



GABRIEL AVELAR DORNELAS

**MANCHA DE PHOMA DO CAFEIEIRO:
RELAÇÃO COM IRRIGAÇÃO, FERTILIDADE
DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS**

LAVRAS – MG

2017

GABRIEL AVELAR DORNELAS

**MANCHA DE PHOMA DO CAFEIEIRO: RELAÇÃO COM IRRIGAÇÃO,
FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS**

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

Prof. Dr. Paulo Estevão de Souza
Orientador

Prof. Dr. Edson Ampélio Pozza
Coorientador

LAVRAS – MG

2017

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

Dornelas, Gabriel Avelar.

Mancha de phoma do cafeeiro: relação com irrigação,
fertilidade do solo e nutrição de plantas/ Gabriel Avelar Dornelas. –
Lavras : UFLA, 2017.

168 p. : il.

Orientador: Paulo Estevão de Souza.

Coorientador: Edson Ampélio Pozza.

Tese(doutorado)–Universidade Federal de Lavras, 2017.

Bibliografia.

1. *Phoma tarda*. 2. Geoestatística. 3. Distribuição espacial. 4.
Cafeeiro. 5. Doenças. I. Souza, Paulo Estevão de. II. Pozza, Edson
Ampélio. III. Título.

GABRIEL AVELAR DORNELAS

**MANCHA DE PHOMA DO CAFEIEIRO: RELAÇÃO COM IRRIGAÇÃO,
FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS**

***PHOMA LEAF SPOT: RELATIONSHIP WITH IRRIGATION, SOIL
FERTILIZATION AND PLANT NUTRITION***

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

APROVADA em 24 de Março de 2017.

Prof. Dr. Edson Ampélio Pozza	UFLA
Prof. Dr. Marcelo de Carvalho Alves	UFLA
Prof. Dr. Rubens José Guimarães	UFLA
Dr. Hudson Teixeira	EPAMIG

Prof. Dr. Paulo Estevão de Souza
Orientador

**LAVRAS – MG
2017**

A Deus.

Aos meus pais, João Jacinto Dornelas e Clélia Borges Avelar Dornelas, por todo o incentivo, ensinamento, amor, compreensão, carinho, amizade e esforços dedicados à realização dos meus objetivos.

Às minhas irmãs queridas e grandes amigas, Cristina e Milena, aos familiares e amigos pelo incondicional apoio.

DEDICO.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a DEUS, por todo apoio e força nas horas difíceis.

Aos meus pais, minhas irmãs, minha namorada Natalia e toda a minha família pela força que sempre me deram e por sempre me apoiarem nas horas mais difíceis.

Ao Departamento de Fitopatologia da Universidade Federal de Lavras, pela oportunidade da realização deste curso de Pós-Graduação e pelos conhecimentos adquiridos.

Ao orientador, Prof. Paulo Estevão de Souza, pela orientação, amizade, respeito e confiança, prestados durante o desenvolvimento deste trabalho e de todo o curso.

Ao coorientador Dr. Edson Ampélio Pozza pela atenção, disponibilidade, confiança, orientação, crítica, incentivo, sugestões durante esta fase e pela contribuição imprescindível.

Aos amigos do Departamento de Fitopatologia (DFP) /UFLA, especialmente, ao Leandro Alvarenga, Paulo Victor Augusto Azevedo de Paula, Gabriel Vasco, Eugênio Chaves pela amizade e conversas inesquecíveis.

Aos estagiários, André Faustino Luz, Gustavo Heitor Gabriel e Otávio Stivanin Teixeira, pelo grande apoio durante a realização dos experimentos.

Agradeço à doutora Marília Goulart pela ajuda e pelos ensinamentos na realização dos resultados da minha tese.

Aos amigos República Zona Rural pela grande amizade, companheirismo.

Aos demais professores e funcionários do Departamento de Fitopatologia da UFLA.

RESUMO GERAL

A mancha de phoma (*Phoma tarda*) (MPC) é uma das principais doenças da cultura, por causar grandes prejuízos à cafeicultura, devido à queda de folhas, seca de ramos e mumificação de frutos, ocasionando perdas na produtividade em até 43%. O fornecimento de água e o equilíbrio nutricional podem afetar a ocorrência da doença. Pouco se conhece sobre a influência da nutrição mineral e da fertilidade do solo, ao longo do espaço no campo, principalmente, com relação ao K, P, B, Ca e Mn na intensidade da doença. Dessa forma, foram realizados 3 experimentos em campo, com intuito de verificar a epidemiologia e a forma de controle, para a MPC, em diferentes condições de nutrição mineral e a irrigação. No 1º experimento, objetivou-se avaliar a interação lâminas de água com diferentes doses de P_2O_5 (5 lâminas de irrigação x 4 doses de P_2O_5) na intensidade da MPC. Realizaram-se avaliações de MPC nas folhas em intervalos de 30 dias. A curva de progresso da média da incidência da MPC variou entre os 2 anos de avaliação. No 1º ano, o pico da doença ocorreu, em ago/2012 (4,68%), já no 2º ano, em set/2013 (9,79%). Houve interação entre doses de P_2O_5 e lâminas de irrigação, na incidência média da MPC, sendo observado o aumento da doença com o aumento das lâminas de irrigação até a lâmina de 1,0 do Kc e nas doses 80 a 240 $kg\ ha^{-1}$ de P_2O_5 . O modelo não linear exponencial foi ajustado nos 2 anos avaliados. No 2º experimento, objetivou-se avaliar a interação entre doses de K e de B (4 doses de K x 4 doses de B) na intensidade da MPC. Realizaram-se 24 avaliações da MPC, nas folhas do cafeeiro, em intervalos de 30 dias. A curva de progresso média da incidência da MPC variou entre os anos de avaliação. Os picos das incidências médias ocorreram em 16/06 e 12/09 de 2013 e 20/01 e 24/04 de 2014, respectivamente. No ano de 2014, a incidência foi menor, em comparação com o ano de 2013, mesmo com alta carga pendente, possivelmente, em razão das maiores temperaturas registradas e ocorrência fora do período normal da doença. Houve interação significativa entre as doses de K e de B com a AACPI e AACPE, na qual as doses entre 0 e 200 $kg\ ha^{-1}$ de K com doses entre 0 e 2 $kg\ ha^{-1}$ de B apresentaram os maiores níveis de doença e, nas doses 0 a 100 $kg\ ha^{-1}$ de K e 2 a 4 $kg\ ha^{-1}$ de B, foi observado o menor enfolhamento. No 3º ensaio, objetivou-se avaliar o padrão espacial da relação entre a MPC e a nutrição da planta em lavoura cafeeira irrigada por pivô central. Houve dependência espacial da MPC e dos teores de P, K, Ca, B e Mn. A maior incidência da MPC ocorreu nas áreas com os menores teores de P e K e os maiores teores de B.

Palavras-chave: *Phoma tarda*. Geoestatística. Distribuição especial. Cafeeiro. doenças.

ABSTRACT

The phoma leaf spot (*Phoma tarda*) (PLS) is one of the main diseases of the crop, causing crop damage, due to leaf fall, dry branches and mummification of fruits, causing losses in production of up to 43%. Water supply and nutritional balance may affect the occurrence of the disease; such supply can be done via drip or sprinkler irrigation. Nowadays, little is known about the influence of mineral nutrition and soil fertility along the field space, especially with respect to K, P, B, Ca and Mn in the intensity of the disease. Thus, 3 experiments were carried out in the field, in order to verify the epidemiology and form of control for the phoma leaf spot using mineral nutrition and irrigation. In the 1^o experiment, the objective was to evaluate the interaction of rates of water with different doses of P₂O₅ (5 irrigation depths x 4 doses of P₂O₅) in the intensity of the coffee phoma stain. PLS evaluations were performed at 30-day intervals. The progress curve of the mean incidence of the PLS varied between the two evaluation years. In the first year, the peak of the disease occurred in August / 2012 (4.68%), already in the 2nd year, in September / 2013 (9.79%). There was interaction between doses of P₂O₅ and irrigation depths in the mean incidence of the PLS, being observed the increase of the disease with the increase of the irrigation slides up to the blade of 1.0 of Kc and in doses 80 to 240 kg ha⁻¹ of P₂O₅. The exponential nonlinear model was adjusted in the 2 evaluated years. In the 2nd experiment, the interaction between K and B doses (4 K doses x 4 doses of B) on the intensity of the PLS. Twenty-four evaluations were performed on coffee leaves at 30-day intervals. The mean progress curve of the incidence of PLS varied between the 2 years of evaluation. The peaks of the average incidence occurred on 06/16 and 09/13 of 2013 and 20/01 and 04/24 of 2014, respectively. In the year 2014, the incidence was lower compared to the year 2013, even with high load pending, possibly due to the higher temperatures recorded and occurring outside the normal period of the disease. There was a significant interaction between K and B doses with AACPI and AACPE, in which doses between 0 and 200 kg ha⁻¹ of K at doses between 0 and 2 kg ha⁻¹ of B showed the highest levels of disease And in the doses 0 to 100 kg ha⁻¹ of K and 2 to 4 kg ha⁻¹ of B the smallest leafing was observed. The objective of this study was to evaluate the spatial pattern of the relationship between PLS and plant nutrition in coffee plow irrigated by central pivot. There was spatial dependence of the PLS and the contents of P, K, Ca, B and Mn. The highest incidence of the PLS occurred in the areas with the lowest P and K contents and the highest B contents.

Keywords: *Phoma tarda*. Geostatistics. Spacial distribution. Coffee tree. Diseases.

LISTA DE FIGURAS

SEGUNDA PARTE – ARTIGOS

ARTIGO 1

- Figura 1 - Curva de progresso da incidência média e amplitude da mancha de phoma (A), enfolhamento no cafeeiro (*C. arabica*) (B) e variáveis climáticas (C e D). Lavras, Minas Gerais.....59
- Figura 2 - Regressão exponencial da incidência da mancha de phoma (*Phoma tarda*) em cafeeiro, em função da data de avaliação, no 1º (A) e 2º ano (B). Lavras, Minas Gerais.....62
- Figura 3 - Área abaixo da curva de progresso da incidência (AACPI) da mancha de phoma do cafeeiro (A) e do enfolhamento (AACPE) (B) no 1º ano (2012/13) e no 2º ano (2013/14).63
- Figura 4 - Incidência (média \pm erro padrão) da mancha de phoma (*Phoma tarda*) em cafeeiro, em função da lâmina de irrigação (A), das doses de P₂O₅ (B) e da interação entre esses fatores (C). Lavras, Minas Gerais (jan/2012 a jan/2014).....64
- Figura 5 - Produtividade do cafeeiro no 1º (2012) e 2º ano (2013).....65
- Figura 6 - Análise de regressão dos níveis de P-resina em função das doses de P₂O₅ aplicadas via solo no cafeeiro (*C. arabica*). Lavras, Minas Gerais.....66

ARTIGO 2

- Figura 1 - Curvas de progresso da (A) incidência média e amplitude da mancha de phoma (*P. tarda*), (B) enfolhamento no cafeeiro (*C. arabica*) e (C, D) variáveis climáticas. Lavras, Minas Gerais.93
- Figura 2 - Área abaixo da curva de progresso da doença para incidência (AACPI) da mancha de phoma (*P. tarda*) do cafeeiro (*C.*

	<i>arabica</i>), no primeiro (novembro de 2012 a outubro de 2013) e no segundo ano (novembro de 2013 a outubro de 2014).	97
Figura 3 -	Área abaixo da curva de progresso do enfolhamento (AACPE) do cafeeiro (<i>C. arabica</i>), no primeiro (novembro de 2012 e outubro de 2013) e segundo ano (novembro de 2013 a outubro de 2014).	98
Figura 4 -	Produtividade do cafeeiro, em kg ha ⁻¹ , no primeiro (novembro de 2012 e outubro de 2013) e segundo ano (novembro de 2013 a outubro de 2014).	99
Figura 5 -	Média (± erro padrão) da área abaixo da curva de progresso de incidência (AACPI) da mancha de phoma (<i>P. tarda</i>) do cafeeiro (<i>C. arabica</i>), em função dos fatores de estudo: doses de (A) Boro e (B) Potássio e a (C) interação entre estes fatores. Lavras, Minas Gerais.....	100
Figura 6 -	Média (± erro padrão) da área abaixo da curva de progresso de enfolhamento (AACPE) do cafeeiro (<i>C. arabica</i>) em função dos fatores de estudo: doses de (A) Boro e (B) Potássio e a (C) interação entre estes fatores. Lavras, Minas Gerais.	101
Figura 7 -	Relação dos teores de Potássio (K) e Magnésio (Mg) na folha do cafeeiro (<i>C. arabica</i>) em função da adubação com K (kg ha ⁻¹). Lavras, Minas Gerais.	104
Figura 8 -	Análise de regressão dos teores foliares e no solo de Boro e Potássio em função das doses de (A) Boro e (B) Potássio em cultivo do cafeeiro (<i>C. arabica</i>). Lavras, Minas Gerais.	105

ARTIGO 3

Figura 1 -	Área experimental com os pontos amostrais georreferenciados em Carmo do Rio Claro – MG. Fonte: http://earth.google.com	127
------------	---	-----

Figura 2 - Curva de progresso da incidência da mancha de phoma do cafeeiro (A), enfolhamento (B) e das médias mensais das variáveis climáticas temperatura máxima (T-max), média (T-med) e mínima (T-min), umidade relativa média e precipitação acumulada (C, D) coletadas externamente à copa, entre o período de 15/08/2012 a 23/05/2015, na área de pivô central. *Dados não coletados. Carmo do Rio Claro, Minas Gerais.....	134
Figura 3 - Krigagem da incidência da mancha de phoma (%) nas datas 15/08/2012, 08/06/2013, 24/08/2013, 03/12/2013, 14/03/2015, 23/05/2015.....	140
Figura 4 - Krigagem da produtividade (kg ha ⁻¹) na área de gotejamento em 2013 e 2014.....	141
Figura 5 - Krigagem das análises foliares de fósforo (g kg ⁻¹) nos anos de 2012, 2013 e 2014.....	142
Figura 6 - Krigagem das análises foliares de potássio (g kg ⁻¹) nos anos de 2012, 2013 e 2014.....	143
Figura 7 - Krigagem das análises foliares de boro (mg kg ⁻¹) nos anos de 2012, 2013 e 2014.....	144
Figura 8 - Krigagem das análises foliares de cálcio (g kg ⁻¹) nos anos de 2012, 2013 e 2014.....	145
Figura 9 - Krigagem das análises foliares de manganês (mg kg ⁻¹) nos anos de 2012, 2013 e 2014.....	145

LISTA DE TABELAS

SEGUNDA PARTE – ARTIGOS

ARTIGO 1

- Tabela 1 - Análise de correlação ($P < 0,05$) entre os fatores climáticos e a incidência da mancha de phoma (Phoma tarda) em cafeeiro, nos períodos de jan/2012 a jan/2013 (1º ano) e fev/2013 a jan/2014 (2º ano). Lavras, Minas Gerais.61
- Tabela 2 - Ajuste de modelos não lineares do progresso de incidência da mancha de phoma (Phoma tarda.) em cafeeiro, em dois anos, maio/2012 a ago/2012 (1º ano) e de maio/2013 a set/2014 (2º ano), em Lavras, Minas Gerais.62

ARTIGO 2

- Tabela 1 - Análise de correlação de Pearson ($\alpha = 0.05$) entre variáveis climáticas (média 14 dias antes da avaliação) e incidência da mancha de phoma (*P. tarda*) do cafeeiro (*C. arabica*) em Lavras, Minas Gerais.94
- Tabela 2 - Three-way ANOVA ($\alpha = 0.05$) indicando os efeitos dos fatores de estudo doses de B e K e suas interações na incidência da mancha de phoma (*P. tarda*), enfolhamento, AACPI e AACPE e produtividade do cafeeiro (*C. arabica*). Lavras, Minas Gerais.96
- Tabela 3 - Análise de correlação de Pearson ($\alpha = 0.05$) entre doses de Boro e Potássio com a incidência da mancha de phoma (*P. tarda*), enfolhamento, AACPI, AACPE e produtividade do cafeeiro (*C. arabica*), em dois anos. Lavras, Minas Gerais.103

Tabela 4 - Análise de correlação de Pearson ($\alpha= 0.05$) entre a produtividade do cafeeiro (<i>C. arabica</i>) e a AACPI da mancha de phoma (<i>P. tarda</i>) e AACPE. Lavras, Minas Gerais.....	104
--	-----

ARTIGO 3

Tabela 1 - Coeficientes de correlação entre a incidência da mancha de phoma do cafeeiro e as variáveis climatológicas, ocorridas aos quatorze dias anteriores à avaliação da doença, no período entre ago/2012 e jun/2015, na parte externa e interna à copa do cafeeiro. Carmo do Rio Claro, Minas Gerais.	135
Tabela 2 - Análise de correlação de Pearson ($\alpha= 0.05$) entre a produtividade do cafeeiro (<i>C. arabica</i>) e as áreas abaixo da curva de progresso de incidência (AACPI) da mancha de phoma e enfolhamento (AACPE). Carmo do Rio Claro, Minas Gerais.....	136
Tabela 3 - Análise de correlação de Pearson ($\alpha= 0.05$) dos nutrientes foliares e picos de incidência da mancha de phoma (<i>P. tarda</i>) no cafeeiro. Carmo do Rio Claro, Minas Gerais.....	136
Tabela 4 - Análise de correlação de Pearson ($\alpha= 0.05$) dos nutrientes foliares e áreas abaixo da curva de progresso de incidência (AACPI) da mancha de phoma (<i>P. tarda</i>) e enfolhamento (AACPE) no cafeeiro. Carmo do Rio Claro, Minas Gerais.	138
Tabela 5 - Variáveis e coeficientes dos semivariogramas relativos às avaliações de incidência da mancha de phoma, produtividade e às análises foliares de fósforo, potássio, boro, cálcio e manganês.	139

SUMÁRIO

	PRIMEIRA PARTE	15
1	INTRODUÇÃO	15
2	REFERENCIAL TEÓRICO	19
2.1	<i>Coffea arabica</i> Lineu, 1753	19
2.2	Mancha de phoma do cafeeiro: etiologia, sintomatologia e epidemiologia	20
2.3	Nutrição mineral de plantas	21
2.4	Irrigação na cultura do cafeeiro	28
2.5	Geostatística	32
	REFERÊNCIAS	37
	SEGUNDA PARTE - ARTIGOS	47
	ARTIGO 1 - INTERAÇÃO ENTRE LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO E DOSES DE FÓSFORO (P) NA MANCHA DE PHOMA DO CAFEIRO	47
1	INTRODUÇÃO	49
2	MATERIAL E MÉTODOS	53
2.1	Local do experimento	53
2.2	Delineamento experimental	53
2.3	Avaliações da doença e do enfolhamento	55
2.4	Fertilidade do solo e nutrição das plantas	56
2.5	Colheita	57
2.6	Análise dos dados	57
3	RESULTADOS	59
4	DISCUSSÃO	67
5	CONCLUSÕES	73
	REFERÊNCIAS	75
	ARTIGO 2 - INTERAÇÃO DE DOSES DE POTÁSSIO (K) E DE BORO (B) NA INTENSIDADE DA MANCHA DE PHOMA DO CAFEIRO	81
1	INTRODUÇÃO	83
2	MATERIAL E MÉTODOS	87
3	RESULTADOS	93
4	DISCUSSÃO	107
5	CONCLUSÕES	115
	REFERÊNCIAS S	117
	ARTIGO 3 - DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL E TEMPORAL DA MANCHA DE PHOMA EM CAFEIRO IRRIGADO POR PIVÔ CENTRAL	121
1	INTRODUÇÃO	123

2	MATERIAL E MÉTODOS	127
3	RESULTADOS	133
4	DISCUSSÃO.....	147
5	CONCLUSÕES.....	155
	REFERÊNCIAS.....	157

PRIMEIRA PARTE

1 INTRODUÇÃO

Maior produtor mundial de café, o Brasil tem a safra 2016/2017 estimada entre 43,6 e 47,51 milhões de sacas (60kg) do produto beneficiado produzida em 1,9 milhões de hectares. Desse total, 56,4% são produzidas em Minas Gerais, principalmente, na região Sul do Estado (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO, 2017). Além disso, o país é o maior mercado consumidor, sendo o café uma cultura de grande importância socioeconômica ao país (AGRIANUAL, 2015). Dentre os principais fatores responsáveis por reduzir a produtividade do cafeeiro e a qualidade do café citam-se as doenças, especialmente, a ferrugem (*Hemileia vastatrix* Berkeley & Broome), a cercosporiose (*Cercospora coffeicola* Berkeley & Broome) e a mancha de phoma (*Phoma tarda* Stewart) (POZZA; CARVALHO; CHALFOUN, 2010).

