potato. *Plant Dis* 86:1211-1218, 2002.

Bryla, D.R.; Dickson, E.; Shenk, R.; Johnson, R.S.; Crisosto, C.H.; Trout, T.J. Influence of irrigation method and scheduling on patterns of soil and tree water status and Its relation to yield and fruit quality in peach. *Hortscience* 40:2118-2124, 2005.

Burrough, P.A.; McDonnell, R.A. Principles of geographical information systems. Oxford: Oxford University Press, 1998.

Cambardella, C.A.; Moorman, T.B.; Novak, J.M.; Parkin, T.B.; Karlen, D.L.; Turco, R.F. Field-scale variability of soil properties in Central Iowa soils. *Soil Science of America Journal* 58:1501 - 1511, 1994.

Campanha, M.M.; Santos, R.H.S.; Freitas, G.B.d.; Martinez, H.E.P.; Garcia, S.L.R.; Finger, F.L. Growth and yield of coffee plants in agroforestry and monoculture systems in Minas Gerais, Brazil. *Agroforest Syst* 63:75-82, 2004.

Campbell, C.L.; Madden, L.V. Introduction to plant disease epidemiology. New York: J. Wiley, 1990.

Carvalho, E.A. Modelagem geoestatística da distribuição espacial de doenças do feijoeiro comum e da soja e sua relação com a fertilidade do solo e nutrição mineral de plantas. Mestrado em Fitopatologia. Universidade Federal de Lavras (Mestrado em Fitopatologia), Lavras, 2008.

Carvalho, E.A.M. Progresso da ferrugem (*Hemileia vastatrix*) em diferentes sistemas de irrigação. Universidade Federal de Uberlândia (Monografia), Uberlândia, 1998.

Carvalho, J.R.P.; Silveira, P.M.D.; Vieira, S.R. Geoestatística na determinação da variabilidade espacial de características químicas do solo sob diferentes preparos. *Pesqui Agropecu Bras* 37:1151-1159, 2002.

Catarino, A.M. Intensidade da mancha de *Phoma* em mudas de cafeeiro em função de doses de cálcio e de potássio. Universidade Federal de Lavras (Mestrado em Fitopatologia), Lavras, 2011.

Couto, E.G.; Klamt, E. Variabilidade espacial de micronutrientes em solo sob pivô central no sul do Estado de Mato Grosso. *Pesqui Agropecu Bras* 34:2321-2329, 1999.

Custódio, A.A.d.P.; Pozza, E.A.; Custódio, A.A.d.P.; Souza, P.E.d.; Lima, L.A.; Lima, L.M.d. Intensidade da ferrugem e da cercosporiose em cafeeiro quanto à face de exposição das plantas. *Coffee Science* 5:214-228, 2010.

Datnoff, L.E.; Elmer, W.H.; Huber, D.M. *Mineral Nutrition and Plant Disease*. St. Paul: APS Press, 2007.

Daub, M.E.; Ehrenshaft, M. The photoactivated *Cercospora* toxin cercosporin: Contributions to plant disease and fundamental biology. *Annu Rev Phytopathol* 38:461, 2000.

Daub, M.E.; Herrero, S.; Chung, K.R. Photoactivated perylenequinone toxins in fungal pathogenesis of plants. *Fems Microbiol Lett* 252:197-206, 2005.

Develash, R.K.; Sugha, S.K. Factors affecting development of downy mildew (*Peronospora destructor*) of onion (*Allium cepa*). *Indian J Agr Sci* 67:71-74, 1997.

Echandi, E. La chasparria de los cafetos causada por el hongo *Cercospora coffeicola* Berk and Cooke. *Turrialba* 9:54-67, 1959.

Fernandes, A.L.T.; Santinato, R.; Drumond, L.C.D.; Oliveira, C.B.d. Avaliação do uso de fertilizantes organominerais e químicos na fertirrigação do cafeeiro irrigado por gotejamento. *Revista brasileira Engenharia Agrícola e Ambiental* 11:159-166, 2007.

Fernandes, C.D. Efeito de fatores do ambiente e da concentração de inóculo sobre a cercosporiose do cafeeiro. Universidade Federal de Viçosa (Dissertação de Mestrado), Viçosa, 1988.

Fernandez-Borrero, O.; Mestre, A.M.; Duque, S.L. Efecto de la fertilizacion en la incidencia de la mancha de hierro (*Cercospora coffeicola*) en frutos de café. *Cenicafé* 47:5-16, 1966.