Doenças na cafeicultura são favorecidas por vários fatores do ambiente. Entre eles, o tipo de sistema de plantio, o período de molhamento foliar e a intensidade luminosa, a textura e a fertilidade do solo, além da nutrição mineral do cafeeiro (LIMA et al., 2010; LORENZETTI et al., 2015; SANTOS et al., 2014). A interação desses fatores pode resultar em maior ou menor intensidade da doença, variando, principalmente, em função da intervenção do homem em fatores como a fertilidade do solo e o manejo da água via irrigação, resultando em mudanças na nutrição de plantas (POZZA; POZZA, 2003, 2012).

No manejo da água, o método e o sistema de irrigação utilizados, por aspersão ou gotejamento, também, podem influenciar o progresso de doenças. Quando irrigada, a cultura fica submetida ao microclima diferenciado, interferindo na umidade relativa do ar, no período de molhamento foliar e na

temperatura. Isso resulta em características peculiares do cultivo, em relação aos aspectos fitotécnicos, fisiológicos e fitossanitários (CUSTÓDIO et al., 2009; MEIRELES; CARVALHO; MORAES, 2001), conseqüentemente, afetando a intensidade de doenças no cafeeiro, como constatado em vários trabalhos (CUSTÓDIO et al., 2010; PAIVA et al., 2011; SANTOS et al., 2014; SANTOS; SOUZA; POZZA, 2004; TALAMINI et al., 2001).

Além do manejo da água, a fertilidade do solo e a nutrição de plantas estão diretamente relacionadas à intensidade de doenças, sendo esses fatores ambientais passíveis de serem manipulados, para incrementar as barreiras de resistência, principalmente, as horizontais, ou seja, se realizadas de forma correta e equilibrada, podem ser utilizadas como complemento ou método alternativo na redução e no controle de doenças (DATNOFF; ELMER; HUBER, 2007; MARSCHNER, 2012; POZZA et al., 2000; POZZA; POZZA, 2012).

Dentre os nutrientes essenciais para qualquer cultura vegetal crescer e desenvolver, destacam-se o potássio (K), o fósforo (P) e o boro (B). Nas lavouras cafeeiras, o fornecimento de adubos de cobertura em aplicações localizadas e em grandes quantidades resulta em grande desequilíbrio do K. Na planta, o K é responsável por regulação osmótica, abertura de estômatos e transporte de carboidratos solúveis. Já o P, devido à sua capacidade de adsorver na argila presente nos solos e baixa mobilidade, apresenta, em geral, deficiência na maioria dos solos brasileiros (FAQUIN, 2005). Além disso, após o plantio na formação e produção da lavoura, este mineral é fornecido anualmente apenas na primeira aplicação de cobertura (GUIMARÃES et al., 1999) em grande parte das lavouras cafeeiras do Brasil. O P é o componente integral de compostos importantes das células vegetais (fosfolipídios) e de nucleotídeos utilizados, no metabolismo energético das plantas (ATP) e nos nucleicos, o DNA e RNA. No caso dos micronutrientes, teores baixos, também, são encontrados nos solos brasileiros. (BRAGANÇA et al., 2007). O B é importante, na formação da

parede celular, para a divisão e o alongamento das células. Na ausência de boro, o desenvolvimento do tecido meristemático é paralisado, com morte da gema apical (CARVALHO et al., 2010; TAIZ; ZEIGER, 2013), devendo ser aplicado na forma e quantidade correta.

Mesmo com o conhecimento dos fatores ambientais e suas implicações no progresso de doenças, o uso de metodologias capazes de otimizar a aplicação de insumos, como fungicidas e fertilizantes e reduzir custos torna-se cada vez mais necessário. A agricultura de precisão é uma das metodologias passíveis de cumprir essas premissas, capaz de agregar tecnologias para monitorar a atividade agrícola com maior eficiência, com base no manejo diferenciado. Portanto novas metodologias de apoio à decisão, como análises de sistemas de informação geográfica, sensoriamento remoto e a geoestatística, podem auxiliar a identificar as causas e os efeitos da variação do ambiente. Principalmente, ao longo da área de plantio e seu efeito no hospedeiro, no patógeno e na doença resultante dessa interação (BURROUGH; MCDONNELL, 1998; DIGGLE; RIBEIRO JÚNIOR, 2007; ISSAAKS; SRIVASTAVA, 1989; JENSEN, 2007) e, dessa forma, fornecer os locais ou reboleiras de maior incidência para a tomada de decisão ou o controle diferenciado no espaço. A geoestatística tem representado de forma satisfatória a existência de dependência espacial de doenças e sua relação com a nutrição de plantas em grandes áreas (ALVES, et al. 2009; CARVALHO, 2008; PINHEIRO, 2007).

Justifica-se, assim, obter informações sobre a irrigação, a nutrição mineral e a sua interação, por meio de sistemas de informação geográfica, 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 o manejo eficaz da água de irrigação e da nutrição, com reflexos na redução de custos, impactos ambientais e maior sustentabilidade do agroecossistema.

Desta forma, os objetivos deste trabalho foram:

- a) Avaliar a incidência da mancha de phoma na formação do cafeeiro fertirrigado com diferentes doses de fósforo e lâminas de irrigação;
- b) Estudar o progresso da mancha de phoma do cafeeiro adubado com diferentes doses de potássio e de boro via solo no campo;
- c) Descrever a epidemia da mancha de phoma em cafeeiro irrigado por pivô central, ao longo do tempo e do espaço, empregando o sistema de informação geográfica e a geoestatística.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 *Coffea arabica* Lineu, 1753

O cafeeiro pertence à família rubiácea, sendo o subgrupo *Erythrocoffea*, do grupo *Eucoffea*, o de maior importância econômica, por compreender as espécies *Coffea canephora* Pierre ex Froehner (café robusta) e *Coffea arabica* Lineu (café arábica). Estas espécies possuem cafeína e são as mais cultivadas em todo o mundo (CARVALHO, 1952; KRUG; MENDES; CARVALHO, 1939), sendo responsáveis por cerca de 99% de toda a área plantada mundialmente (DAMATTA; RAMALHO, 2006). O número de espécies de café existentes, em todo o mundo, ainda, é incerto, porém as espécies de *C. arabica* e *C. canephora* são importantes, principalmente, em programas de melhoramento genético, por possuírem alguma resistência a fatores bióticos e abióticos (CARVALHO, 1956).

De acordo com Camargo (1985), para o café arábica, a amplitude térmica do ar considerada ótima, situa-se entre 18 e 23°C. Acima dessa temperatura, o amadurecimento do fruto é acelerado, acarretando, muitas vezes, em perda de qualidade. A espécie *Coffea arabica* é nativa das florestas tropicais da Etiópia, Quênia e Sudão, situadas em altitudes de 1.500 a 2.800 m. Nestas regiões, a temperatura média do ar situa-se entre 18 e 22°C, com precipitação de 1.600 a 2.000 mm anuais (CAMARGO, 2010).

Cultivado em mais de 80% dos países produtores, o café arábica vem sendo mais difundido no continente americano (CAMARGO, 2010). No Brasil, o cultivo de café arábica é amplamente realizado, sendo adaptado e generalizado para pleno sol (NOVAES; SOUZA; PRADO, 2011) em virtude de altas latitudes (19° a 24° Sul) e altitudes mais baixas (500 a 1.300 m) em relação ao local de origem (FAZUOLI et al., 2007). Os principais estados produtores, no Brasil, atualmente são Minas Gerais, Espírito Santo, São Paulo, Bahia, Rondônia e

Paraná. A safra 2016/2017 está estimada entre 43,6 e 47,51 milhões de sacas de 60 kg do produto beneficiado, produzidas em 1,9 milhões de hectares e 79,7% da produção são provenientes de lavouras formadas com cultivares de *Coffea arabica* e 20,4% de cultivares da espécie *Coffea canephora* (CONAB, 2017).

2.2 Mancha de phoma do cafeeiro: etiologia, sintomatologia e epidemiologia

A mancha de phoma é uma das mais importantes doenças fúngicas do cafeeiro, pois ocorre desde a formação de mudas, no viveiro, até a fase de produção da cultura (LIMA et al., 2010). Em algumas regiões produtoras de café, a doença ganhou importância, devido à ocorrência de lesões nas folhas e queda de frutos (CHALFOUN; CARVALHO, 1998). Segundo Pfenning, Salgado e Almeida (2007) e Salgado e Pfenning (2000), a parte aérea do cafeeiro abriga várias espécies do gênero *Phoma* e, no Brasil, a mancha de phoma tem como agente etiológico o fungo *Phoma tarda* (R. W. Stewart). A doença causa danos como desfolha, queda de botões florais em decorrência da necrose, nos ramos ou nas rosetas, a qual pode resultar na queda indireta das flores, além da mumificação e queda dos chumbinhos, podridão seca de ponteiros e de extremidade dos ramos, resultando em perdas entre 15 a 43% da produtividade do cafeeiro (POZZA; CARVALHO; CHALFOUN, 2010).

No campo, a infecção começa na parte apical, no broto terminal, nas folhas tenras, ainda sem barreiras físicas de resistência, atingindo os tecidos jovens. Esse sintoma é confundido, em grande escala, com a deficiência ou toxidez por B. Nas folhas abaixo dessas, a doença produz manchas circulares de cor escura e de tamanho variado, podendo chegar a 2 cm de diâmetro. Quando as lesões atingem as bordas das folhas, estas se encurvam, podendo apresentar rachaduras e ser facilmente confundidas com deficiência de boro. Nos ramos doentes, são visualizadas lesões deprimidas escuras, podendo envolver todo o seu diâmetro. Podem, ainda, atingir as rosetas florais, necrosando, de forma

indireta, as flores e frutos (POZZA; CARVALHO; CHALFOUN, 2010; VALE; ZAMBOLIM; ZAMBOLIM, 2005).

Em temperaturas abaixo de 20°C, umidade relativa do ar abaixo de 70% e ventos fortes, os danos são mais severos, principalmente, em regiões com altitude superior a 900 m, mesmo na ausência da chuva, mas com umidade suficiente para causar no mínimo 4 horas de molhamento foliar (LIMA et al., 2010, LORENZETTI et al., 2015; SALGADO et al., 2009; SANTOS et al., 2014). A penetração do fungo é facilitada por danos mecânicos, nos tecidos da planta, produzidos por insetos ou devido à colisão entre as folhas tenras, causada por ventos em situações de baixa umidade relativa inferiores a 50% (CARVALHO; CUNHA; SILVA, 2011). Segundo Lorenzetti et al. (2015), temperaturas variando entre 15-20°C aumentam, significativamente, o comprimento do tubo germinativo, favorecendo a infecção do patógeno e culminando no progresso da doença com o aumento de períodos de molhamento foliar. Assim, verificou-se o efeito tanto da temperatura quanto da duração do molhamento, para testes *in vivo* e, para o crescimento micelial e a esporulação *in vitro*, o efeito da temperatura foi mais importante.

Atualmente, o controle da doença é realizado com aplicações de calendário fixo em pré e pós-florada, com fungicidas de contato e/ou sistêmicos. Porém fatores como os descritos acima são responsáveis por predispor a planta, tornando-a mais suscetível à doença. Com base nisso, métodos de controle culturais e genéticos devem ser adotados para melhorar o manejo e auxiliar no controle.

2.3 Nutrição mineral de plantas

A nutrição mineral, realizada de forma adequada e equilibrada, além de afetar positivamente a produtividade agrícola, influencia diretamente na sanidade da planta, conferindo maior resistência aos estresses biótico e abiótico.

Dentre os fatores bióticos, destaca-se o aumento da resistência das plantas às doenças, protegendo-as de novas infecções e reduzindo a intensidade das infecções já existentes (VELASCO, 1999). Por outro lado, tanto o excesso quanto a escassez de nutrientes pode favorecer as doenças, tornando as plantas mais predispostas à infecção (DATNOFF; ELMER; HUBER, 2007; MARSCHNER, 2012).

As plantas obtêm os nutrientes do solo por absorção via sistema radicular, por fluxo de massa, difusão e interceptação, na forma inorgânica. São 13 os nutrientes minerais existentes, divididos em dois grupos de exigência para as plantas, os macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S) e os micronutrientes (B, Cl, Cu, Fe, Mn, Mo e Zn) (EPSTEIN, 1999). O efeito da nutrição mineral com macro e micronutrientes, em diversas ‘*commodities*’ agrícolas, influencia a intensidade de doenças (DATNOFF; ELMER; HUBER, 2007). Segundo os autores, o adequado manejo dos elementos minerais no campo pode auxiliar na sanidade das plantas, como também na qualidade dos produtos agrícolas. Assim, os nutrientes minerais podem incrementar ou reduzir a intensidade de doenças de plantas, determinando, muitas vezes, a resistência ou a suscetibilidade do hospedeiro (MARSCHNER, 2012). A nutrição mineral deficiente ou desequilibrada pode predispor as plantas à infecção por patógenos, afetando suas estruturas histológicas, morfológicas e anatômicas e a composição química do tecido vegetal (AGRIOS, 2005; MARSCHNER, 2012).

Dentre os nutrientes essenciais, para qualquer cultura vegetal crescer e desenvolver, destacam-se o potássio (K), o fósforo (P) e o boro (B). Nas lavouras cafeeiras, o fornecimento de adubos de cobertura, em aplicações localizadas e em grandes quantidades, pode resultar em grande desequilíbrio do K. Na planta, o K desempenha importante papel como ativador enzimático. Sob condições de deficiência desse nutriente, ocorre acúmulo de carboidratos, de compostos nitrogenados solúveis e de aminoácidos, diminuindo, assim, o teor de

amido na atividade da quinase pirúvica e na síntese de proteínas (CARVALHO et al., 2010), sendo o segundo nutriente mais exigido, podendo proporcionar aumento ou redução da produtividade. O K é responsável por regulação osmótica, abertura de estômatos e transporte de carboidratos solúveis. Este nutriente desempenha papel fundamental nas reações do metabolismo de plantas (MCNEW, 1953). Considerado um dos nutrientes de maior influência sobre as doenças, é atribuído a ele o efeito benéfico na sanidade de plantas, na maioria das espécies estudadas (PERRENOUD, 1990), em virtude do aumento da resistência à penetração e do desenvolvimento de muitos patógenos, resultado do aumento da espessura das paredes celulares da epiderme, a qual promove rigidez da estrutura dos tecidos e regula o funcionamento dos estômatos, além de promover rápida recuperação dos tecidos injuriados (CARVALHO et al., 2010; MARSCHNER, 2012; POZZA et al., 2000, 2001; TAIZ; ZEIGER, 2013).

Em relação à resistência às doenças, a utilização isolada de K ou sua combinação com outros nutrientes pode afetar o patógeno e, conseqüentemente, alterar a intensidade de algumas doenças. No estudo com *Phoma tarda*, Lima et al. (2010) observaram a influência na incidência e na severidade da mancha de phoma, em mudas de cafeeiro com o desequilíbrio da relação N/K, em solução nutritiva, além de alterar o estado nutricional das plantas. Foi observado aumento linear de 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 7,0 mmol L⁻¹. Já Catarino et al. (2016), porém estudando a influência das doses de Ca e de K, também, em solução nutritiva e em mancha de phoma, observaram interação significativa entre os nutrientes. Na menor dose de Ca⁺ (2 mmol L⁻¹) e nas maiores de K (6 e 7 mmol L⁻¹), aproximadamente, observou-se menor AACPI. Para a AACPS, as menores doses de Ca e de K resultaram em menores severidades. Concluíram que os suprlmentos de Ca e de K em solução nutritiva reduziram as AACPI e AACPS

da mancha de phoma do cafeeiro e o uso desses nutrientes pode ser recomendado no manejo da doença. De acordo com os trabalhos, houve comportamento diferente da mancha de phoma em relação ao K relacionado com outros nutrientes. Foi observado aumento da doença com o aumento das doses de N e diminuição das doses de K e, quando relacionado K e Ca, houve menor AACPI, na menor dose de Ca e maiores doses de K e menor AACPS nas menores doses de Ca e K.

Para outras doenças, houve comportamento diferente, em relação aos resultados encontrados, nos trabalhos de mancha de phoma do cafeeiro e os nutrientes, reafirmando a inexistência de padrão quanto a este nutriente em estudo e reiterando a necessidade de novos estudos em diferentes patossistemas e nutrientes. No patossistema cercosporiose do cafeeiro e nutrição mineral, Pozza et al. (2000), estudando a adubação com potássio (K) e nitrogênio (N), em solução nutritiva, observaram relação direta da doença com a nutrição potássica. Com o aumento da nutrição potássica, ocorreu o aumento da intensidade da doença. Segundo os autores, o excesso de K induz a deficiência de cálcio, diminuindo as barreiras de resistência na parede celular, favorecendo a entrada do patógeno. Portanto a adubação equilibrada de K e N foi a medida eficaz no manejo da doença (POZZA et al., 2000), sendo observado um comportamento inverso, ao apresentado por Lima et al. (2010), no patossistema mancha de phoma. O efeito da nutrição mineral, na intensidade da cercosporiose, também, foi estudado por Garcia Júnior et al. (2003) em mudas de cafeeiro em solução nutritiva. Estes autores trabalharam com diferentes doses de cálcio e de potássio e verificaram redução linear no progresso da doença com o aumento das doses de cálcio, maior absorção de Ca em detrimento do K, em consequência da competição (MARSCHNER, 2012). A incidência da doença nas plantas decresceu, linearmente, até a dose máxima de cálcio fornecida de 8 mmol L^{-1} , sendo observado um comportamento inverso ao apresentado por Catarino et al.

(2016). O comportamento de K foi diferente, também, nos dois trabalhos relacionados à cercosporiose do cafeeiro e contrários aos resultados encontrados para mancha de phoma.

Custódio (2008), trabalhando com adubação de Ca e K na incidência da ferrugem do cafeeiro, em condições de campo, observou menor progresso da doença, nas doses medianas de calcário, aplicadas (2 t ha^{-1}). As doses 0 e 100 kg ha^{-1} de cloreto de potássio (KCl) foram responsáveis por menores amplitudes, na variação da intensidade da doença, reafirmando a necessidade de equilíbrio entre nutrientes, sendo observado um comportamento diferente ao apresentado por Catarino et al. (2016). Já Carvalho et al. (1996), porém trabalhando com os teores foliares de N e K, em diferentes fases de desenvolvimento dos frutos, cargas pendentes e épocas de desbaste, com o progresso da ferrugem do cafeeiro, observaram a maior incidência da doença, quando apresentaram os menores teores de N e K na planta, sendo observado um comportamento inverso ao apresentado por Lima et al. (2010). De acordo com os resultados dos três patossistemas, pode-se observar o comportamento diferente das doenças, em relação aos níveis de K utilizados e, também, em relação ao nutriente estudado, na interação com o nutriente citado, ressaltando a inexistência de padrão de doença e a necessidade de novos estudos da relação de doses de K com outros nutrientes.

Outro nutriente essencial é o fósforo, sendo importante no metabolismo das plantas. Desempenha também papel de destaque na fotossíntese, na respiração, no metabolismo de açúcares, na divisão celular, no alongamento das células e na transferência da informação genética. Seu suprimento adequado promove o uso mais eficiente da água e, conseqüentemente, dos outros nutrientes (GUIMARÃES et al., 2011). Em solos brasileiros, o P é o nutriente mais deficiente, devido à capacidade de adsorver na argila presente nos solos, sendo o nutriente mais limitante na produtividade do cafeeiro (FAQUIN, 2005).

Além disso, após o plantio na formação e produção da lavoura, o mesmo é fornecido, anualmente, apenas na primeira aplicação de cobertura (GUIMARÃES, et al., 1999), em grande parte das lavouras cafeeiras do Brasil. Esse nutriente desempenha papel fundamental, nas transformações energéticas dos processos vitais da planta, tais como fotossíntese, respiração, síntese de aminoácidos, lipídeos, entre outros, os quais são realizados à custa de compostos fosforados, como o difosfato e trifosfato de adenosina (ADP e ATP). O fósforo possui elevada mobilidade na planta e, nos casos de deficiência, é translocado para as regiões de crescimento, sendo os sintomas apresentados, nas folhas mais velhas, aparecendo no cafeeiro, principalmente, no período seco, após a colheita (CARVALHO et al., 2010; MATIELLO et al., 2016; TAIZ; ZEIGER, 2013).

A relação entre P e sua ação na resistência às doenças é variável e não é evidente. No solo, no entanto o fósforo pode reduzir a disponibilidade de Fe, Mn, Zn e Ca, nutrientes envolvidos no mecanismo de resistência das plantas às doenças. Com isso, o excesso de fósforo pode afetar a sanidade de mudas (YAMADA, 1995). Em culturas anuais, o P acelera a maturação da planta, encurtando o período vegetativo e auxiliando no escape de patógenos capazes de infectar tecidos jovens, reduzindo o período infectivo de fungos causadores de ferrugens e outros patógenos foliares. A combinação do fósforo com o potássio, em doses crescentes, para a mesma dose de nitrogênio, foi importante para a redução da cercosporiose em cafeeiro, em trabalho realizado por Fernandes (1988). Entretanto Pozza et al. (2001) não observaram a relação do fósforo com o potássio em mudas de cafeeiro. Pozza et al. (2007), também, estudando a cercosporiose, em mudas de cafeeiro, não observaram alterações no progresso da doença com ou sem adubação suplementar de P em diferentes substratos. Graham e Menge (1982), estudando a doença conhecida como mal do pé, na cultura do trigo, atribuiu o controle da doença à melhor absorção de P por micorrizas, favorecendo o crescimento das plantas. Estudos relacionando doses

de P no solo com a incidência de doenças em cafeeiro, ainda, são escassos na literatura. Com isso, novos estudos são indispensáveis para relacionar os aspectos da doença com a quantidade do nutriente na planta.

No caso dos micronutrientes, teores baixos, também, são encontrados nos solos brasileiros. Conhecer a demanda de micronutrientes do cafeeiro, ao longo do seu ciclo produtivo, contribui para obter altas produtividades (BRAGANÇA et al., 2007). O B é importante para formar a parede celular, para a divisão e o alongamento das células. Na ausência de boro, o desenvolvimento do tecido meristemático é paralisado, com morte da gema terminal (CARVALHO et al., 2010; TAIZ; ZEIGER, 2013), devendo ser aplicado na forma e quantidade correta. O B 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) os quais interferem, indiretamente, na intensidade da doença. Além dessas funções, este elemento é importante na estruturação da parede celular, lignificação e na maior estabilidade da membrana plasmática (reduz o extravasamento do K, açúcares e aminoácidos), resultando em efeito benéfico para redução da severidade de doenças (BROWN et al., 2002; CARVALHO et al., 2010; DORDAS, 2008; FAQUIN, 2005; MARSCHNER, 2012).

No entanto a função do B e sua relação com a resistência à 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 vingamento das flores. Em estudos com B, observou-se redução de 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). No patossistema cafeeiro x ferrugem, Carvalho et

al. (1996) trabalharam a relação dos teores de B na intensidade da doença. Os autores concluíram não haver relação do B com a ferrugem do cafeeiro.

Os sintomas de deficiência de B aparecem nas folhas novas, inicialmente, com deformações generalizadas, tornando-as afiladas e curvadas na nervura central. Posteriormente, ocorre morte das extremidades dos ramos, os quais ocasionam superbrotção em forma de leque, podendo ocorrer a morte dos ramos tanto ortotrópicos como dos plagiotrópicos. Estes sintomas de morte dos ponteiros se assemelham muito aos danos causados por *Phoma tarda*. Além desses sintomas, a deficiência de boro causa a morte das extremidades das raízes (ANDRADE, 2001; MALAVOLTA; YAMADA; GUIDOLIN, 1981).

Dessa forma, existe a necessidade de se conhecer a influência dos níveis de nutrientes largamente empregados por cafeicultores no campo, como os macronutrientes potássio (K) e fósforo (P_2O_5) e o micronutriente boro (B) e os reflexos de sua utilização, em uma das principais enfermidades da cultura, a mancha de phoma.

2.4 Irrigação na cultura do cafeeiro

A cafeicultura brasileira tem sofrido mudanças significativas, principalmente, em seu sistema de produção. Entre essas mudanças, pode-se destacar a utilização da irrigação, capaz de reduzir os riscos por aumentar a eficiência na utilização e aplicação de insumos, contribuindo para maior produtividade e melhor qualidade do produto, mesmo em áreas aptas ao cultivo do cafeeiro de sequeiro. Segundo Taiz e Zeiger (2013), de todos os recursos necessários, para a planta crescer e desenvolver, a água e os nutrientes são os mais limitantes à produtividade agrícola. Danos severos à lavoura podem ser ocasionados devido à deficiência desses fatores.

No Brasil, principalmente no estado de Minas Gerais, vários autores citam a irrigação na cultura do cafeeiro como responsável por incrementar a

produtividade e o 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, porque, quando comparado ao cultivo não irrigado, por baixa umidade no solo, podem ocorrer deficiências e desequilíbrios nutricionais, afetando, principalmente, as barreiras de resistência horizontal (POZZA; POZZA, 2012).

O plantio do cafeeiro em zonas consideradas marginais e a busca por maiores produtividades tornam-se possíveis com o uso da irrigação. Logo o uso da irrigação por gotejamento ou aspersão, em cafezais, tem crescido nos últimos anos, em decorrência do cenário de mudanças climáticas, observadas em muitas regiões cafeeiras (RODRIGUES et al., 2005). De acordo com Paiva et al. (2011), mesmo em áreas como o Sul de Minas, aptas ao cultivo do cafeeiro de sequeiro, tem-se a necessidade da irrigação suplementar. Isso em razão do efeito das estiagens nos períodos críticos, como a fase de granação dos grãos, por exemplo, prejudicando o desenvolvimento da lavoura. Quando realizada no período de maior necessidade da planta, a irrigação pode contribuir para melhores resultados de produtividade. Coelho et al. (2009), ao estudar por oito safras, em Lavras/MG, a produtividade do cafeeiro da cultivar Catuaí IAC 144, irrigado por gotejamento, perceberam aumentos significativos de produtividade, com média de 59 sacas ha⁻¹ quando o suprimento de água ocorria entre os meses de junho a setembro.

No entanto a água fornecida via irrigação, principalmente, a do tipo aspersão, modifica o microclima da lavoura, alterando as condições do ambiente, aumentando o período de molhamento foliar. Esse fato, provavelmente, contribui para aumentar a incidência das doenças (CARVALHO; CHALFOUN, 2000; OLANYA; PORTER; LAMBERT, 2010;

VALE et al., 2004). Por outro lado, a irrigação por vários outros sistemas afeta a turgidez dos órgãos das plantas, com tendência a manter os estômatos abertos, podendo facilitar a entrada de patógenos (ROTEM; PALTÍ, 1969).

Santos et al. (2014), estudando a incidência da mancha de phoma em cafeeiro irrigado por gotejamento, sob diferentes manejos de irrigação, entre as safras 2009 a 2011, observaram, em 2010/2011, maior intensidade da doença, quando comparado à safra anterior. As maiores incidências da doença ocorreram, nos manejos sem irrigação e irrigação o ano todo, quando o fator de disponibilidade de água no solo (f) atingiu 0,75 na camada de 0-40 cm. Segundo os autores, plantas com maior estresse hídrico ficam mais suscetíveis à infecção do patógeno.

No cafeeiro, outras epidemias, também, são influenciadas por manejo da irrigação. Juliatti et al. (2000) investigaram a influência do método de irrigação no progresso de doenças do cafeeiro. Os autores concluíram que há maior intensidade da ferrugem e da cercosporiose, nos tratamentos com irrigação por aspersão, no pivô central, com lâmina única de água (100 mm mês^{-1}), quando comparado ao irrigado por gotejamento, malha perfurada ($60, 80 \text{ e } 100 \text{ mm mês}^{-1}$) ou ao tratamento não irrigado. Conforme os autores, o maior molhamento foliar, proporcionado por aspersão, favoreceu o progresso de doenças, com comportamento cíclico e frequentes picos das doenças durante todo o período avaliado.

Custódio (2008), também, pesquisando o aspecto epidemiológico da ferrugem e da cercosporiose, em cafeeiro irrigado por pivô central, no município de Lavras (MG), observou um comportamento diferente da ferrugem ao encontrado por Juliatti et al. (2000). O autor verificou, nas maiores lâminas de irrigação, calculadas com base no coeficiente da cultura (% Kc), maior enfolhamento e menor incidência e severidade da ferrugem. Segundo esse autor, a irrigação por pivô central reduziu a concentração de propágulos de *Hemileia*

vastatrix dispersos no ar, tendo em vista o impacto das gotas de água refletindo em menor severidade da ferrugem do cafeeiro na lâmina de 100% Kc. Ao contrário, notou-se aumento da incidência da cercosporiose com o fornecimento de maiores lâminas de irrigação por pivô central, registrando-se as maiores incidências da doença nas lâminas de 100% e 140% Kc e menor no tratamento não irrigado. Custódio et al. (2014), também, avaliando o efeito da irrigação por pivô central, na incidência da ferrugem e da cercosporiose do cafeeiro, porém tendo como base o tanque de evaporação classe A (ECA) relataram a influência significativa, no progresso da ferrugem por diferentes níveis de água, ocorrendo maior incidência com os níveis mais baixos de água, 0 (não-irrigado), 60, e 80% ECA e a menor incidência foi detectada com maiores níveis de água, 120 e 140% ECA. Em relação à cercosporiose, a maior incidência ocorreu com níveis de água de 100 e 140% ECA e a menor incidência foi encontrada no tratamento não irrigado. De acordo com estes estudos, os autores identificaram a importância dos métodos de irrigação e dos níveis de água, afetando decisivamente o comportamento epidemiológico das doenças e, por conseguinte, seu manejo. Estes resultados apresentaram diferentes padrões de comportamento das doenças. Essa diferença ocorre devido ao método utilizado, para o cálculo de irrigação, o qual influencia, diretamente, na lâmina de água aplicada e na frequência da irrigação, as quais resultarão diretamente em diferentes comportamentos da enfermidade estudada.

Outras formas de condução da cultura, como diferentes densidades de plantio associadas ao manejo da irrigação localizada, também, podem influenciar a intensidade da ferrugem e da cercosporiose em folhas de cafeeiro adulto (PAIVA, 2008; PAIVA et al., 2011). Esses mesmos autores relatam a influência de densidades de plantio, na ferrugem do cafeeiro, ocorrendo progresso linear da doença com aumento da densidade de plantio até 10.000 plantas ha⁻¹. Ainda, houve maior intensidade da cercosporiose, no tratamento

não irrigado, comparado aos irrigados, além da densidade de plantio desfavorecer a doença. Vasco et al. (2015), na mesma área experimental, constataram, por dois anos agrícolas, a incidência da cercosporiose em frutos de café. De acordo com os autores, houve, no ano agrícola 2008/2009, nas densidades de plantio de 3.333 e 10.000 plantas ha⁻¹ e no terço superior da planta, maior incidência da cercosporiose em frutos de café. Contudo a maior incidência da doença, no ano agrícola 2009/2010, ocorreu no tratamento não irrigado (testemunha) e na densidade de plantio de 2.500 plantas ha⁻¹. Esses resultados confirmam a modificação microclimática do ambiente, em sistema de cultivo irrigado e adensado, tendo ação determinante sobre a severidade de doenças em folhas e frutos do cafeeiro.

Dessa forma, observam-se, em cultivos irrigados, no qual estudos são necessários para relacionar os métodos e os níveis de água fornecidos na irrigação e suas variações apresentadas com relação aos aspectos epidemiológicos de doenças de plantas. Estudos em campo, descrevendo progresso da mancha de phoma, em diferentes manejos de irrigação, são escassos na literatura. Com base nisso, tornam-se necessários, em cultivos irrigados, pesquisas relacionando os sistemas de irrigação e seu efeito na mancha de phoma do cafeeiro.

2.5 Geoestatística

A Geoestatística é parte da estatística, derivada da teoria das variáveis regionalizadas, na qual se utiliza análise exploratória, semivariogramas e krigagens para analisar os dados georreferenciados (BURROUGH; MCDONELL, 1998; MATHERON, 1971). Problemas ambientais e agrícolas exigem soluções de geomática e inteligência computacional, associadas a diferentes metodologias de apoio à decisão. Essas técnicas e metodologias têm sido utilizadas para otimizar os recursos em avaliações de impacto ambiental e

reduzir os custos em programas de manejo e controle de qualidade da produção de agroecossistemas (ALVES et al., 2012).

Estudos com geoestatística surgiram na África do Sul, quando Krige, em 1951, trabalhando com dados de concentração de ouro, não conseguia encontrar sentido nas variâncias se não considerasse a distância de amostragem (FARIAS et al., 2003). Com base nessas observações, Matheron (1963) desenvolveu a “Teoria das Variáveis Regionalizadas”, contendo os fundamentos da geoestatística (FARIAS et al., 2003), definida como o conjunto de métodos estatísticos apropriados, para analisar atributos de fenômenos os quais apresentam distribuição contínua numa área geográfica. Essa continuidade, ou dependência espacial, pode ser estimada, por meio do semivariograma, principal componente da geoestatística (VALÊNCIA; MEIRELLES; BETTINI, 2004).

Semivariograma e krigagem, são fundamentalmente, os dois conceitos nos quais a geoestatística é baseada. O primeiro tem o papel de descrever a estrutura da variabilidade espacial, e o segundo a função de prever, sem tendência e com variância mínima, os valores não medidos (ALVES et al., 2009). Segundo Silva et al. (2003) o semivariograma apresenta três parâmetros importantes: i) efeito pepita: responsável por indicar a descontinuidade na origem, proveniente de limitações na estimativa do semivariograma em pequenos espaçamentos; ii) patamar (Co+C): representa o nível de variabilidade quando o semivariograma se estabiliza; iii) alcance (a): é a distância da origem até o ponto no qual o patamar atinge valores estáveis e é considerado o limite da dependência espacial da grandeza medida (VIEIRA, 1997).

Depois da definição do semivariograma teórico, é possível realizar a predição espacial da variável estudada (ALVES et al., 2012). Por meio do mapa de krigagem, pode-se avaliar a distribuição espacial do patógeno, ao longo da área (ALVES et al., 2006, 2012), com base na predição espacial de valores não observados, a fim de verificar a ocorrência de padrões espaciais na área, bem

como as injúrias causadas nas plantas, de modo a se formular estratégias e táticas de manejo na lavoura.

A geoestatística tem representado, de forma satisfatória, a existência de dependência espacial de atributos do solo e de plantas (ALVES et al., 2006; CARVALHO, 2008; PINHEIRO, 2007; SOUZA, 2006). A interação entre o estado nutricional das plantas e sua relação com doenças tem sido componente de estudo por meio da geoestatística nos últimos anos (ALVES et al., 2012). Pinheiro et al. (2008), estudando a influência da nutrição mineral, na distribuição espacial do nematoide do cisto da soja (NCS), observaram, por meio dos mapas de krigagem ordinária, alta correspondência entre os juvenis de segundo estágio, cistos viáveis, cistos não viáveis e ovos por cisto e os teores Ca no solo. As áreas com maiores teores de Ca coincidiram, visualmente, no mapa com os valores altos daquelas variáveis. Para os teores de K, houve somente correlação para a variável cisto viável no solo. A falta de correlação entre os estádios do NCS com os teores de K foi atribuída ao fato do excesso de Ca acentuar a eventual carência de K no solo.

Uchôa et al. (2011), também utilizando técnicas da geoestatística, a fim de caracterizar a variabilidade espacial da sigatoka negra com a fertilidade do solo, verificaram forte dependência espacial da severidade da doença, atingindo alcance de 25,3 m e, por meio dos mapas de krigagem ordinária, observaram padrão agregado e relação negativa da severidade da doença com os teores de K e positiva com teores de S no solo. Áreas com níveis mais altos de K apresentaram menor severidade e, nas áreas com maiores teores de S, foi verificada elevada severidade da doença. Ainda, em plantas de bananeira, porém, para a distribuição espacial da sigatoka amarela com a fertilidade do solo e a nutrição de plantas, Freitas et al. (2016) detectaram moderado grau de dependência espacial do gride principal com alcance de 193,7 m e o subgride apresentou agregação ou reboleira, com forte grau de dependência espacial, com

alcance menor ao encontrado por Uchôa et al. (2011), no patossistema sigatoka negra, de 6,6 m, sendo ajustado o modelo exponencial para ambos. Nos mapas de krigagem ordinária, foi possível constatar a relação positiva entre a severidade da sigatoka amarela e os teores de cálcio, fósforo, potássio e nitrogênio, e negativa para os teores de magnésio, cobre e manganês.

Em sementes de feijão e algodão, Alves et al. (2006), da mesma forma, utilizaram a geoestatística, para estudar a dinâmica espaço-temporal de doenças associadas a *Colletotrichum* spp. transmitidas por sementes. Os autores verificaram a possibilidade de quantificar o grau de dependência espacial, mapear a variabilidade espacial de epidemias e monitorar o progresso da doença ao longo do tempo e do espaço. Outra vantagem foi a utilização dos modelos de semivariogramas, em trabalhos posteriores, principalmente, em áreas naturalmente infectadas.

Já em cafeeiro, Alves et al. (2009) analisaram a intensidade da ferrugem e da cercosporiose, em folhas e frutos. Segundo os autores, um dos fatores responsáveis, na distribuição das enfermidades, foi, possivelmente, a variabilidade espacial da nutrição mineral das plantas na lavoura, podendo ser realizado o manejo das doenças em pontos específicos na propriedade. Lima (2009), também estudando a distribuição espacial e temporal em cafeeiro, porém, para mancha de phoma sob sistema de cultivo convencional e orgânico, observou tanto a AACPI quanto AACPS, no primeiro período (agosto/2007 a fevereiro/2008), padrão de distribuição agregado ao sistema convencional e aleatório, ao sistema orgânico, havendo correlação negativa de Ca, Mg e B e positiva do N com a AACPS da mancha de phoma do cafeeiro e, no segundo período (fevereiro/2008 a agosto/2008), tanto a AACPI quanto a AACPS apresentaram distribuição aleatória para os dois sistemas de cultivo e não houve correlação com a nutrição do cafeeiro.

Portanto, assim como foi possível caracterizar a relação entre a nutrição das plantas, métodos de irrigação e a intensidade da doença, em cada um desses patossistemas, inclusive, para a mancha de phoma do cafeeiro com outros nutrientes e suas interações, espera-se que, neste trabalho, igualmente seja possível. Além disso, acredita-se que as novas descobertas poderão ser utilizadas como medidas complementares no manejo da doença. Sendo assim, a geoestatística, no estudo da variabilidade espacial e temporal da mancha de phoma e da nutrição do cafeeiro, em sistemas de manejo de irrigação via pivô central, fornecerá informações importantes, auxiliando no manejo de uma das principais doenças do cafeeiro.

REFERÊNCIAS

- AGRIANUAL. **Anuário da Agricultura Brasileira**. São Paulo: FNP Consultoria e Agroinformativos, 2015. 482 p.
- AGRIOS, G. N. **Plantpathology**. London: Academic Press, 2005. 900 p.
- ALMEIDA, A. R. **Fungos endófitos e espécies de Phoma associadas ao cafeeiro (*Coffea arabica* L.)**. 2007. 84 p. Tese (Doutorado em Fitopatologia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2007.
- 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.
- _____. The potential of geostatistics and geographic information systems in pest eradication. **Perspectives in Agriculture, Veterinary Science, Nutrition and Natural Resources**, Berlin, v. 6, n. 2, p. 1-14, May 2009.
- _____. Geoestatística na proteção de plantas: geoinformação do pesquisador ao produtor. In: MACHADO, A. K. F. M.; OGOSHI, C. et al. (Ed.). **Avanços na otimização do uso de defensivos agrícolas no manejo fitossanitário**. São Carlos: Suprema Gráfica e Editora, 2012. p. 283-302.
- 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.
- 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, 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, jul./ago. 2007.
- BROWN, P. H. et al. Boron in Plant Biology. **Plant Biology**, New York, v. 4, n. 2, p. 205-223, June 2002.

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

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

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

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

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

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**. 2008. 83 p. Dissertação (Mestrado em Fitopatologia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2008.

CARVALHO, J. G. et al. Sintomas de desordens nutricionais em cafeeiro. In: GUIMARÃES, R. J.; MENDES, A. N. G.; BALIZA, D. P. (Ed.). **Semiologia do cafeeiro: sintomas de desordens nutricionais, fitossanitárias e fisiológicas**. Lavras: Editora da UFLA, 2010. p. 69-101.

CARVALHO, V. L. D.; CHALFOUN, S. M. **Doenças do cafeeiro: diagnose e controle**. Belo Horizonte: Epamig, 2000. 44 p.

_____. Manejo integrado das principais doenças do cafeeiro. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 19, n. 193, p. 27-35, 1998.

CARVALHO, V. L. de; CUNHA, R. L. da; SILVA, N. R. N. **Mancha-de-Phoma do cafeeiro**. Belo Horizonte: EPAMIG, 2011. 136 p.

CARVALHO, V. L. de et al. Influencia da produção na incidência da ferrugem do cafeeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 31, n. 6, p. 401-405, jun. 1996.

CATARINO, A. M. et al. Calcium and potassium contents in nutrient solution on Phoma leaf spot intensity in coffee seedlings. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 63, n. 4, p. 486-491, jul./ago. 2016.

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

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB.
Acompanhamento da safra brasileira café: safra 2017: primeiro levantamento, Brasília: Conab, 2017. 98 p.

CUSTÓDIO, A. A. de P. et al. Effect of center-pivot irrigation in the rust and brown eye spot of coffee. **Plant Disease**, Saint Paul, v. 98, n. 7, p. 943-947, July 2014.