Freitas, A.S.d. Sigatoka-amarela da bananeira em função da nutrição mineral em solução nutritiva e da distribuição espacial da fertilidade do solo. Dissertação. Universidade Federal de Lavras (Dissertação de Mestrado), Lavras, 2013.

Garcia Junior, D.; Pozza, E.A.; Pozza, A.A.A.; Souza, P.E.; Carvalho, J.G.; Balieiro, A.C. Incidência e severidade da cercosporiose-do-cafeeiro em função do suprimento de potássio e cálcio em solução nutritiva. *Fitopatologia Brasileira* 28:286-291, 2003.

Graham, D.R.; Webb, M.J. Micronutrients and disease resistance and tolerance in plants. In: Mortvedt, J.J.; Cox, F.R.; Shuman, L.M.; Welch, R.M., (eds.). Micronutrients in Agriculture, second ed. Madison, WI, USA: Soil Science Society of America, pp. 329-370, 1991.

Guimarães, P.T.G.; Garcia, A.W.R.; V., V.H.A.; Prezotti, L.C.; Viana, A.S.; Miguel, A.E.; Malavolta, E.; Corrêa, J.B.; Lopes, A.S.; Nogueira, F.D.; Monteiro, A.V.C.; Oliveira, J.A.d. Cafeeiro. In: Ribeiro, A.C.; Guimarães, P.T.G.; V., V.H.A., (eds.). Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais. 5. Aproximação. Viçosa: CFSEMG, Page 359, 1999.

Huerta, S.A. Par de folhas representativo del estado nutricional del cafeto. Cenicafé 14:11 - 127, 1963.

Jefferson, P.G.; Gossen, B.D. Irrigation increases *Verticillium* wilt incidence in a susceptible alfalfa cultivar. Plant Dis 86:588-592, 2002.

Juliatti, F.C.; Peixoto, A.S.; Santos, C.M.; Teodoro, R.E.F. Incidência e severidade de *Cercospora* sp. em café irrigado de Araguari-MG. Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil 2:223-225, 2000.

Juliatti, F.C.; Silva, A.D.; Peixoto, A.S.; Moreira, J.C.; Santos, C.M. Incidência da *Cercospora coffeicola* no café irrigado de Araguari-MG. Congresso Brasileiro De Pesquisas Cafeeiras 24:212-213, 1998.

Juliatti, F.C.; Silva, S.A. Manejo integrado de doenças na cafeicultura do cerrado. Uberlândia: UFU, 2001.

Kiehl, J.E. Fertilizantes orgânicos. São Paulo, 1985.

Ludy, R.L.; Powelson, M.L.; Hemphill Jr, D.D. Effect of sprinkler irrigation on bacterial soft rot and yield of broccoli. Plant Dis 81:614-618, 1997.

Madden, L.V.; Hughes, G.; van den Bosch, F. The study of plant disease epidemics. The American Phytopathological Society. Minnesota, 2007.

Madeira, A.C.; Kim, K.S.; Taylor, S.E.; Gleason, M.L. A simple cloud-based energy balance model to estimate dew. Agr Forest Meteorol 111:55-63, 2002.

Malavolta, E.; Vitti, G.C.; Oliveira, S.A. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa do Fosfato, 1997.

Marschner, H. Mineral Nutrition of Higher Plants. London: Academic, 2012.

Martinez, H.E.P.; Menezes, J.F.S.; Souza, R.B.; Venegas, V.H.A.; Guimarães, P.T.G. Faixas críticas de concentrações de nutrientes e avaliação do estado nutricional de cafeeiros em quatro regiões de Minas Gerais. *Pesqui Agropecu Bras* 38:703-713, 2003.

Mcbratney, A.B.; Webster, R. How many observations are needed for regional estimation of soil properties? *Soil Science* 134:177 - 183, 1983.

Menezes, J.F.S. Avaliação do estado nutricional de cafeeiros de Minas Gerais. Doutorado em Fitotecnia. Universidade Federal de Viçosa (Doutorado em Fitotecnia), Viçosa, MG, 2001.

Miranda, J.C. Intensidade de doenças foliares na cafeicultura fertirrigada. Dissertação. Universidade Federal de Lavras (Mestrado), Lavras, 2004.

Miranda, J.C.; Souza, P.E.d.; Pozza, E.A.; Faria, M.A.d.; Santos, F.d.S.; Barreto, S.d.S.; Silva, M.d.L.O.e. Intensidade da ferrugem em cafeeiro fertirrigado. *Cienc Agrotec* 30:885-891, 2006.

Morales, P.; García-Petillo, M.; Hayashi, R.; Puppo, L. Respuesta del duraznero a diferentes patrones de aplicación del agua. *Rev Bras Eng Agr Amb* 14:17-24, 2010.

Nunes, V.V.; Bonfim Neto, H.; Mantovani, E.C.; Zambolim, L.; Costa, L.C.; Souza, A.F.d.; Vicente, M.R. Incidência e severidade da cercosporiose em cafeeiros irrigados por gotejamento sobre diferentes lâminas de irrigação. In: *Simpósio Brasileiro de Pesquisa em Cafeicultura Irrigada, 2006, Araguari, ed. Araguari:MAPA, pp. 89-93, 2006.*

Pontes, J.M. A geoestatística: aplicação em experimentos de campo. Universidade Federal de Lavras (Mestrado em Estatística e Experimentação Agropecuária), Lavras, 2002.

Pozza, A.A.A.; Martinez, H.E.P.; Caixeta, S.L.; Cardoso, A.A.; Zambolim, L.; Pozza, E.A. Influência da nutrição mineral na intensidade da mancha-de-olho-pardo em mudas de cafeeiro. *Pesqui Agropecu Bras* 36:53-60, 2001.

Pozza, A.A.A.; Martinez, H.E.P.; Pozza, E.A.; Caixeta, S.L.; Zambolim, L. Intensidade da mancha de olho pardo em mudas de cafeeiro em função de doses de N e de K em solução nutritiva. *Summa Phytopathologica* 26:29-34, 2000.

Pozza, E.A.; Carvalho, V.L.; Chalfoun, S.M. Sintomas de injúrias causadas por doenças em cafeeiro. In: Guimaraes, R.J.; Mendes, A.N.G.; Baliza, D.P., (eds.). *Semiologia do cafeeiro: sintomas de desordens nutricionais, fitossanitárias e fisiológicas*. Lavras:UFLA, pp. 69 - 101, 2010.

Pozza, E.A.; Pozza, A.A.A. Relação entre nutrição e as doenças de plantas: implicações práticas. In: Machado, A.K.F.M.; Ogoshi, C.; Perina, F.J.; Silva, G.M.; Neento, H.S.; Costa, L.S.A.S.; Alencar, N.E.; Martins, S.J.; Terra, W.C.; Zancan, W.L.A., (eds.). *Avanços na otimização do uso de defensivos agrícolas no manejo fitossanitário*. São Carlos - SP:Suprema Gráfica e Editora, pp. 259-282, 2012.

Rodrigues, F.A.; Benhamou, N.; Datnoff, L.E.; Jones, J.B.; Bélanger, R.R. Ultrastructural and cytochemical aspects of silicon-mediated rice blast resistance. *Phytopathology* 93:535-546, 2003.

Rolshausen, P.E.; Gubler, W.D. Use of boron for the control of *Eutypa* dieback of grapevines. *Plant Dis* 89:734-738, 2005.

Rotem, J.; Palti, J. Irrigation and plant diseases. *Annu Rev Phytopathol* 7:267-288, 1969.

Ruaro, L.; Neto, V.d.C.L.; Júnior, P.J.R. Influência do boro, de fontes de nitrogênio e do pH do solo no controle de hémia das crucíferas causada por *Plasmodiophora brassicae*. *Trop Plant Pathol* 34:231-238, 2009.

Salgado, B.G.; Macedo, R.L.G.; Carvalho, V.L.d.; Salgado, M.; Venturin, N. Progresso da ferrugem e da cercosporiose do cafeeiro consorciado com grevilea, com ingazeiro e a pleno sol em Lavras - MG. *Cienc Agrotec* 31:1067-1074, 2007.

Santos, F.d.S.; Souza, P.E.; Pozza, E.A. Epidemiologia da cercosporiose em cafeeiro (*Coffea arabica* L.) fertirrigado. *Summa Phytopathologica* 30:31-37, 2004.

Santos, F.d.S.; Souza, P.E.d.; Pozza, E.A.; Miranda, J.C.; Carvalho, E.A.; Fernandes, L.H.M.; Pozza, A.A.A. Adubação orgânica, nutrição e progresso de cercosporiose e ferrugem-do-cafeeiro. *Pesqui Agropecu Bras* 43:783-791, 2008.