_____. Incidência do bicho-mineiro do cafeeiro em lavoura irrigada sob pivô central. **Coffee Science**, Lavras, v. 4, n. 1, p. 16-26, jan./jun. 2009.

_____. Intensidade da ferrugem e da cercosporiose em cafeeiro quanto à face de exposição das plantas. **Coffee Science**, Lavras, v. 5, n. 3, p. 214-228, set./dez. 2010.

CUSTÓDIO, A. A. de P. **Epidemiologia da ferrugem e da cercosporiose em cafeeiro irrigado sob pivô central**. 2008. 71 p. Dissertação (Mestrado em Fitopatologia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2008.

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

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

DIGGLE, P. L.; RIBEIRO JÚNIOR, P. J. **Model-based geostatistic**. New York: Springer, 2007. 230 p.

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

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

FAQUIN, V. **Nutrição de plantas**. Lavras: Editora da UFLA, 2005. 183 p.

FARIA, M. A.; REZENDE, F. C. **Irrigação na cafeicultura**. Lavras: Editora da UFLA, 1997. 110 p.

FARIA, M. F. et al. Influência das lâminas de irrigação na maturação e produtividade do cafeeiro (*Coffea arabica* L.): 2ª colheita. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA EM CAFEICULTURA IRRIGADA, 4., 2001, Araguari. **Resumos...** Uberlândia: Editora da UFU, 2001. p. 11-14.

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

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

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.

FREITAS, A. S. et al. Spatial distribution of yellow sigatoka leaf spot correlated with soil fertility and plant nutrition. **Precision Agriculture**, New York, v. 17, n. 1, p. 93-107, July 2016.

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.

GRAHAM, J. H.; MENGE, J. A. Influence of vesicular-arbuscular mycorrhiza and soil phosphorus on talk-all disease of wheat. **Phytopathology**, Estados Unidos, v. 72, n. 1, p. 95-98, Jan. 1982.

GUIMARÃES, P. T. G. et al. Adubação do cafeeiro e a qualidade do produto colhido. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 32, n. 261, p. 39-51, mar./abr. 2011.

_____. Cafeeiro. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ V. (Ed.). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação**. Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. p. 289-302.

ISAAKS, E. H.; SRIVASTAVA, R. M. **Applied geostatistics**. New York: Oxford University Press, 1989. 561 p.

JENSEN, J. R. **Remote sensing of the environment: an earth resource perspective**. 2. ed. Upper Saddle River: Prentice Hall, 2007. 592 p.

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.

KRIGE, D. G. **A statistical approach to some mine valuation and allied problems on the Witwatersrand**. 1951. 139 p. Thesis (Ph.D. in Science) - University of the Witwatersrand, Johannesburg, 1951.

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 Agrônomo, 1939. 57 p.

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

LIMA, L. M. de. **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.

LORENZETTI, E. R. et al. Effect of temperature and leaf wetness on *Phoma tarda* leaf spot in coffee seedlings. **Coffee Science**, Lavras, v. 10, n. 1, p. 1-9, jan./mar. 2015.

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

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

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2. ed. London: Academic Press, 2012. 889 p.

_____. **Mineral nutrition of higher plants**. 2. ed. London: Academic Press, 1995. 889 p.

MATHERON, G. Principles of geostatistics. **Economic Geology**, Lancaster, v. 58, n. 5, p. 1246-1266, Dec. 1963.

_____. **The theory of regionalized variables and its applications**. Paris: El Cole National Supei, 1971. 211 p.

MATIELLO, J. B. et al. **Cultura do café no Brasil: manual de recomendações**. São Paulo: Futurama, 2016. 584 p.

MCNEW, G. L. **Plant diseases**. Washington: USDA Yearbook of Agriculture, 1953. 940 p.

MEIRELES, D. F. de; CARVALHO, J. de A.; MORAES, J. C. Avaliação da infestação do Bicho-Mineiro e do crescimento do cafeeiro submetido a diferentes níveis de déficit hídrico. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 25, n. 2, p. 371-374, mar./abr. 2001.

NOVAES, P.; SOUZA, J. P.; PRADO, C. Grafting for improving net photosynthesis of coffee arabica in field in southeast of Brazil. **Experimental Agriculture**, Cambridge, v. 47, n. 1, p. 53-68, Jan. 2011.

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

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

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

PERRENOUD, S. **Potassium and plant health**. 2. ed. Bern: International Potash Institute, 1990. 363 p.

PFENNING, L. H.; SALGADO, M.; ALMEIDA, A. R. Complexo Phoma: características e meios de controle. In: CURSO DE ATUALIZAÇÃO EM CAFÉ, 7., 2007, Campinas. **Anais...** Campinas: IAC, 2007. p. 91. (Documento, 80).

PINHEIRO, J. B. et al. Influência da nutrição mineral na distribuição espacial do nematóide de cisto da soja. **Nematologia Brasileira**, Campinas, v. 32, n. 4, p. 270-278, dez. 2008.

PINHEIRO, J. B. **Manejo da ferrugem da soja (*Phakopsora pachyrhizi* Sydow & Sydow) com nutrientes e fungicidas e a influência da nutrição mineral na distribuição espacial e reprodução do nematóide do cisto da soja (*Heterodera glycines* Ichinohe)**. 2007. 175 p. Tese (Doutorado em Fitopatologia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2007.

POZZA, A. A. A. et al. 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. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 3, p. 685-692, maio/jun. 2007.

_____. Influência da nutrição mineral na intensidade da mancha-de-olho-pardo em mudas de cafeeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, n. 1, p. 53-60, Jan. 2001.

_____. Intensidade da mancha de olho pardo em mudas de cafeeiro em função de doses de N e de K em solução nutritiva. **Summa Phytopathologica**, New York, v. 26, n. 1, p. 29-34, Jan. 2000.

_____. Suprimento de fósforo na produção e intensidade da cercosporiose de mudas de cafeeiro em tubetes. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 26, n. 5, p. 970-976, maio 2002.

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. (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.; OGOSHI, C. et al (Ed.). **Avanços na otimização do uso de defensivos agrícolas no manejo fitossanitário**. São Carlos: Suprema Gráfica e Editora, 2012. p. 259-282.

_____. Manejo de doenças de plantas com macro e micronutrientes. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 28, n. 1, p. 52–54, jan./abr. 2003. Suplemento.

PRABHU, A. S.; FAGERIA, N. K.; HUBER, D. M.; RODRIGUES, F. A. Potassium and plant disease. In: DATNOFF, L. E.; ELMER, W. H.; HUBER, D. M. (Ed.). **Mineral nutrition and plant disease**. Saint Paul: APS Press, 2007. p. 57-78.

RODRIGUES, S. B. S. et al. Avaliação do efeito de diferentes dosagens de nitrogênio e potássio aplicados via fertirrigação na produtividade de cafeeiros na região de Viçosa, MG. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 5., 2005, Londrina. **Anais...** Brasília: Embrapa Café, 2005. 1 CD-ROM.

ROTEM, J.; PALTI, J. Irrigation and plant diseases. **Annual Review Phytopathology**, London, v. 7, n. 2, p. 267-288, Feb. 1969.

SALGADO, M. et al. Escala diagramática para avaliação da severidade da mancha de *Phoma* do cafeeiro. **Tropical Plant Pathology**, Brasília, v. 34, n. 6, p. 422-427, nov./dez. 2009.

SALGADO, M.; PFENNING, L. H. Identificação e caracterização morfológica de espécies de *Phoma* do cafeeiro no Brasil. In: SIMPÓSIO DE PESQUISAS DOS CAFÉ DO BRASIL, 1., 2000, Poços de Calda. **Anais...** Brasília: Embrapa Café, 2000. p. 183-186.

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

SANTOS, L. S. D. et al. Incidência da Mancha de phoma em cafeeiro irrigado por gotejamento, sob diferentes manejos de irrigação. **Coffee Science**, Lavras, v. 9, n. 1, p. 77-89, jan./mar. 2014.

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.

SILVA, V. R. et al. Variabilidade espacial das características químicas do solo e produtividade de milho em um Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico arênico. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 6, p. 1013-1020, nov./dez. 2003.

SOUZA, C. K. **Variabilidade espacial de atributos do solo e produtividade em área cultivada com café orgânico e convencional**. 2006. 65 p. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinária, Jaboticabal, 2006.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2013. 918 p.

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

UCHÔA, C. N. et al. Modelagem geoestatística da Sigatoka-negra e sua relação com a fertilidade do solo. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 27, n. 3, p. 357-362, mar. 2011.

VALE, F. X. R. do et al. Influência do clima no desenvolvimento de doenças de plantas. In: VALE, F. X. R. do; JESUS JÚNIOR, W. C. de; ZAMBOLIM, L. (Ed.). **Epidemiologia aplicada ao manejo de doenças de plantas**. Belo Horizonte: Perfil, 2004. p. 49-87.

VALE, F. X. R. do; ZAMBOLIM, L.; ZAMBOLIM, E. M. Doenças do cafeeiro (*Coffea arabica* e *C. canephora*). In: KIMATI, H. et al. (Ed.). **Manual de fitopatologia: doenças de plantas cultivadas: volume 2**. 4. ed. São Paulo: Agronômica Ceres, 2005. p. 165-180.

VALÊNCIA, L. I. O.; MEIRELLES, M. S. P.; BETTINI, C. Geoestatística aplicada à agricultura de precisão. In: MACHADO, P. L. O. A.; BERNARDI, A. C. C.; SILVA, C. A. **Agricultura de precisão para o manejo da fertilidade do solo em sistema de plantio direto**. Rio de Janeiro: Embrapa, 2004. p. 37-56.

VASCO, G. B. et al. Incidência da Cercosporiose em frutos de cafeeiro: Diferentes densidades de plantio e manejos de irrigação. **Coffee Science**, Lavras, v. 10, n. 1, p. 38-45, jan./mar. 2015.

VELASCO, V. A. V. Papel de la nutricion mineral em la tolerância a las enfermedades de las plantas. **Terra**, Barcelona, v. 17, n. 3, p. 193-200, mar. 1999.

VIEIRA, S. R. **Curso de geoestatística aplicada à ciencia do solo**: fitotecnia e entomologia. Jaboticabal: FCAV, 1997. 74 p.

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

SEGUNDA PARTE - ARTIGOS

**ARTIGO 1 - INTERAÇÃO ENTRE LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO E
DOSES DE FÓSFORO (P) NA MANCHA DE PHOMA DO CAFEIEIRO**

**ARTIGO FORMATADO DE ACORDO COM A NBR 6022 (ABNT, 2003),
COM ADAPTAÇÕES DO MANUAL DE NORMALIZAÇÃO DA UFLA.**

RESUMO

Foi avaliada a incidência da mancha de phoma (*Phoma tarda*) por dois anos, em cafeeiro irrigado por gotejamento, com diferentes lâminas de irrigação e doses de P_2O_5 . Os tratamentos foram cinco lâminas de irrigação, correspondentes às frações do coeficiente de cultura (Kc) de 0,4; 0,7; 1,0; 1,3 e 1,6; quatro doses de P_2O_5 (0, 80, 240 e 720 kg de P_2O_5 ha⁻¹) e dois anos de avaliações (1º ano = jan/2012 a jan/2013 e 2º ano = fev/2013 a jan/2014), em DBC, esquema fatorial (5x4x2). O progresso da doença variou nos dois anos de avaliação. No 1º ano, o pico da doença ocorreu, em agosto/2012 (4,68%), já no 2º ano, em setembro/2013 (9,79%). Houve interação entre doses de P_2O_5 e lâminas de irrigação, sendo observado o aumento da doença com o aumento das lâminas de irrigação até a lâmina de 1,0 do Kc e nas doses 80 a 240 Kg ha⁻¹ de P_2O_5 . O modelo não linear exponencial foi ajustado nos dois anos avaliados. Houve diferença significativa na AACPI, AACPE e na produtividade nos dois anos avaliados. Houve correlação negativa entre incidência e temperatura mínima no 1º ano e entre incidência e umidade relativa no 2º ano. O P disponível no solo apresentou correlação negativa entre a incidência e a AACPI, correlação negativa entre a AACPI e a produção no 1º ano e entre a incidência e Ca foliar nesse mesmo ano. Na análise de regressão das doses de P_2O_5 e os níveis de P-resina, foi observada regressão exponencial até a maior dose testada.

Palavras chave: *Coffea arabica* L.. Manejo de irrigação. *Phoma tarda*.

1 INTRODUÇÃO

Em 2014, o Brasil produziu 28,0 milhões de sacas de 60 kg de café (*Coffea arabica* L.), sendo o maior produtor e consumidor desta *commodity* no mundo (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS, 2017). Entre os estados brasileiros produtores de café, Minas Gerais é responsável por, aproximadamente, 59,8% da produção nacional, sendo o Sul desse estado a maior região produtora, com produtividade média de 30,4 sacas ha⁻¹ (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO, 2017). Entre os fatores responsáveis por queda de produtividade e qualidade do café, destacam-se as doenças, sendo a mancha de phoma (*Phoma tarda* R.W. Stewart) uma das principais, por causar grandes prejuízos para a cafeicultura, devido à queda de folhas, seca de ramos e mumificação de frutos, ocasionando perdas na produtividade em até 43% (POZZA; CARVALHO; CHALFOUN, 2010).

Com o intuito de evitar perdas na produtividade, a importância da irrigação torna-se evidente, pois atende a demanda de água das plantas, nos períodos críticos, não somente em regiões marginais ou sem aptidão para o cafeeiro, mas também, é necessário aplicá-la em quantidade correta até mesmo em localidades com boa aptidão para o cultivo. Em regiões com curtos períodos de deficiência hídrica, como o Sul de Minas Gerais, a irrigação suplementar tem se mostrado vantajosa, proporcionando aumentos significativos de produtividade (COELHO et al., 2009; GOMES; LIMA; CUSTÓDIO, 2007). Este incremento, mesmo em áreas com disponibilidade hídrica, ocorre, a partir do fornecimento de água, em momentos críticos da cultura e possibilita realizar a fertirrigação, a qual aumenta a umidade, em uma faixa estreita de solo, saturando os locais de fixação perto dos pontos de aplicação (ZANINI et al., 2007) e permitindo, assim, melhor absorção de nutrientes.

Estudando a incidência da mancha de phoma em cafeeiro irrigado por gotejamento sob diferentes manejos, entre as safras 2009 e 2011, Santos et al.

(2014) observaram, em 2010/2011, maior intensidade da doença quando comparada à safra anterior. As maiores incidências da doença ocorreram nos manejos sem irrigação e irrigados o ano todo, quando o fator de disponibilidade de água no solo (f) atingiu 0,75 na camada de 0-40 cm. De acordo com os autores, plantas com maior estresse hídrico ficam suscetíveis à infecção do patógeno. Vasco (2012), também, estudando a incidência da mancha de phoma, porém, em função do manejo de irrigação e da densidade de plantio, observou interação significativa entre os fatores, relatando maior incidência da doença no tratamento não irrigado, quando comparado aos irrigados, na densidade de 2.500 plantas ha⁻¹. De acordo com o autor, no tratamento não irrigado, a disponibilidade de nutrientes das plantas é menor, favorecendo maior infecção de *Phoma tarda*. Entretanto trabalhos relacionando a interação da irrigação e a nutrição de plantas e sua relação com a mancha de phoma do cafeeiro são escassos na literatura, tornando fundamental a realização de novos estudos para este patossistema.

Segundo Taiz e Zeiger (2013), entre todos os recursos necessários para a planta crescer e se desenvolver, a água e os nutrientes são os mais limitantes para a produtividade agrícola. Danos severos à lavoura podem ser ocasionados devido à deficiência desses fatores. Em lavouras cafeeiras, grandes quantidades de nutrientes são demandadas, entre eles, o P representa um consumo de, aproximadamente, 164,6 toneladas por ano de todo fósforo (P₂O₅) utilizado na agricultura do país (GUIMARÃES et al., 2010). Vários estudos têm sido feitos, na cultura do cafeeiro, quanto a nutrientes como N e K, consumidos em maiores quantidades, sendo assim, frequentemente relacionados com doenças no cafeeiro (CARVALHO et al., 1996; CATARINO et al., 2016; GARCIA JÚNIOR et al., 2003; LIMA et al., 2010; POZZA et al., 2000, 2001). O fósforo, no entanto se tornou, mais recentemente, foco de pesquisas em várias regiões e poucos estudos relacionam sua relação com a incidência de doenças (GRAHAM; MENGE,

1982; POZZA et al., 2002, 2007). Por se tratar de um nutriente absorvido do solo, por meio do processo de difusão, a umidade é de grande importância para levá-lo até as raízes. Dessa forma, uma das maneiras de maximizar a disponibilidade de fósforo no solo, para as plantas e ser aproveitado, de forma eficiente, é a utilização da irrigação, além de um possível aumento nas doses comumente utilizadas por cafeicultores.

Dessa forma, o estudo da interação entre a nutrição equilibrada e a quantidade de água disponível nas lavouras influencia diretamente a formação de barreiras físicas, para o controle dessa e de outras doenças (POZZA; POZZA, 2012). Em constante interação, estes fatores podem contribuir, para reduzir a severidade da doença e, conseqüentemente, o número de pulverizações com fungicidas.

Apesar da mancha de phoma ser importante, para a cultura do cafeeiro, trabalhos relacionando a interação de nutrientes e lâminas de irrigação com a doença são escassos, tornando essencial o conhecimento da interação dos nutrientes no campo. Com base nisso, o entendimento da interação entre doses de P_2O_5 e diferentes lâminas de irrigação permitirá gerar informações relevantes sobre o manejo eficaz da nutrição e irrigação no patossistema e fornecer subsídios para melhorar as recomendações de adubação, irrigação e o controle de doenças. Diante do problema, objetivou-se com este trabalho avaliar a interação de doses de P_2O_5 no solo e lâminas de irrigação na incidência da mancha de phoma (*Phoma tarda*) do cafeeiro no campo.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Local do experimento

O experimento foi conduzido de janeiro de 2012 a janeiro de 2014, duas safras, em razão da bienalidade de produção do cafeeiro (RENA; MAESTRI, 1987), localizado no Setor de Cafeicultura do Departamento de Agricultura da Universidade Federal de Lavras, em Lavras, Minas Gerais. A área experimental está localizada a 910 m de altitude, latitude de 21°14'06'' Sul e longitude de 45°00'00'' Oeste, em espaçamento semiadensado (3,0 m x 0,6 m), com 5.555 plantas ha⁻¹, irrigadas por sistema de gotejamento. Considerou-se como 1° ano de avaliação o período entre janeiro de 2012 a janeiro de 2013 e o 2° ano entre fevereiro de 2013 e janeiro de 2014. Foi utilizada a cultivar de *Coffea arabica* L., Topázio MG -1190, com dois anos de idade.

O solo da área foi classificado como latossolo vermelho (latossolo vermelho distroférico), com 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 e Al⁺³ = 0,40 cmolc/dm³.

Durante a realização do experimento, as variáveis climáticas (temperatura mínima, média e máxima, umidade relativa do ar, velocidade do vento, radiação e precipitação) foram coletadas por estação meteorológica automática µMetos®, localizada na área experimental.

2.2 Delineamento experimental

O delineamento experimental foi em blocos casualizados (DBC), com quatro repetições. As parcelas experimentais foram constituídas por 3 linhas de 13 plantas cada. Foram consideradas úteis as 11 plantas da linha central. A análise de variância foi em esquema fatorial (5x4x2), sendo cinco lâminas de irrigação correspondentes ao coeficiente da cultura (Kc = 0,4; 0,7; 1,0; 1,3 e 1,6), quatro doses de P₂O₅ (25 g cova⁻¹ apenas no plantio; 80; 240 e 720 kg ha⁻¹)

e dois anos de avaliação (1º ano = jan/2012 a jan/2013 e 2º ano = fev/2013 a jan/2014).

As lâminas de irrigação foram calculadas, de acordo com o método proposto por Villa-Nova et al. (2002) e aplicadas por sistema de gotejamento (400 kPa de pressão) com gotejadores de fluxo nominal de $3,75 \text{ L h}^{-1}$, espaçados 0,40 m ao longo da linha de irrigação. Os gotejadores foram dispostos próximos ao caule das plantas e a irrigação realizada três vezes por semana, obedecendo ao turno de rega fixo, formando bulbo molhado.

As doses de P_2O_5 foram divididas em doze aplicações mensais via fertirrigação (SOBREIRA et al., 2011), aplicadas junto com nitrogênio (N) e potássio (K), de acordo com Guimarães et al. (1999). No tratamento com aplicação de P_2O_5 apenas no plantio, os fertilizantes nitrato de potássio (KNO_3) (13% N e 44% K_2O) e ureia comum (45% N) foram usados como fontes de N e K_2O . Nos demais tratamentos, foram utilizados MAP purificado (11,9% N e 60,8% P_2O_5), nitrato de potássio KNO_3 (13% N e 44% K_2O) como fonte de K_2O , fornecendo, dessa forma, parte do nitrogênio necessário. Foi utilizada ureia nos tratamentos para suplementação de nitrogênio.

Na implantação da lavoura, foram aplicados 100 g de calcário dolomítico com 10,9% de óxido de magnésio e 41% de óxido de cálcio, por metro linear de sulco, misturado ao solo. Trinta dias após o transplante das mudas, foram aplicados 50% da dose de P_2O_5 (GUIMARÃES et al., 1999), equivalente a 25 gramas de P_2O_5 por cova e, após 10 meses do plantio, foram aplicados, via fertirrigação, os 50% restantes, juntamente com 20 g/cova de N e 20 g/cova de K_2O .

Os micronutrientes foram aplicados via foliar, conforme as recomendações de Guimarães et al. (1999), utilizando-se ácido bórico (17% de B), sulfato de zinco (20% de Zn e 9 % de S), cloreto de potássio (56 % de K_2O),

hidróxido de cobre e espalhante adesivo. O controle de pragas e de ervas daninhas foi efetuado de acordo com o nível de controle para a cultura.

2.3 Avaliações da doença e do enfolhamento

As avaliações da incidência da mancha de phoma e do enfolhamento da cultura foram realizadas a cada 30 dias, de janeiro de 2012 a janeiro de 2013 (1º ano) e fevereiro de 2013 a janeiro de 2014 (2º ano). Para avaliar a incidência, foram amostradas 12 folhas por planta, 6 folhas de cada lado da planta, por método não destrutivo, em onze plantas por parcela, totalizando 132 folhas por parcela, no 1º e/ou 2º par de folhas de ramos do terço superior da planta. A incidência da doença foi determinada, com base na porcentagem de folhas com sintomas da doença em relação ao total amostrado, conforme a equação 1 (CAMPBELL; MADDEN, 1990).

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

Em que:

I (%) = incidência da doença em porcentagem;

NFD = número de folhas doentes;

NTF = número total de folhas amostradas.

Bem como nas mesmas datas de avaliação da doença, 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 de incidência e de enfolhamento médios de todos os tratamentos, foram plotadas as curvas de progresso, ao longo do tempo, dessas duas variáveis para os anos 1 (16/01/2012 a 22/01/2012) e 2 (22/02/2013 a 20/01/2014), separadamente.

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

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

Em que:

AACPD= área abaixo da curva de progresso da doença (incidência ou enfolhamento),

Y_i = proporção da doença na i -ésima observação,

T_i = tempo em dias na i -ésima observação,

n = número total de observações.

2.4 Fertilidade do solo e nutrição das plantas

Avaliou-se, também, o estado nutricional das plantas, coletando-se um par de folhas do 3º ou 4º par dos ramos reprodutivos, no terço médio das plantas da parcela útil e, em cada face de exposição, em janeiro de 2012 e janeiro de 2013. Os teores foliares de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S), zinco (Zn), ferro (Fe), manganês (Mg), cobre (Cu) e boro (B) foram determinados de acordo com Malavolta, Vitti e Oliveira (1997). Uma amostra de solo também foi coletada, em novembro de 2012 com o objetivo de quantificar os teores de P-disponível, P-remanescente e P-resina, decorrentes das adubações de P_2O_5 em fertirrigação, como descrito no Manual de métodos de análises de solos da Embrapa (2011).

2.5 Colheita

A produtividade do cafeeiro foi avaliada, nos dias 10/07/2012 e 15/08/2013, com frutos colhidos manualmente, quando as plantas de cafeeiro atingiam média de, no máximo, 20% de frutos verdes. Após a derriça, foi medido o volume em litros do café colhido. Esses foram posteriormente transformados em kg ha^{-1} .

2.6 Análise dos dados

Curvas de progresso de incidência e do enfolhamento foram plotadas, em cada ano de avaliação, assim como o acumulado dos dados climatológicos, 30 dias anteriores a cada avaliação, usando o SigmaPlot 12.5 (SYSTAT SOFTWARE, SAN JOSE, CA, USA). Modelos de regressões não lineares foram ajustados desde o início da doença, ou incidência próximo a zero, até o máximo de incidência. Ou seja, nos períodos de 18 de maio a 22 de agosto de 2012 e de 07 de maio a 22 de setembro de 2013. Esses dados foram submetidos à análise de regressão. Variáveis com o F significativo ($P < 0,05$) foram submetidas ao ajuste dos modelos não lineares, exponencial, logístico, monomolecular e Gompertz. O melhor modelo foi escolhido, de acordo com o maior coeficiente de determinação (R^2) e o menor quadrado médio do erro (SAS INSTITUTE, 2008).

Os dados foram submetidos aos testes de Kolmogorov-Smirnov e Bartlett ($\alpha = 0,05$), para verificar os pressupostos de normalidade e homocedasticidade da ANOVA. Quanto aos dados de porcentagem e produtividade, que violaram os pressupostos da ANOVA, foram transformados para $\arcsen(\sqrt{x/100})$ e \sqrt{x} , respectivamente. Análises de three-way ANOVA ($\alpha = 0,05$) foram realizadas, para verificar os efeitos dos fatores em estudo (lâminas de irrigação, doses de P_2O_5 e ano de avaliação) e suas interações nas variáveis avaliadas (SAS INSTITUTE, 2008). Se a interação entre os fatores foi

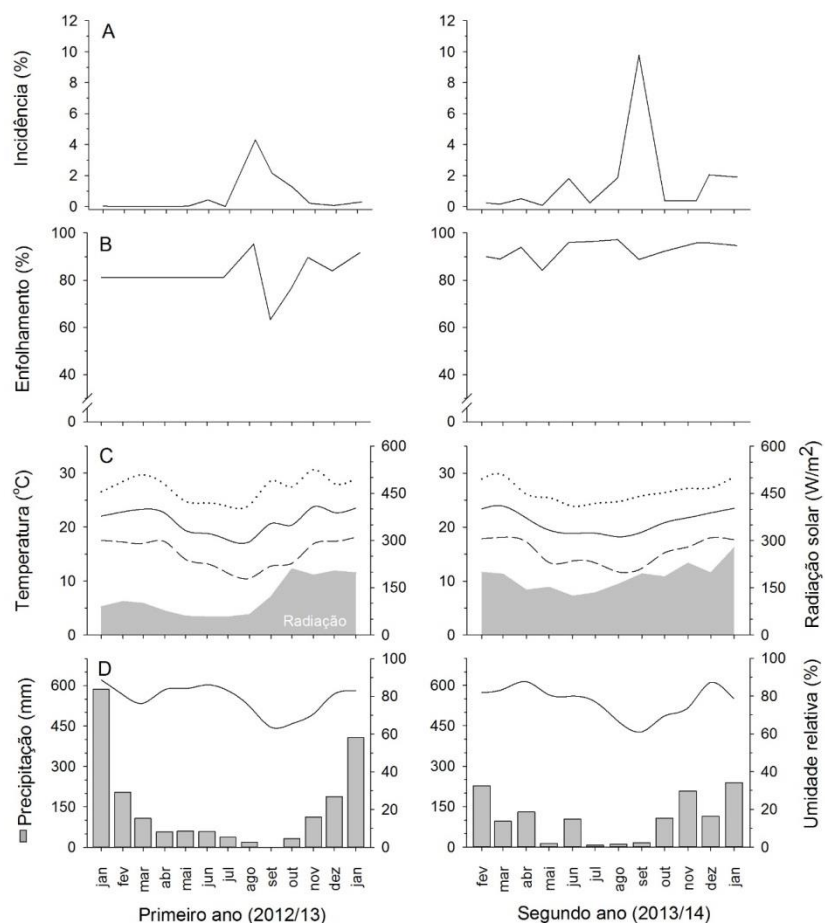
significativa, foi plotada a superfície resposta dos dados observados com o auxílio do software SigmaPlot 12.5 (SYSTAT SOFTWARE, SAN JOSE, CA, USA). Quando as interações entre os fatores em estudo não foram significativas, os efeitos dos tratamentos foram avaliados ao nível do fator principal de estudo. Entretanto, nas figuras, são apresentados os dados não transformados. Teores de fósforo no solo e P-resina foram submetidos à análise de regressão ($\alpha = 0.05$), usando doses de P_2O_5 como variável independente (SigmaPlot 12.5; Systat Software, San Jose, CA, USA). O melhor modelo de regressão foi selecionado com base no maior F-valor e maior coeficiente de determinação (R^2).

Análises de correlação de Pearson ($\alpha = 0.05$) foram realizadas para avaliar a relação entre os fatores em estudo e as variáveis resposta (SAS INSTITUTE, 2008). A incidência da doença, em cada ano, também foi submetida à análise de correlação de Pearson ($\alpha = 0,05$), com as variáveis climáticas (média dos 30 dias anteriores à avaliação) e análise de nutrientes foliares. No primeiro ano, analisou-se, ainda, a correlação da incidência e da AACPI, com os teores de P no solo. Já as correlações da produtividade com a AACPI e a AACPE foram analisadas nos dois anos experimentais (SAS INSTITUTE, 2008). As análises estatísticas do experimento e a comparação dos tratamentos foram realizadas utilizando o software estatístico SAS® v.9.3 (SAS INSTITUTE, 2008).

3 RESULTADOS

A curva de progresso da incidência da mancha de phoma apresentou comportamentos diferentes entre o 1º ano (janeiro 2012 a janeiro 2013) e 2º ano (fevereiro 2013 a janeiro 2014), porém maiores incidências ocorreram, em épocas semelhantes, nos dois períodos (**Figura 1A**).

Figura 1 - Curva de progresso da incidência média e amplitude da mancha de phoma (A), enfolhamento no cafeeiro (*C. arabica*) (B) e variáveis climáticas (C e D). Lavras, Minas Gerais.



Fonte: Dados do autor (2016)

O aumento da doença teve início, em maio de 2012 e em abril de 2013, no primeiro e segundo ano, respectivamente. A partir desse período, em ambos os anos, as datas de maiores incidências médias observadas foram agosto/2012 (4,68%) e setembro/2013 (9,79%), embora sua amplitude tenha sido de 0 a 33,3% em agosto do primeiro ano e setembro do segundo ano, período no qual ocorreu queda nas temperaturas máxima, média e mínima, umidade relativa e precipitação acumulada, registrando 24, 18, 12°C, 82%, 175 mm (1º ano) e 25, 19, 13,6°C, 75%, 281 mm (2º ano), respectivamente. As menores médias pluviométricas ocorreram, no período de maiores incidências da doença, sendo observada precipitação acumulada de 43 mm e 30 mm nos anos 1 e 2, respectivamente (**Figura 1C e 1D**).

Para os fatores climáticos, houve correlação negativa significativa ($P < 0,05$) entre a incidência da mancha de phoma com a temperatura mínima, no primeiro ano e umidade relativa, no segundo ano. Ou seja, com a redução da temperatura e da umidade relativa, a incidência da doença aumentou (1º ano). O mesmo comportamento foi observado com a queda da umidade relativa, no segundo ano (**Tabela 1**).

Tabela 1- Análise de correlação ($P < 0,05$) entre os fatores climáticos e a incidência da mancha de phoma (*Phoma tarda*) em cafeeiro, nos períodos de jan/2012 a jan/2013 (1º ano) e fev/2013 a jan/2014 (2º ano). Lavras, Minas Gerais.

Variáveis climáticas		Incidência (%)			
		Primeiro ano		Segundo ano	
		r	P	r	P
Temperatura (°C)	Max	-0,29	0,333	-0,16	0,616
	Med	-0,53	0,063	-0,31	0,327
	Min	-0,66*	0,014	-0,40	0,193
Umidade relativa (%)		-0,51	0,073	-0,61*	0,035
Radiação solar (W/m ²)		-0,10	0,743	0,13	0,671
Precipitação (mm)		-0,36	0,224	-0,29	0,353
Velocidade do vento (m/s)		0,01	0,969	0,512	0,088

* = Significativo a 5% de probabilidade de acordo com o teste F, Max = temperatura máxima; Med = temperatura média; Min = temperatura mínima; r = coeficiente de correlação; P = significância da correlação.

Fonte: Dados do autor (2016)

O modelo não linear de melhor ajuste foi o exponencial tanto para o 1º ($R^2 = 0,94$) quanto para o 2º ano ($R^2 = 0,87$) (**Tabela 2 e Figura 2**). Não foi observada estabilização da curva, no período final, apresentando queda repentina na incidência após o pico máximo de doença. Esse fato está relacionado com a queda de folhas e conseqüente redução do enfolhamento, nas plantas da parcela (**Figura 1B**), devido ao aumento da doença.

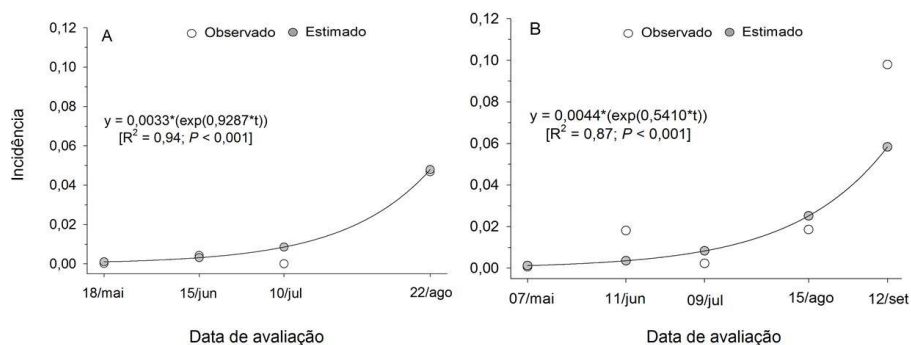
Tabela 2 - Ajuste de modelos não lineares do progresso de incidência da mancha de phoma (*Phoma tarda*) em cafeeiro, em dois anos, maio/2012 a ago/2012 (1º ano) e de maio/2013 a set/2014 (2º ano), em Lavras, Minas Gerais.

Ano	Modelos	Parâmetros (desvio padrão) ^a		Estatística ^b	
		y ₀	R	R ²	QME
Primeiro	Exponencial	0,003	0,928	0,94	2,46 x 10 ⁻⁵
	Gompertz	0,004	0,877	0,91	3,20 x 10 ⁻⁵
	Logística	0,003	0,925	0,93	2,48 x 10 ⁻⁵
	Monomolecular	0,004	0,697	0,68	1,00 x 10 ⁻⁴
Segundo	Exponencial	0,004	0,541	0,87	6,64 x 10 ⁻⁵
	Gompertz	0,007	0,528	0,79	1,06 x 10 ⁻⁴
	Logística	0,004	0,544	0,86	6,97 x 10 ⁻⁵
	Monomolecular	0,012	0,568	0,55	3,89 x 10 ⁻⁴

^ay₀ = inóculo inicial ou intercepto; r = taxa de progresso. ^bR² = coeficiente de determinação; QME = quadrado médio do resíduo.

Fonte: Dados do autor (2016)

Figura 2 - Regressão exponencial da incidência da mancha de phoma (*Phoma tarda*) em cafeeiro, em função da data de avaliação, no 1º (A) e 2º ano (B). Lavras, Minas Gerais.



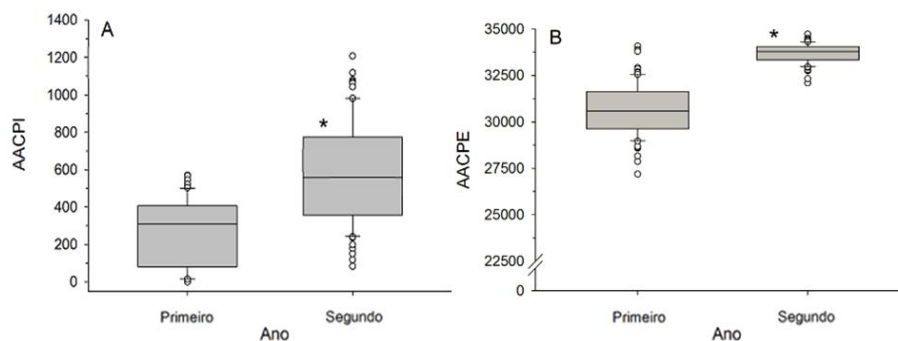
Fonte: Dados do autor (2016)

Não houve interação tripla significativa entre lâminas de irrigação, doses de P₂O₅ e ano de avaliação para as variáveis avaliadas. Quanto aos anos de

avaliação, houve diferença significativa, para todas as variáveis, incidência ($P < 0,001$), enfolhamento ($P < 0,001$), AACPI ($P < 0,001$), AACPE ($P < 0,001$) e produtividade ($P < 0,001$), justificando a análise dos dados separados anualmente.

Em relação à AACPI, houve diferença significativa ($P < 0,05$) entre os dois anos de avaliação (**Figura 3A**). No primeiro ano, a AACPI foi menor (280,0) em comparação ao segundo ano (565,3), com aumento de 50,5% da doença. Quanto à AACPE, também, houve diferença significativa ($P < 0,05$) entre os dois anos de avaliação. No primeiro ano, a AACPE foi 9,6% menor em relação ao segundo ano (**Figura 3B**).

Figura 3 - Área abaixo da curva de progresso da incidência (AACPI) da mancha de phoma do cafeeiro (A) e do enfolhamento (AACPE) (B) no 1º ano (2012/13) e no 2º ano (2013/14).

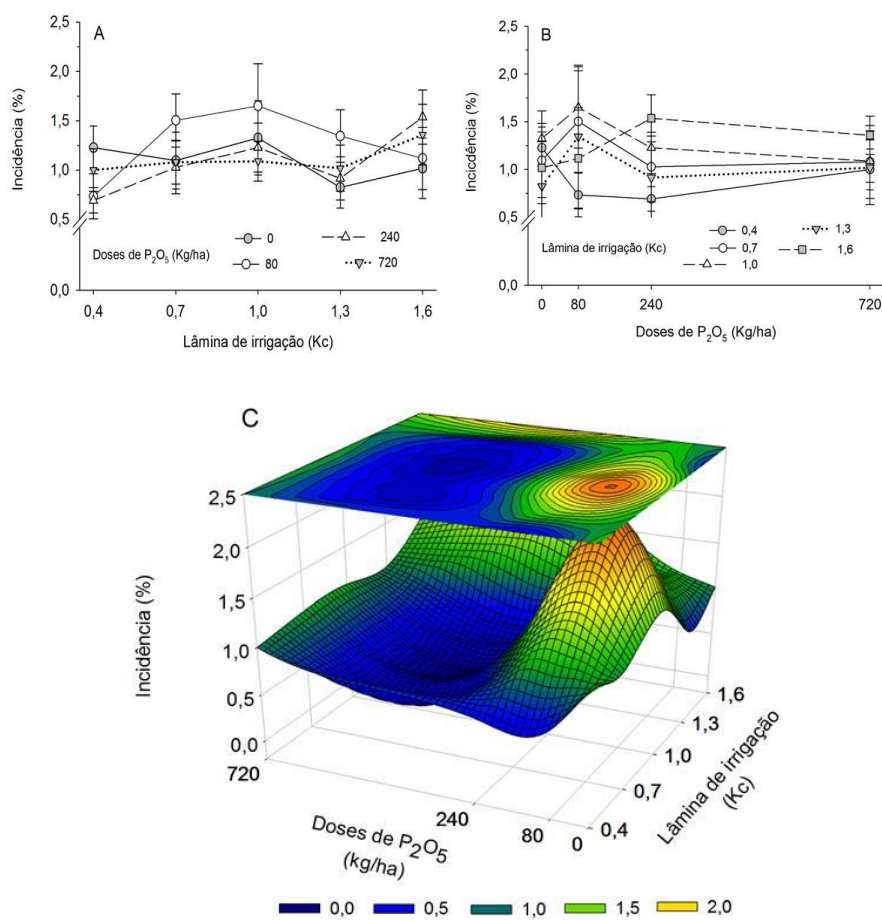


Fonte: Dados do autor (2016)

Houve interação significativa entre o efeito das doses de P_2O_5 e lâminas de irrigação para a incidência ($P < 0,05$) (**Figura 4**). De acordo com os dados, a incidência da mancha de phoma foi maior (2,5%) na lâmina de irrigação correspondente a 1,0 Kc e entre as doses de 80 a 240 $Kg\ ha^{-1}$ de P_2O_5 . Na lâmina de irrigação correspondente a 1,6 do Kc, com o aumento da dose de 240 para 720 $Kg\ ha^{-1}$ de P_2O_5 , também foi observado outro pico de incidência da doença

(2,0%). Com o aumento da lâmina de irrigação de 0,4 até 1,0 do Kc, nas doses de 240 a 720 Kg ha⁻¹ de P₂O₅, houve estabilização da doença, sendo a melhor relação para o manejo entre a interação desses dois fatores.