Santos, F.S.; Souza, P.E.; Pozza, E.A.; Miranda, J.C.; Barreto, S.S.; Theodoro, V.C. Progresso da cercosporiose (*Cercospora coffeicola* Berkeley & Cooke) em cafeeiros sob cultivos orgânico e convencional. *Summa Phytopathologica* 34:48-54, 2008.

SAS Institute. SAS language and procedures: usage. SAS Institute 2000, Cary,

Sentelhas, P.C.; Gillespie, T.J.; Blatzer, J.C.; Gleason, M.L.; Monteiro, J.E.B.A.; Pezzopane, J.R.M.; Pedro Junior, M.J. Spatial variability of leaf wetness duration in different crop canopies. *International Journal of Biometeorology* 49:363-370, 2005.

Shaner, G.; Finney, R.E. The effect of nitrogen fertilization on the expression of slow-mildewing resistance in Knox wheat. *Phytopathology* 67:1051 - 1056, 1977.

Silva, J.T.A.; Borges, A.L.; Dias, M.S.C.; Costa, E.L.; Prudêncio, J.M. Diagnóstico nutricional da bananeira prata anã para o norte de Minas. Belo Horizonte: EPAMIG, 2002.

Silva, P.C.M.; Chaves, L.H.G. Avaliação e variabilidade espacial de fósforo, potássio e matéria orgânica em Alissolos. *Rev Bras Eng Agr Amb* 5:431 - 436, 2001.

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* 17:337-345, 2009.

Simoglou, K.B.; Dordas, C. Effect of foliar applied boron, manganese and zinc on tan spot in winter durum wheat. *Crop Prot* 25:657-663, 2006.

Subbarao, K.V.; Hubbard, J.C.; Schulbach, K.F. Comparison of lettuce diseases and yield under subsurface drip and furrow irrigation. *Phytopathology* 87:877-883, 1997.

Taiz, L.; Zeiger, E. *Fisiologia Vegetal*. Artmed, 2013.

Talamini, V.; Pozza, E.A.; Souza, P.E.d.; Silva, A.M.d. Progresso da ferrugem e da cercosporiose em cafeeiro (*Coffea arabica* L.) com diferentes épocas de início e parcelamentos da fertirrigação. *Cienc Agrotec* 27:141-149, 2003.

Tang, L.; Li, Y.; Zhang, J. Physiological and yield responses of cotton under partial root zone irrigation. *Field Crop Res* 94:214-223, 2005.

Uchôa, C.d.N.; Pozza, E.A.; Pozza, A.A.A.; Moraes, W.d.S. Modelagem geoestatística da sigatoka-negra e sua relação com a fertilidade do solo. *Biosci J* 27:357 - 362, 2011.

Valencia, A.G. Estudio fisiológico de la defoliación causada por *Cercospora coffeicola* en el cafeto. *Cenicafé* 21:105-114, 1970.

Xiao, C.L.; Subbarao, K.V. Effects of irrigation and *Verticillium dahliae* on cauliflower root and shoot growth dynamics. *Phytopathology* 90:995-1004, 2000.

Xiao, C.L.; Subbarao, K.V.; Schulbach, K.F.; Koice, S.T. Effects of crop rotation and irrigation on *Verticillium dahliae* microsclerotia in soil and wilt in cauliflower. *Phytopathology* 88:1046-1055, 1998.

Xu, H.; Heath, M.C. Role of calcium in signal transduction during the hypersensitive response caused by basidiospore-derived infection of the cowpea rust fungus. *Plant Cell* 10:585-598, 1998.

Zambolim, L. I Encontro sobre produção de café com qualidade. Viçosa, 1999.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

- É de suma importância, no conhecimento da curva epidemiológica da cercosporiose, em plantios irrigados ou não, verificar a fertilidade do solo e o estado nutricional do cafeeiro em diferentes épocas do ano, conforme o estágio fenológico da cultura. Pois com esse conhecimento aliado a necessidade da planta, podemos verificar se realmente se há deficiência ou não e com isso, manter o equilíbrio nutricional para evitar epidemias;
- Esse trabalho demonstrou na qual o equilíbrio nutricional é importante para o manejo da cercosporiose no campo. Tanto para o uso do fósforo quanto a interação entre o boro e potássio e na análise espacial da cercosporiose, onde houve o desequilíbrio nutricional a intensidade da cercosporiose foi maior. Por isso, recomenda-se que pesquisas de campo, que avaliem a intensidade da cercosporiose do cafeeiro em cultivo irrigado ou com doses de fertilizantes, sejam conduzidas durante o maior número de safras possível.