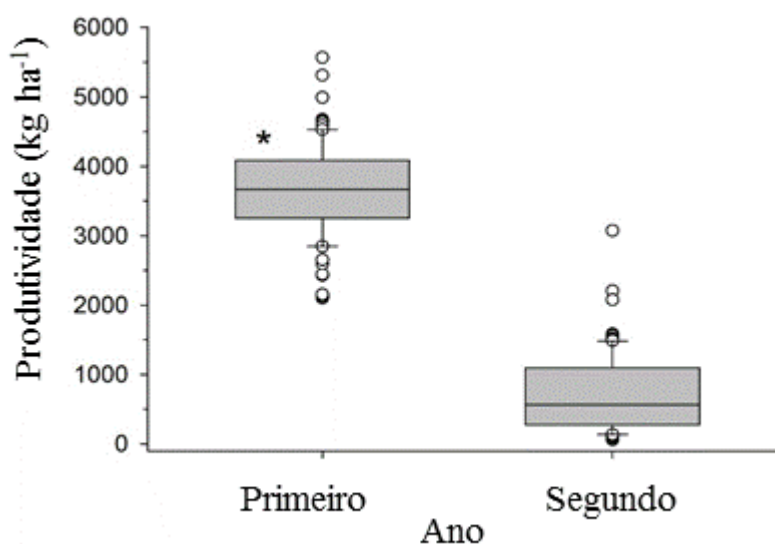
Figura 4 - Incidência (média ± erro padrão) da mancha de phoma (*Phoma tarda*) em cafeeiro, em função da lâmina de irrigação (A), das doses de P₂O₅ (B) e da interação entre esses fatores (C). Lavras, Minas Gerais (jan/2012 a jan/2014).



Fonte: Dados do autor (2016)

Para a produtividade, houve diferença significativa ($P < 0,05$) entre os dois anos (**Figura 5**). No primeiro ano, a produtividade média foi maior, $3.650,4 \text{ kg ha}^{-1}$, enquanto, no segundo ano, foi de 723 kg ha^{-1} . A produtividade foi inversamente proporcional à AACPI da doença, ou seja, no ano com menor incidência da doença, foi observada maior produtividade e, no segundo ano, com maior AACPI e menor produtividade.

Figura 5 - Produtividade do cafeeiro no 1º (2012) e 2º ano (2013).



Fonte: Dados do autor (2016)

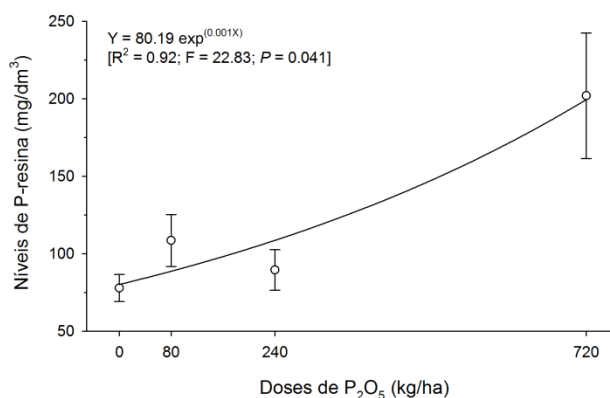
Para os nutrientes, houve correlação negativa significativa ($P < 0,05$) da incidência da mancha de phoma com o Ca no 1º ano (-0,28). Ou seja, quanto menor o teor de Ca maior a incidência da mancha de phoma, enquanto, no 2º ano, não houve diferença significativa entre incidência da doença e os nutrientes, de acordo com as análises foliares.

Em relação aos níveis de P no solo, houve correlação negativa significativa ($P < 0,05$) entre a análise de fósforo disponível com a incidência (-0,24) e AACPI da mancha de phoma (-0,24). A incidência e a AACPI foram maiores, quando a quantidade de fósforo disponível, para as plantas do cafeeiro foi inferior.

Entre a AACPI e a produtividade, houve correlação negativa significativa ($P < 0,05$) no 1º ano. Ou seja, com a queda da doença, houve aumento da produtividade. Já, no 2º ano, a correlação não foi significativa. Em relação à AACPE, a correlação com a produção não foi significativa nos 2 anos avaliados.

Em relação às doses de P_2O_5 utilizadas, as análises de regressão dos níveis de P-resina no solo foram significativas, quando comparadas às doses crescentes do nutriente aplicado no solo nos diferentes tratamentos. Foi observado efeito exponencial, em relação às doses de P_2O_5 aplicadas no solo com as quantidades de nutrientes presentes no teste de P-resina, sendo observada reposta no aumento em todas as doses testadas no solo (**Figura 6**).

Figura 6 - Análise de regressão dos níveis de P-resina em função das doses de P_2O_5 aplicadas via solo no cafeeiro (*C. arabica*). Lavras, Minas Gerais.



Fonte: Dados do autor (2016)

4 DISCUSSÃO

Houve variação temporal no progresso da mancha de phoma, em ambos os anos, de maio a agosto, no 1º ano e abril a setembro, no 2º ano, época de maior incidência da doença. Em cafeeiro, vários autores observaram maiores incidências da mancha de phoma em temperatura média abaixo de 20°C (LIMA et al., 2010; LORENZETTI et al., 2015; POZZA; CARVALHO; CHALFOUN, 2010; SALGADO et al., 2009). Além da temperatura, Santos et al. (2014), ao investigar a incidência da mancha de phoma, em cafeeiro irrigado por gotejamento, sob diferentes manejos de irrigação, observaram maiores incidências da doença, nos meses de julho e agosto e destacaram a importância da precipitação como um dos fatores responsáveis no aumento da doença. Segundo os autores, esse acréscimo está relacionado à presença de água disponível na folha, proveniente do orvalho e da gutação, fatores importantes para o progresso da doença, a qual não depende necessariamente da água proveniente da chuva ou da irrigação para progredir. Da mesma forma, essas condições foram observadas no presente trabalho. Durante a condução do trabalho, a precipitação acumulada no período de pico da doença foi a menor observada, durante toda a condução do ensaio, sendo de 43 e 30 mm, durante o 1º (abril/12 a agosto/12) e 2º ano (abril/13 a setembro/13), respectivamente, reiterando, assim, a importância do monitoramento das variáveis climáticas no manejo eficiente da doença. Essas variáveis climáticas são fatores importantes, para entender os melhores métodos de controle da doença e a sua correlação com a mancha de phoma ajuda no entendimento para o manejo. Vasco (2012), também, ao avaliar a mancha de phoma, observou correlação negativa entre severidade e as temperaturas máxima, média e mínima e precipitação em diferentes espaçamentos do cafeeiro. Neste trabalho, também, houve correlação negativa da temperatura mínima, no primeiro ano, com médias inferiores às observadas por Vasco (2012), nos anos de 2009 a 2011.

No geral, foi observada a redução drástica da intensidade da doença, em set/2012 e em out/2013, em razão da desfolha das plantas, decorrentes da colheita dos frutos e queda de folhas doentes. Santos et al. (2014), também, observaram redução drástica da intensidade da doença e do enfolhamento, nos meses de set/2010 e jul/2011, devido à a colheita foi realizada no mês anterior às avaliações. Segundo os autores a desfolha foi por efeito da queda, principalmente, das folhas com sintomas da mancha de phoma, as quais estavam debilitadas e, na colheita, caíram com maior facilidade, ocasionando, assim, maior desfolha e diluindo a incidência da doença nos meses seguintes.

No presente trabalho, houve interação entre doses de P_2O_5 e lâminas de irrigação na incidência da mancha de phoma. A maior incidência média da doença ocorreu na lâmina de irrigação recomendada por Villa-Nova et al. (2002), $Kc = 1,0$ e na dose de 80 kg ha^{-1} de P_2O_5 recomendada por Guimarães et al. (1999) para a cultura do café. Com o aumento das doses, de 240 a 720 kg ha^{-1} de P_2O_5 e, na porcentagem do valor do Kc adotado, $0,4$ a $1,3$, houve diminuição da incidência da doença e, nas menores doses, 0 a 80 kg ha^{-1} de P_2O_5 e menor Kc , $0,4$ a $1,0$, houve aumento da intensidade da mancha de phoma. O fósforo é de grande importância no metabolismo das plantas, desempenhando, dessa forma, papel de destaque na fotossíntese, na respiração, no metabolismo de açúcares, na divisão celular, no alargamento das células e na transferência da informação genética. Seu suprimento adequado promove o uso mais eficiente da água e, conseqüentemente, dos outros nutrientes (GUIMARÃES et al., 2011). Com isso, o equilíbrio entre fósforo e lâminas de irrigação podem proporcionar melhor controle da mancha de phoma.

Na literatura, trabalhos envolvendo a interação entre nutrição, irrigação e mancha de phoma são escassos. Em lavouras cafeeiras, grandes quantidades de nutrientes são demandadas, entre eles o P representa um consumo de, aproximadamente, $164,6$ toneladas por ano de todo fósforo (P_2O_5), utilizado na

agricultura do país (GUIMARÃES et al., 2010). Vários estudos têm sido feitos na cultura do cafeeiro quanto a nutrientes como N e K, consumidos em maiores quantidades, os quais são, frequentemente relacionados a doenças no cafeeiro (CARVALHO et al., 1996; CATARINO et al., 2016; GARCIA JÚNIOR et al., 2003; LIMA et al., 2010; POZZA et al., 2000, 2001). O fósforo, ainda assim tornou-se o mais recentemente foco de pesquisas, em várias regiões e poucos estudos relacionam sua relação com a incidência de doenças (GRAHAM; MENGE, 1982; POZZA et al., 2002, 2007). Por se tratar de um nutriente absorvido do solo, por meio do processo de difusão, a umidade é de grande importância para levá-lo até as raízes; por esse fator, uma das formas de maximizar a disponibilidade de fósforo no solo para as plantas e ser aproveitado de forma eficiente é a utilização da irrigação, além de um possível aumento nas doses comumente utilizadas por cafeicultores.

Provavelmente, o estresse associado à falta de água e absorção adequada de nutrientes favorece a suscetibilidade da planta ao patógeno. Da mesma forma, Lima et al. (2010) relataram a intensidade da mancha de phoma relacionada à nutrição de plantas do cafeeiro. Eles acrescentaram que não foi observada interação entre doses de N e K, porém o incremento dessas doses na solução nutritiva influenciou, significativamente e de forma independente, tanto a AACPI quanto a área abaixo da curva de progresso da severidade (AACPS) da mancha de phoma.

Já no patossistema *Cercospora coffeicola* e cafeeiro, Pozza et al. (2007) não identificaram diferenças na adubação suplementar de P e o aumento da severidade da doença. O fósforo, quando em deficiência, resulta em menor síntese proteica, redução dos alcaloides, lignina e glicosídeos (MARSCHNER, 2012). Segundo Zambolim e Ventura (1993), em certos casos, o aumento do nível de fósforo pode aumentar a severidade da doença, como ocorre na ferrugem da cana.

No entanto a irrigação supre as necessidades de água da planta, além de nutri-la melhor, propiciando, assim, maior enfolhamento (LIMA et al., 2010). Outros autores, também, estudaram a irrigação e o progresso de doenças. Para a ferrugem e a cercosporiose do cafeeiro, Paiva et al. (2011) observaram maiores intensidades da doença em plantas não irrigadas e em sistemas convencionais. Santos, Souza e Pozza (2004) e Vasco et al. (2015), também, observaram maior incidência da cercosporiose, em frutos de café, no tratamento não irrigado e nas menores lâminas de água. Segundo os autores, esse resultado ocorreu em virtude da deficiência hídrica associada à má absorção de nutrientes, principal causa da elevada intensidade da doença, por tornar as plantas suscetíveis à infecção de *Cercospora coffeicola*. Sendo assim, a irrigação deficitária ou o não fornecimento de água favoreceram a intensidade da doença, certamente, por não proporcionar fornecimento de nutrientes necessários à constituição da copa e à consequente formação de barreiras de resistência.

Os fatores culturais responsáveis por aumento da mancha de phoma devem ser estudados e entendidos, visando a melhorar as estratégias de controle e aumentar a eficiência. No presente trabalho, a interação entre as doses de fósforo com a irrigação foi significativa em relação à incidência média da mancha de phoma. A interação pode estar relacionada aos períodos críticos, os quais favorecem o desenvolvimento dessa doença, na planta do cafeeiro, observados, principalmente, próximos à colheita. Com o enchimento de grãos, a planta fica deficiente em nutrientes como P_2O_5 e necessita de água para a translocação e enchimento dos frutos (SANTOS et al., 2008), aumentando a incidência da doença.

Portanto o equilíbrio nutricional é importante para manejar as doenças. Tanto o excesso de P_2O_5 (240 Kg ha^{-1}), altas lâminas de água ($Kc = 1,6$) e doses intermediárias de P_2O_5 (80 kg ha^{-1}), valor recomendando por Guimarães et al. (1999), para produtividades de 60 sacas ha^{-1} , quanto a lâmina de água

recomendada, $K_c = 1,0$, apresentaram os maiores índices de incidência da doença. A ausência de fósforo no solo influenciou a incidência e AACPI da mancha de phoma. Houve correlação negativa entre o P disponível, a incidência e a AACPI. Pozza et al. (2007) não constataram relação entre a suplementação de fósforo com o aumento da incidência da cercosporiose em mudas de cafeeiro. Trabalhos envolvendo a incidência da mancha de phoma do cafeeiro e doses de P não foram encontrados na literatura. Santos et al. (2014) e Vasco (2012) observaram aumento na incidência da mancha de phoma, com a diminuição da disponibilidade de água no solo, relacionado à falta de água em períodos críticos e/ou de alta demanda da cultura com esse acréscimo.

Correlação negativa entre a AACPI e a produtividade foi observada no ano 1, safra de maior produção, demonstrando a relação direta entre o aumento da doença e a produtividade, ou seja, em anos de condições favoráveis à doença, a nutrição desequilibrada e o manejo mal feito afetam diretamente na produtividade. A bienalidade natural da cultura do cafeeiro, pode estar diretamente relacionada à incidência da mancha de phoma, assim, podendo ser observada, em anos de carga baixa e maior crescimento vegetativo, conseqüentemente, maior enfolhamento das plantas, ocorrendo maior incidência da doença, seca de ramos, atingindo as rosetas florais, ocorrendo necrose, de forma indireta, nas flores e frutos (POZZA; CARVALHO; CHALFOUN, 2010; VALE; ZAMBOLIM ZAMBOLIM, 2005) e contribuindo para a queda da produtividade.

A manipulação do meio ambiente por práticas culturais agrícolas como a irrigação e a fertilidade do solo ajudarão o produtor a reduzir a taxa de progresso das doenças, podendo ser uma importante estratégia de manejo (MADDEN; HUGHES; VAN DEN BOSCH, 2007), reduzindo a quantidade de aplicações de fungicidas e aumentando a rentabilidade da lavoura cafeeira.

5 CONCLUSÕES

Ocorreu progresso da doença nos dois anos avaliados.

Houve correlação negativa entre a mancha de phoma e a temperatura mínima, no 1º ano e a umidade relativa, no 2º ano e entre a incidência, a AACPI e os níveis de P disponível no solo.

Foi observada relação entre a disponibilidade de água e o suprimento de fósforo com a intensidade da doença, ocorrendo interação entre as lâminas de irrigação e as doses de fósforo na incidência da mancha de phoma do cafeeiro.

O melhor modelo não linear ajustado para a mancha de phoma foi o exponencial.

Na análise de regressão das doses de P_2O_5 e os níveis de P-resina, foi observada regressão exponencial até a maior dose testada.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao CNPq e FAPEMIG pela concessão da bolsa de estudos; à FAPEMIG, por financiamento do projeto. Ao Setor de Cafeicultura – área de cafeicultura irrigada da Universidade Federal de Lavras, por fornecer a área experimental e funcionários.

REFERÊNCIAS

- BOLDINI, J. M. **Epidemiologia da ferrugem e da cercosporiose em cafeeiro irrigado e fertirrigado**. 2001. 67 p. Dissertação (Mestrado em Fitopatologia - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2001.
- CAMPBELL, C. L.; MADDEN, L. V. **Introduction to plant disease epidemiology**. New York: John Wiley, 1990. 532 p.
- CARVALHO, V. L. et al. Influencia da produção na incidência da ferrugem do cafeeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 31, n. 6, p. 401-405, jun. 1996.
- CATARINO, A. M. et al. Calcium and potassium contents in nutrient solution on Phoma leaf spot intensity in coffee seedlings. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 63, n. 4, p. 486-491, jul./ago. 2016.
- COELHO, G. et al. Efeito de épocas de irrigação e de parcelamentos de adubação sobre a produtividade do cafeeiro 'Catuaí'. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 33, n. 1, p. 67-73, jan./fev. 2009.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira café: safra 2017: primeiro levantamento**, Brasília: Conab, 2017. 98 p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMPRAPA. **Manual de métodos de análises de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 212 p.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS - FAOSTAT. **Agricultural production and yield statistics**. Rome: FAO, 2017. Disponível em: <<http://faostat.fao.org/site/567/default.aspx#ancor>>. Acesso em: 15 mar. 2017.
- 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.

GRAHAM, J. H.; MENGE, J. A. Influence of vesicular-arbuscular mycorrhiza and soil phosphorus on take-all disease of wheat. **Phytopathology**, Estados Unidos, v. 72, n. 1, p. 95-98, Jan. 1982.

GUIMARÃES, P. T. G. et al. Adubação do cafeeiro e a qualidade do produto colhido. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 32, n. 261, p. 39-51, mar./abr. 2011.

_____. Cafeeiro. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ V. (Ed.). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação**. Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. p. 289-302.

GUIMARÃES, R. J. et al. Adubação para primeiro ano pós plantio (N e K₂O) de cafeeiros fertirrigados na região sul de Minas Gerais. **Coffee Science**, Lavras, v. 5, n. 2, p. 137-147, 2010.

LIMA, L. M. de et al. Relationship between nitrogen / potassium with *Phoma* spot and nutrition of coffee seedlings cultivated in nutrient solution. **Tropical Plant Pathology**, Lavras, v. 35, n. 4, p. 223-228, jul./ago. 2010.

LORENZETTI, E. R. et al. Effect of temperature and leaf wetness on *Phoma tarda* leaf spot in coffee seedlings. **Coffee Science**, Lavras, v. 10, n. 1, p. 1-9, jan./mar. 2015.

MADDEN, L. V.; HUGHES, G.; VAN DEN BOSCH, F. **The study of plant disease epidemics**. Saint Paul: American Phytopathological Society, 2007. 421 p.

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

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2. ed. London: Academic Press, 2012. 889 p.

PAIVA, B. R. T. L. et al. Progress of rust in coffee plants in various densities of cultivation in irrigated planting after pruning. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n. 1, p. 137-143, jan./fev. 2011.

POZZA E. A.; POZZA, A. A. A. A nutrição mineral no manejo de doenças de plantas. In: GRUPO DE ESTUDOS AVANÇADOS EM FITOPATOLOGIA (Ed.). **Nutrição no manejo de doenças de plantas**. Viçosa: GEAFIP, 2012. p. 177-212.

POZZA, A. A. A. et al. 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. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 3, p. 685-692, maio/jun. 2007.

_____. Influência da nutrição mineral na intensidade da mancha-de-olho-pardo em mudas de cafeeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, n. 1, p. 53-60, Jan. 2001.

_____. Intensidade da mancha de olho pardo em mudas de cafeeiro em função de doses de N e de K em solução nutritiva. **Summa Phytopathologica**, New York, v. 26, n. 1, p. 29-34, Jan. 2000.

_____. Suprimento de fósforo na produção e intensidade da cercosporiose de mudas de cafeeiro em tubetes. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 26, n. 5, p. 970-976, maio 2002.

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

RENA, A. B.; MAESTRI, M. Ecofisiologia do cafeeiro. In: CASTRO, P. R. C.; FERREIRA, S. O.; YAMADA, T. (Ed.). **Ecofisiologia da produção agrícola**. Piracicaba: Potafos, 1987. p. 119-147.

SALGADO, M. et al. Escala diagramática para avaliação da severidade da mancha de *Phoma* do cafeeiro. **Tropical Plant Pathology**, Brasília, v. 34, n. 6, p. 422-427, nov./dez. 2009.

SANTOS, F. D. S. et al. Adubação orgânica, nutrição e progresso de cercosporiose e ferrugem-do-cafeeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, n. 7, p. 783-791, jul. 2008.

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

SANTOS, L. S. D. et al. Incidência da Mancha de phoma em cafeeiro irrigado por gotejamento, sob diferentes manejos de irrigação. **Coffee Science**, Lavras, v. 9, n. 1, p. 77-89, jan./mar. 2014.

SAS INSTITUTE. **SAS/STAT user's guide**: volume 8. Cary: SAS Institute, 2008.

SHANER, G.; FINNEY, R. E. The effect of nitrogen fertilization on the expression of slow-mildewing resistance in Knox wheat. **Phytopathology**, Saint Paul, v. 67, n. 8, p. 1051-1056, 1977.

SIGMA PLOT. **Scientific graphing software**: version 10.0. San Rafael: Hearne Scientific Software, 2006.

SOBREIRA, F. M. et al. Adubação nitrogenada e potássica de cafeeiro fertirrigado na fase de formação, em plantio adensado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 46, n. 1, p. 9-16, jan. 2011.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2013. 918 p.

VALE, F. X. R. do; ZAMBOLIM, L.; ZAMBOLIM, E. M. Doenças do cafeeiro (*Coffea arabica* e *C. canephora*). In: KIMATI, H. et al. (Ed.). **Manual de fitopatologia**: doenças de plantas cultivadas: volume 2. 4. ed. São Paulo: Agronômica Ceres, 2005. p. 165-180.

VASCO, G. B. et al. Incidência da Cercosporiose em frutos de cafeeiro: diferentes densidades de plantio e manejos de irrigação. **Coffee Science**, Lavras, v. 10, n. 1, p. 38-45, jan./mar. 2015.

VASCO, G. B. **Intensidade da mancha de *Phoma* em função da densidade de plantio e manejo de irrigação em cafeeiro**. 2012. 54 p. Dissertação (Mestrado em Fitopatologia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2012.

VILLA-NOVA, N. A. et al. Estimativa do coeficiente de cultura (Kc) do cafeeiro em função de variáveis climatológicas e fitotécnicas. **Bragantia**, Campinas, v. 61, p. 81-88, 2002.

ZAMBOLIM, L.; VENTURA, J. A resistência a doenças indzida pela nutrição mineral das plantas. In: LUZ, W. C. **Revisão anual de patologia de plantas**. Passo Fundo: Editora da UPF, 1993. p. 275-309.

ZANINI, J. R. et al. Distribuição de fósforo no bulbo molhado, aplicado via fertirrigação por gotejamento com ácido fosfórico. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 27, n. 1, p. 180-193, jan./abr. 2007.

**ARTIGO 2 - INTERAÇÃO DE DOSES DE POTÁSSIO (K) E DE BORO
(B) NA INTENSIDADE DA MANCHA DE PHOMA DO CAFEIRO**

**ARTIGO FORMATADO DE ACORDO COM A NBR 6022 (ABNT, 2003),
COM ADAPTAÇÕES DO MANUAL DE NORMALIZAÇÃO DA UFLA.**

RESUMO

Objetivou-se avaliar a interação entre doses de potássio (K) e de boro (B) na intensidade da mancha de phoma do cafeeiro. Os tratamentos foram quatro doses de K, sendo 0, 100, 200 e 400 kg ha⁻¹, 4 doses de B, 0, 1, 2 e 4 kg ha⁻¹ e dois anos de avaliações (1º ano = nov/2012 a out/2013 e 2º ano = nov/2013 a nov/2014), em DBC, esquema fatorial (4x4x2), com quatro repetições. Realizaram-se vinte e quatro avaliações da incidência da mancha de phoma, nas folhas do cafeeiro, em 12 folhas por planta, no terço superior da planta. As avaliações foram realizadas em intervalos de 30 dias, durante 24 meses, de novembro de 2012 a outubro de 2014. Com os dados, calculou-se a área abaixo da curva de progresso da incidência (AACPI) e do enfolhamento (AACPE), para comparar os tratamentos, por meio da análise de variância. A curva de progresso média da incidência da mancha de phoma variou entre os dois anos de avaliação. Os picos das incidências médias, 2,6, 1,5, 2,4, e 1,3% ocorreram em 16/06 e 12/09 de 2013 e 20/01 e 24/04 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 as maiores temperaturas registradas e ocorrência fora do período normal da doença. Houve interação significativa entre as doses de K e de B com a AACPI e AACPE, na qual as doses entre 0 e 200 kg ha⁻¹ de K com doses entre 0 e 2 kg ha⁻¹ de B, apresentaram os maiores níveis de doença e, nas doses 0 a 100 kg ha⁻¹ de K e 2 a 4 kg ha⁻¹ de B, foi observado o menor enfolhamento. Com base nos resultados, a nutrição balanceada, além de minimizar alterações nutricionais, pode ser manipulada para reduzir o número de pulverizações com fungicidas neste patossistema.

Palavras-chave: *Coffea arabica*. *Phoma tarda*, nutrição mineral.

1 INTRODUÇÃO

Nos últimos 50 anos, tanto a produção quanto o consumo de café aumentaram consideravelmente. No mundo, mais de 70 países produzem café e mais de 50% deste total provêm de apenas três países, sendo o Brasil o principal produtor desta *commodity*, seguido de Vietnã e Indonésia (FOOD AND AGRICULTURE ORGANISATION OF THE UNITED NATIONS, 2017). O estado de Minas Gerais responde por, aproximadamente, 58,9% da produção de café do Brasil e o Sul de Minas é a maior região produtora do estado, com produtividade média de 30,4 sacas ha⁻¹ (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO, 2017). Entre os fatores responsáveis por queda de produtividade e qualidade do café destacam-se as doenças, sendo a mancha de phoma (*Phoma tarda* R.W. Stewart) uma das principais doenças da cultura, por causar grandes prejuízos à cafeicultura, devido à queda de folhas, seca de ramos e mumificação de frutos ocasionam perdas na produtividade em até 43% (POZZA; CARVALHO; CHALFOUN, 2010).

Com o intuito de evitar tais perdas, a nutrição mineral das plantas é um dos métodos culturais utilizados no manejo de doenças (DATNOFF; ELMER; HUBER, 2007; MARSCHNER, 2012). Segundo Taiz e Zeiger (2013), um dos fatores ambientais capaz de ser manipulado com relativa facilidade, para o controle de doenças, é a fertilidade do solo, contribuindo para reduzir a severidade da doença e o número de aplicações de fungicidas. Entretanto o conhecimento detalhado de como os nutrientes minerais aumentam ou diminuem a resistência do hospedeiro é necessário, em razão das propriedades histológicas e citológicas e, conseqüentemente, do processo de patogênese (MARSCHNER, 2012). Entre os nutrientes já estudados, para a mancha de phoma do cafeeiro, destacam-se o N, K e Ca. A aplicação de nutrientes como Ca e K, em equilíbrio e o fornecimento de N, de acordo com as

necessidades da planta, podem reduzir a intensidade de doenças (CATARINO et al., 2016; LIMA et al., 2010), contudo poucos estudos citam a influência do Boro (B) e de sua interação com o Potássio (K) na doença.

Nas lavouras cafeeiras, a adubação de cobertura, em aplicações localizadas e em grandes quantidades, resulta em desequilíbrio do K. Na planta, o K desempenha importante papel como ativador enzimático. Sob condições de deficiência desse nutriente, ocorre acúmulo de carboidratos, de compostos nitrogenados solúveis e de aminoácidos, diminuindo, assim, o teor de amido na atividade da quinase pirúvica e na síntese de proteínas (CARVALHO et al., 2010). Por ser o segundo nutriente mais exigido na cultura, pode proporcionar aumento ou redução da produtividade. Além disso, é considerado um dos nutrientes de maior influência sobre as doenças e a ele é atribuído o efeito benéfico, na sanidade de plantas, na maioria das espécies estudadas (PERRENOUD, 1990), devido ao aumento da resistência à penetração e ao desenvolvimento de muitos patógenos, resultado da ampliação da espessura das paredes celulares da epiderme (CARVALHO et al., 2010; MARSCHNER, 2012; TAIZ; ZEIGER, 2013).

Em relação aos micronutrientes, conhecer a sua demanda, para o cafeeiro ao longo do seu ciclo produtivo, contribui com a obtenção de altas produtividades (BRAGANÇA et al., 2007). O B é importante, para a formação da parede celular, lignificação e proporciona maior estabilidade da membrana plasmática (reduz o extravasamento do K, açúcares e aminoácidos), resultando em efeito benéfico para reduzir a severidade de doenças (BROWN et al., 2002; CARVALHO et al., 2010; DORDAS, 2008; FAQUIN, 2005; MARSCHNER, 2012). Na ausência de B, o desenvolvimento do tecido meristemático é paralisado, com a morte da gema terminal (CARVALHO et al., 2010). Nos solos brasileiros, o micronutriente B é um dos mais deficientes (FAQUIN, 2005; MALAVOLTA, 2006) e a sua função e relação com a resistência a patógenos,

ainda, é pouco compreendida (BLEVINS; LUKASZEWSKI, 1998; BROWN et al., 2002). Além de escasso nos solos brasileiros, é limitante ao crescimento do cafeeiro, pois, quando há deficiência deste nutriente, o vingamento das flores é afetado e pode ser facilmente confundido com os sintomas causados por *Phoma tarda* (ANDRADE, 2001; MALAVOLTA; YAMADA; GUIDOLIN, 1981).

Na cultura do cafeeiro, Lima et al. (2010) observaram a influência na incidência e na severidade da mancha de phoma, em mudas com desequilíbrio da relação N/K, em solução nutritiva, além de alterar o estado nutricional das plantas. Foi observado aumento linear de 34,8% da intensidade da doença com o acréscimo das doses de nitrogênio, porém, com o aumento das doses de K, verificou-se redução quadrática (34,3%) até a dose de 7,0 mmol L⁻¹. Já Catarino et al. (2016), ao pesquisar a influência das doses de Ca e de K, também, em solução nutritiva, e a mancha de phoma observaram interação significativa entre os nutrientes. Na menor dose de Ca (2 mmol L⁻¹) e nas maiores de K (6 e 7 mmol L⁻¹), aproximadamente, observaram menor AACPI. Para a AACPS, as menores doses de Ca e de K resultaram em menores severidades, assim concluiu-se que os suprimentos de Ca e de K, em solução nutritiva, reduziram as AACPI e AACPS da mancha de Phoma do cafeeiro e o uso desses nutrientes pode ser recomendado no manejo da doença. De acordo com os trabalhos, houve comportamento diferente da mancha de phoma em relação ao K e sua interação com outros nutrientes. Foi observado o progresso da doença com o aumento das doses de N e diminuição das doses de K e, quando relacionado K e Ca, houve menor AACPI, na menor dose de Ca e maiores doses de K e menor AACPS, nas menores doses de Ca e K.

Para outro patossistema, Pozza et al. (2001), também, em cafeeiro, estudaram os desequilíbrios nutricionais de nitrogênio/potássio (N/K) observando a predisposição das plantas à infecção por *Cercospora coffeicola*. Verificou-se aumento, na produção de matéria seca, redução

de 20,7% na área abaixo da curva de progresso do número de lesões/folha e alterações no estado nutricional das mudas de cafeeiro com aumento das doses de N, na solução nutritiva, ocorrendo o inverso ao relatado por Lima et al. (2010) para mancha de phoma.

Embora a mancha de phoma seja importante para a cultura do cafeeiro, poucos são os trabalhos relacionando a interação de nutrientes com a doença, sendo estes, na maioria, realizados em ambiente controlado, em solução nutritiva, tornando essencial o conhecimento da interação dos nutrientes no campo. Com base nisso, o entendimento da interação entre doses de K e B permitirá gerar informações relevantes sobre o manejo eficaz da nutrição no patossistema e fornecer subsídios para melhorar a recomendação de adubação e o controle de doenças. Diante do problema, objetivou-se com este trabalho avaliar a interação entre K e B na incidência da mancha de phoma (*Phoma tarda*) do cafeeiro no campo.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido entre novembro de 2012 e outubro de 2014, duas safras, devido à bienalidade de produção do cafeeiro (RENA; MAESTRI, 1987), no Setor de Cafeicultura do Departamento de Agricultura da Universidade Federal de Lavras, em Lavras, Sul do estado 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 1° ano de avaliação o período entre novembro de 2012 a outubro de 2013 e o 2° ano entre novembro de 2013 a outubro de 2014. Foi utilizada a cultivar de *Coffea arabica* L. Topázio MG 1190, com 4 anos de idade, em área de sequeiro.

Para análise química do solo, retirou-se uma amostra composta da área em outubro de 2012. O solo da área foi classificado como latossolo vermelho escuro distroférico, de textura argilosa, com características químicas antes do início do experimento de pH = 4,3, P = 2 mg dm⁻³, K = 125,5 mg dm⁻³, Ca⁺² = 0,9 cmolc dm⁻³, Mg⁺² = 0,3 cmolc dm⁻³, V(%) = 16%, m(%) = 35%, MO = 3,3 dag kg⁻¹, Zn = 2,2 mg dm⁻³, B⁺ = 0,3 mg dm⁻³ e Al⁺³ = 0,8 cmolc dm⁻³. No ano seguinte, em outubro de 2013, foram coletadas amostras simples de todas as parcelas úteis de cada tratamento, formando uma amostra composta das 4 repetições. Em ambas as coletas, encaminharam-nas ao Laboratório de análise de solo do Departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal de Lavras. Antes de aplicar os tratamentos, para corrigir o pH e fornecer Ca⁺² e Mg⁺² aplicaram-se, nos mesmos meses, em área total, 3 toneladas ha⁻¹ de calcário dolomítico, PRNT de 90% (GUIMARÃES et al., 1999). Para determinar o teor foliar dos nutrientes de todos os tratamentos, foram feitas duas amostragens, também em outubro de 2012 e de 2013. Com esse propósito, foi coletado um par de folhas de cada lado de todas as plantas da parcela útil, do 3° ou 4° par de folhas, com base no ápice de ramos plagiotrópicos produtivos, localizados no terço médio da planta. As determinações dos teores foliares foram feitas

conforme metodologia proposta por Malavolta, Vitti e Oliveira (1997). Foram, então, quantificados os teores foliares e do solo de todos os nutrientes e o potencial hidrogeniônico (pH). Durante a condução do experimento, não foram utilizados fungicidas para o controle das doenças.

O delineamento experimental foi em blocos casualizados (DBC), com quatro repetições, quatro doses de K (K_2O) e quatro doses de B, totalizando 16 tratamentos, em esquema de análise de variância fatorial. As doses de K_2O utilizadas foram: 0, 100, 200 (recomendação de GUIMARÃES et al., 1999), para produtividade de 60 sacas ha^{-1} e 400 $kg\ ha^{-1}$ para produção acima de 60 sacas ha^{-1} . As doses de B foram: 0, 1, 2 e 4 $kg\ ha^{-1}$ de B (recomendação de GUIMARÃES et al., 1999). As fontes utilizadas, para realizar esses tratamentos, foram KCl (60% de K_2O) e Borogran® (10% de ácido bórico), sendo o KCl parcelado em duas aplicações (dezembro/2012, janeiro/2013, dezembro/2013 e janeiro/2014) e o B em aplicação única em dezembro de 2012 e 2013. A parcela experimental foi constituída por 3 linhas de 8 plantas, sendo consideradas úteis as 6 plantas da linha central e as demais, bordadura.

As adubações com nitrogênio e fósforo foram feitas, seguindo recomendações de Guimarães et al. (1999), de acordo com análise de solo. Empregaram-se ureia ($1704\ kg\ ha^{-1}$) e superfosfato simples ($588\ kg\ ha^{-1}$) 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 ao ano, juntamente com a primeira aplicação de nitrogênio. Os demais micronutrientes, exceto B, foram aplicados duas vezes ao ano, via foliar, segundo as recomendações de Guimarães et al. (1999) com espalhante adesivo, de acordo com análise foliar.

As avaliações da incidência da mancha de phoma e do enfolhamento da cultura foram realizadas, a cada 30 dias, de novembro de 2012 a outubro de 2013 (1º ano) e novembro de 2013 a outubro de 2014 (2º ano). Para avaliar a

incidência, foram amostradas 12 folhas por planta, 6 folhas de cada lado da planta, por método não destrutivo, em seis plantas por parcela, totalizando 72 folhas por parcela, no 1º e/ou 2º par de folhas de ramos do terço superior da planta. A incidência da doença foi determinada, com base na porcentagem de folhas com sintomas da doença, em relação ao total amostrado, conforme a equação 1 (CAMPBELL; MADDEN, 1990).

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

Em que:

I (%) = incidência da doença em porcentagem;

NFD = número de folhas doentes;

NTF = número total de folhas amostradas.

Assim, nas mesmas datas de avaliação da doença, 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 de incidência e de enfolhamento médios 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 (AACPE), segundo Shaner e Finney (1977), de acordo com a Equação 2.

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

Em que:

AACPI ou AACPE = área abaixo da curva de progresso da doença (incidência ou enfolhamento),

Y_i = proporção da doença na i -ésima observação,

T_i = tempo em dias na i -ésima observação,

n = número total de observações.

As variáveis climáticas foram obtidas na estação climatológica principal de Lavras, localizada no campus da UFLA, a 380 m de distância do local do experimento.

Realizou-se a correlação de Pearson da AACPI com a média das variáveis climáticas coletadas 14 dias anteriores, a cada avaliação, com os teores foliares de nutrientes, com a fertilidade do solo e com as doses de K e B aplicadas entre novembro de 2012 a outubro de 2014.

A produtividade do cafeeiro foi avaliada nos dias 05/08/2013 e 09/06/2014, com frutos colhidos, manualmente, quando as plantas de cafeeiro atingiam média de no máximo 20% de frutos verdes. Após a derrça, foi medido o volume em litros do café colhido, posteriormente transformados em kg ha^{-1} .

Curvas de progresso de incidência e do enfolhamento foram plotadas, em cada ano de avaliação, assim como o acumulado dos dados climatológicos 14 dias anteriores a cada avaliação, usando o SigmaPlot 12.5 (SYSTAT SOFTWARE, SAN JOSE, CA, USA).

Os dados foram submetidos aos testes de Kolmogorov-Smirnov e Bartlett ($\alpha = 0,05$), para verificar os pressupostos de normalidade e homocedasticidade da ANOVA (SAS INSTITUTE, 2008). Quando os dados de porcentagem e produtividade violaram os pressupostos da ANOVA, esses foram transformados para $\sqrt{x + 1}$. Análises de three-way ANOVA ($\alpha = 0,05$) foram realizadas, para verificar os efeitos dos fatores de estudo (doses de B, doses de K

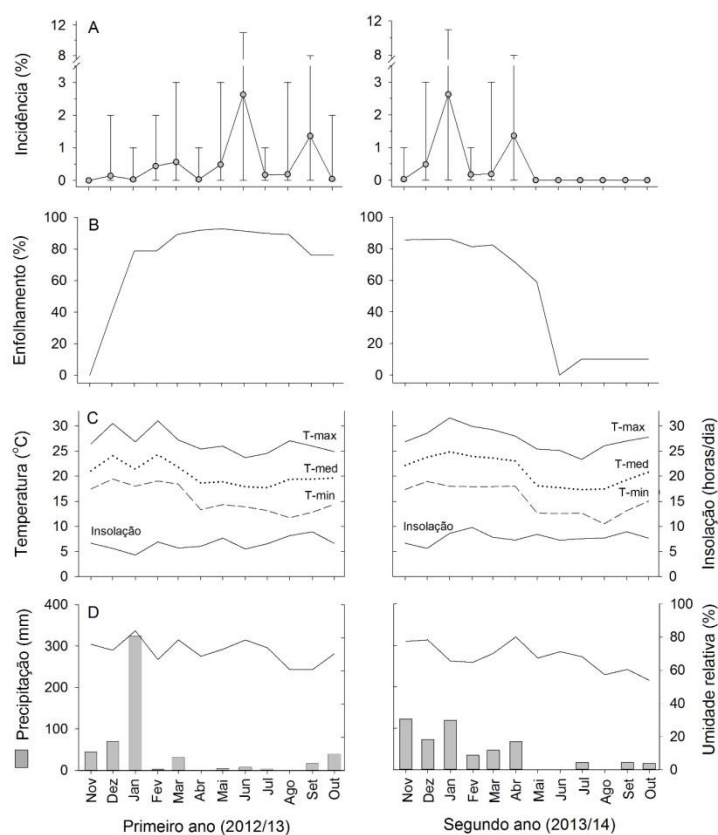
e ano de avaliação) e suas interações, nas variáveis respostas avaliadas (SAS INSTITUTE, 2008). Se a interação entre os fatores foi significativa, foi plotada a superfície resposta. Quando as interações não foram significativas, os efeitos dos tratamentos individuais foram estudados ao nível do fator principal de estudo. Entretanto, nas figuras, são apresentados os dados não transformados. Teores de B e de K, no solo e nas folhas do cafeeiro, foram submetidos à análise de regressão ($\alpha = 0.05$), usando doses de B e K como variáveis independentes, respectivamente (SigmaPlot 12.5; Systat Software, San Jose, CA, USA). O melhor modelo de regressão foi selecionado com base no maior F-valor e maior coeficiente de determinação (R^2).

Análises de correlação de Pearson ($\alpha = 0.05$) foram realizadas para avaliar a relação entre os fatores em estudo e as variáveis resposta (SAS INSTITUTE, 2008).

3 RESULTADOS

A curva de progresso média da incidência da mancha de phoma 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 incidências foram observadas no ano 1. Em ambos os anos ocorreram picos da doença, em diferentes datas, com aumento crescente na incidência até junho de 2013 no ano 1 e janeiro de 2014 no ano 2.

Figura 1 - Curvas de progresso da (A) incidência média e amplitude da mancha de phoma (*P. tarda*), (B) enfolhamento no cafeeiro (*C. arabica*) e (C, D) variáveis climáticas. Lavras, Minas Gerais.



Fonte: Dados do autor (2016)

No primeiro ano, a maior incidência média foi observada no mês de junho (2,6%) e, no segundo ano (2,4%), em janeiro, embora sua amplitude foi de 0 a 12 % em junho, no primeiro ano e de 0 a 11% em janeiro, no segundo ano. Em ambos os anos foi observada, após o pico da doença, queda da incidência da mancha de phoma do cafeeiro. No segundo ano, houve queda acentuada do enfolhamento, próximo de 0% em junho de 2014, diminuindo, assim, a incidência da doença a partir deste período. Nos meses de máxima incidência da mancha de phoma do cafeeiro, foram observadas temperaturas médias de 17 e 23°C, alta umidade relativa (78 e 65%) e acúmulo de precipitação de 8,1 e 118 mm, em junho/2013 e janeiro/2014, respectivamente (Figura 1C e 1D), valores médios e/ou acumulados registrados 14 dias antes das avaliações. Além disso, houve correlação positiva da incidência da mancha de phoma do cafeeiro com as temperaturas máxima, média e precipitação total no segundo ano (**Tabela 1**).

Tabela 1 – Análise de correlação de Pearson ($\alpha= 0.05$) entre variáveis climáticas (média 14 dias antes da avaliação) e incidência da mancha de phoma (*P. tarda*) do cafeeiro (*C. arabica*) em Lavras, Minas Gerais.

Variáveis climáticas		Incidência (%)			
		Primeiro ano		Segundo ano	
		r	P	r	P
Temperatura (°C)	Max	- 0,35	0,26 ^{ns}	0,65	0,02*
	Med	- 0,33	0,30 ^{ns}	0,59	0,04*
	Min	- 0,25	0,43 ^{ns}	0,51	0,09 ^{ns}
Umidade relativa (%)		0,04	0,90 ^{ns}	0,22	0,49 ^{ns}
Precipitação (mm)		- 0,25	0,44 ^{ns}	0,65	0,02*
Insolação (hs/dia)		0,07	0,82 ^{ns}	0,08	0,79 ^{ns}
Velocidade do vento (m/s)		- 0,32	0,31 ^{ns}	- 0,01	0,97 ^{ns}

* = Significativo a 5% de probabilidade de acordo com o teste F, ^{ns} = não significativo; Max = temperatura máxima; Med = temperatura média; Min = temperatura mínima; r = coeficiente de correlação de Pearson; P = significância da correlação.

Fonte: Dados do autor (2016)

Não houve interação tripla significativa entre doses de K e B e ano de avaliação em nenhuma das variáveis avaliadas. Quanto aos anos de avaliação,

houve diferença significativa para incidência ($P = 0,01$), AACPE ($P < 0,001$) e produtividade ($P < 0,001$), justificando a análise dos dados separados anualmente (**Tabela 2**).

Tabela 2 - Three-way ANOVA ($\alpha= 0.05$) indicando os efeitos dos fatores de estudo doses de B e K e suas interações na incidência da mancha de phoma (*P. tarda*), enfolhamento, AACPI e AACPE e produtividade do cafeeiro (*C. arabica*). Lavras, Minas Gerais.

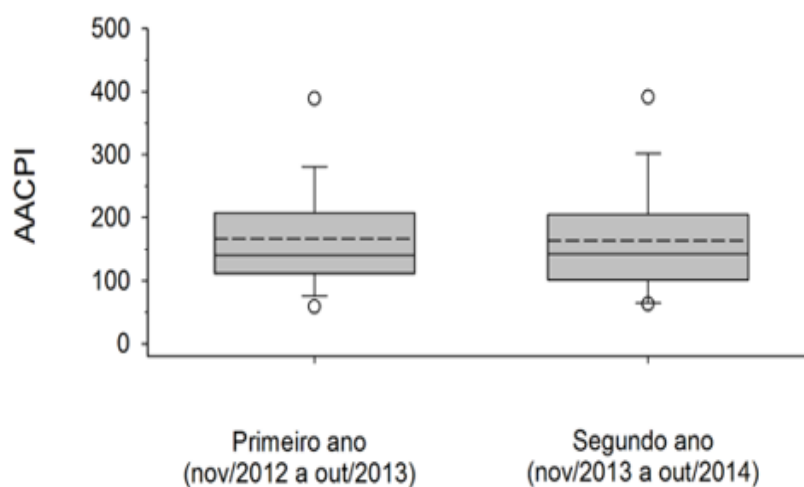
Fonte de variação	gl	Incidência (%)		Enfolhamento (%)		AACPI		AACPE		Produtividade (kg ha ⁻¹)	
		F	P	F	P	F	P	F	P	F	P
Ano de avaliação (A)	1	6.48	0.013*	4091.92	< 0.001*	0.17	0.684 ^{ns}	1659.94	< 0.001*	1728.50	< 0.001*
Doses de Boro (B)	3	3.78	0.013*	2.17	0.096 ^{ns}	3.70	0.014*	1.98	0.123 ^{ns}	0.90	0.444 ^{ns}
Doses de Potássio (C)	3	0.84	0.473 ^{ns}	4.01	0.009*	0.68	0.564 ^{ns}	4.50	0.005*	0.34	0.799 ^{ns}
Interação A x B	3	0.09	0.964 ^{ns}	0.38	0.771 ^{ns}	0.06	0.979 ^{ns}	0.59	0.621 ^{ns}	0.35	0.791 ^{ns}
Interação A x C	3	0.08	0.967 ^{ns}	2.13	0.101 ^{ns}	0.06	0.978 ^{ns}	1.26	0.292 ^{ns}	0.33	0.806 ^{ns}
Interação B x C	9	1.82	0.075 ^{ns}	2.37	0.018*	1.98	0.049*	2.38	0.017*	0.98	0.459 ^{ns}
Interação A x B x C	9	0.05	0.999 ^{ns}	0.310	0.970 ^{ns}	0.09	0.999 ^{ns}	0.28	0.978 ^{ns}	43.33	0.832 ^{ns}

* = Significativo a 5% de probabilidade de acordo com o teste F, ^{ns} = não significativo; os dados foram transformados para $\sqrt{(x + 1)}$, antes das análises, para atender aos pressupostos da ANOVA. gl = graus de liberdade; F = valor crítico da ANOVA; P = valor de probabilidade.

Fonte: Dados do autor (2016)

Não houve diferença significativa entre AACPI nos anos avaliados (Figura 2). O ano 1 foi de 167, superior ao ano 2, de 143, ou seja, 15,0% maior.

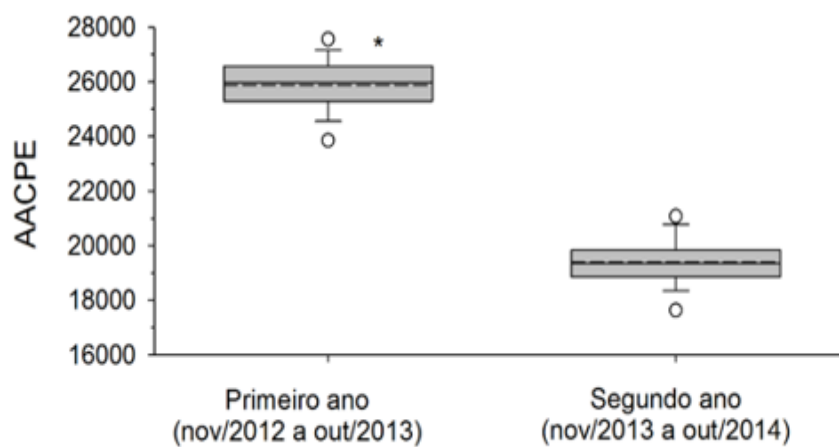
Figura 2 - Área abaixo da curva de progresso da doença para incidência (AACPI) da mancha de phoma (*P. tarda*) do cafeeiro (*C. arabica*), no primeiro (novembro de 2012 a outubro de 2013) e no segundo ano (novembro de 2013 a outubro de 2014).



Fonte: Dados do autor (2016)

Houve diferença significativa entre AACPE e os anos avaliados (Figura 2). O primeiro ano foi de 25.878, e o segundo ano de 15.536, ou seja, 66,0% maior.

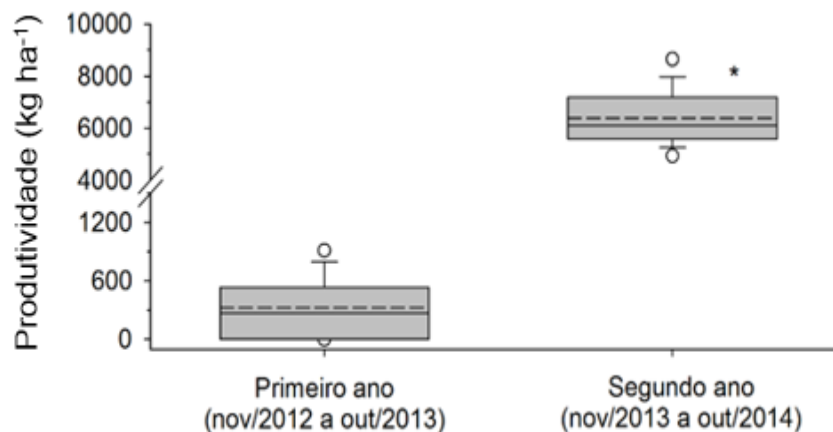
Figura 3 - Área abaixo da curva de progresso do enfolhamento (AACPE) do cafeeiro (*C. arabica*), no primeiro (novembro de 2012 e outubro de 2013) e segundo ano (novembro de 2013 a outubro de 2014).



Fonte: Dados do autor (2016)

Para a variável produtividade média, ocorreu diferença significativa ($P < 0,001$) entre os anos 1 e 2 (**Figura 4**). A produtividade no primeiro ano foi menor ($386,4 \text{ kg ha}^{-1}$) em relação ao segundo ano (6.390 kg ha^{-1}).

Figura 4 - Produtividade do cafeeiro, em kg ha^{-1} , no primeiro (novembro de 2012 e outubro de 2013) e segundo ano (novembro de 2013 a outubro de 2014).

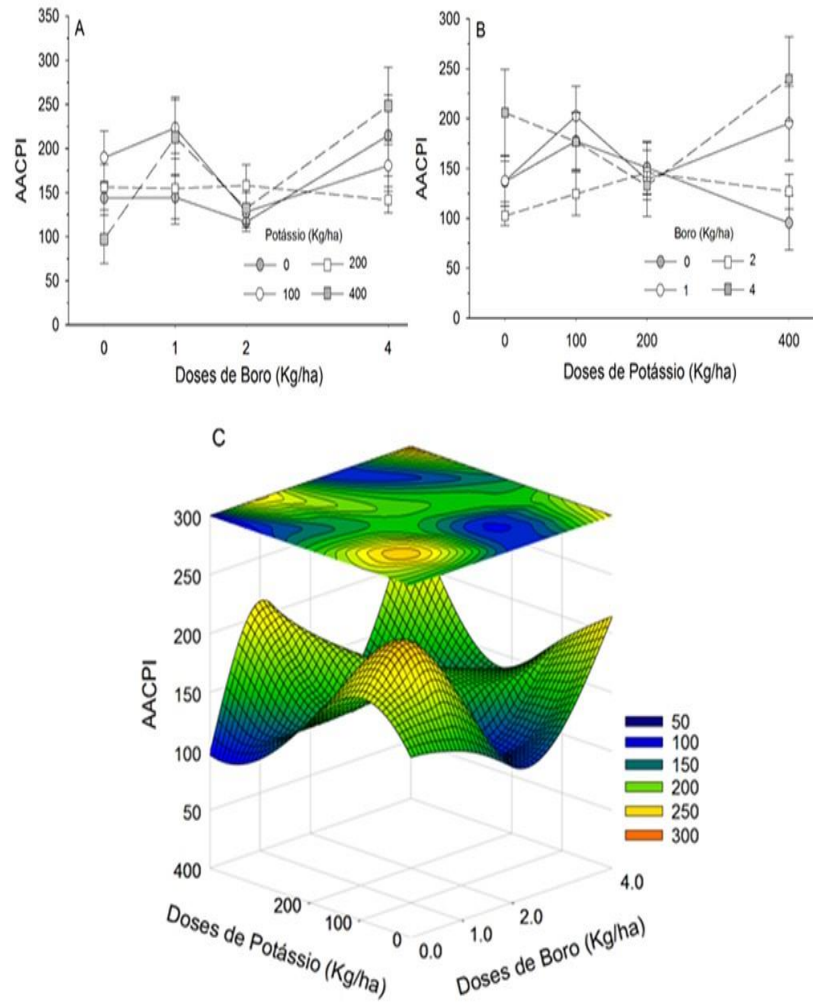


Fonte: Dados do autor (2016)

Houve interação significativa entre as doses de K e de B para a AACPI ($P < 0,05$) e AACPE ($P = 0,02$), média dos dois anos de avaliação (**Figuras 5 e 6**).

As maiores AACPI de 250 a 300 ocorreram nas menores doses de K (100 kg ha^{-1}) e 1 kg ha^{-1} de B e nas maiores doses de K (400 kg ha^{-1}) e B (4 kg ha^{-1}). As menores AACPI (de 50 a 100) foram observadas com doses entre as combinações de doses 0 a 1 kg ha^{-1} de B, com doses altas de K, (200 a 400 kg ha^{-1}), doses baixas de K, (0 a 100 kg ha^{-1}) com doses intermediárias de B, entre 2 e 4 kg ha^{-1} e, também, doses de K no intervalo de 200 a 400 kg ha^{-1} e B de 2 a 4 kg ha^{-1} (**Figura 5A, 5B e 5C**).

Figura 5 - Média (\pm erro padrão) da área abaixo da curva de progresso de incidência (AACPI) da mancha de phoma (*P. tarda*) do cafeeiro (*C. arabica*), em função dos fatores de estudo: doses de (A) Boro e (B) Potássio e a (C) interação entre estes fatores. Lavras, Minas Gerais.

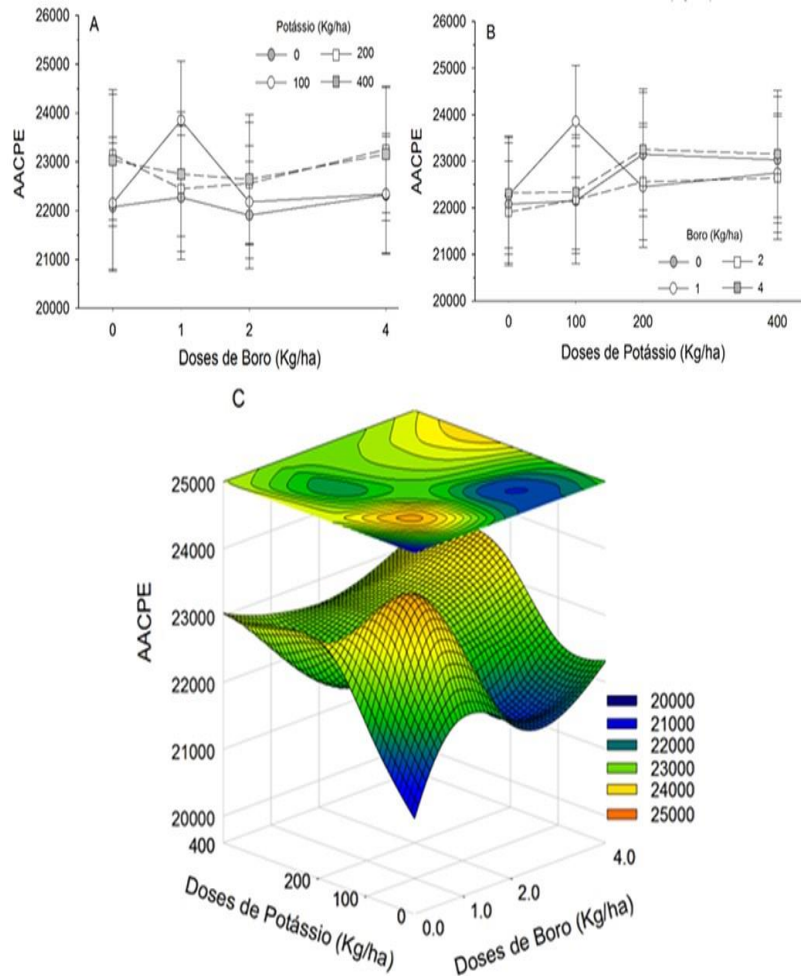


Fonte: Dados do autor (2016)

As maiores AACPE (2300 a 2400) ocorreram, nas doses de 100 kg ha⁻¹ de K e 1 kg ha⁻¹ de B e, no intervalo entre as doses de 200 a 400 kg ha⁻¹ de K e,

na maior dose de B (4 kg ha^{-1}), demonstrando o efeito da interação entre os nutrientes (Figura 6A, 6B e 6C), ou seja, plantas bem nutridas e, conseqüentemente, com maior enfolhamento, ficam predispostas à ocorrência da doença (Figura 6).

Figura 6 - Média (\pm erro padrão) da área abaixo da curva de progresso de enfolhamento (AACPE) do cafeeiro (*C. arabica*) em função dos fatores de estudo: doses de (A) Boro e (B) Potássio e a (C) interação entre estes fatores. Lavras, Minas Gerais.



Fonte: Dados do autor (2016)

Observou-se correlação positiva significativa entre K aplicado no solo com o enfolhamento e com a AACPE (**Tabela 3**).

Tabela 3 - Análise de correlação de Pearson ($\alpha= 0.05$) entre doses de Boro e Potássio com a incidência da mancha de phoma (*P. tarda*), enfolhamento, AACPI, AACPE e produtividade do cafeeiro (*C. arabica*), em dois anos. Lavras, Minas Gerais.

Nutriente (doses)	Incidência (%)		Enfolhamento (%)		AACPI		AACPE		Produtividade (kg ha ⁻¹)	
	R	P	R	P	R	P	r	P	r	P
Primeiro ano (nov/2012 a out/2013)										
Boro	0,18	0,167 ^{ns}	- 0,05	0,708 ^{ns}	0,15	0,233 ^{ns}	- 0,04	0,757 ^{ns}	0,11	0,383 ^{ns}
Potássio	0,01	0,569 ^{ns}	0,38	0,002*	0,06	0,620 ^{ns}	0,38	0,002*	- 0,01	0,981 ^{ns}
Segundo ano (nov2013 a out/2014)										
Boro	0,14	0,262 ^{ns}	0,03	0,795 ^{ns}	0,15	0,225 ^{ns}	0,09	0,460 ^{ns}	- 0,02	0,860 ^{ns}
Potássio	0,01	0,981 ^{ns}	0,04	0,727 ^{ns}	0,01	0,905 ^{ns}	0,11	0,392 ^{ns}	0,02	0,838 ^{ns}

* = Significativo a 5% de probabilidade de acordo com o teste F; ^{ns} = não significativo; r = coeficiente da correlação de Pearson; P = significância da correlação.

Fonte: Dados do autor (2016)

Houve correlação positiva entre AACPI e AACPE com a produtividade no ano 2 (**Tabela 4**).

Tabela 4 - Análise de correlação de Pearson ($\alpha= 0.05$) entre a produtividade do cafeeiro (*C. arabica*) e a AACPI da mancha de phoma (*P. tarda*) e AACPE. Lavras, Minas Gerais.

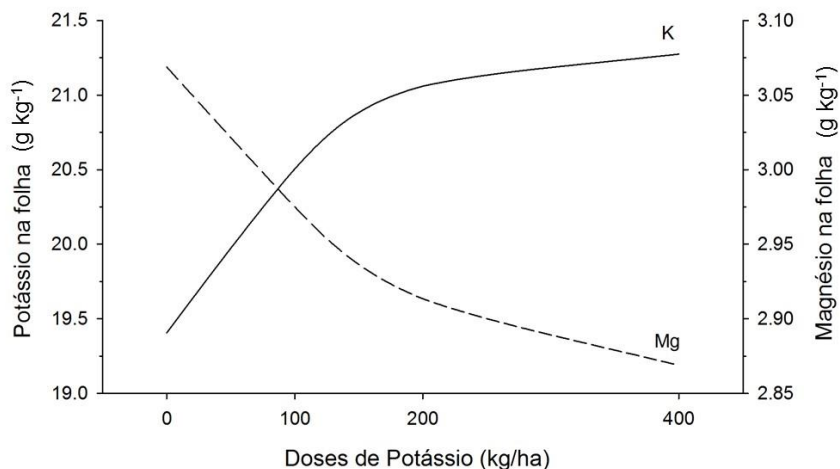
Variáveis	Produtividade (kg ha ⁻¹)			
	Primeiro ano (nov/2012 a out/2013)		Segundo ano (nov/2013 a out/2014)	
	r	P	R	P
AACPI	0,17	0,188 ^{ns}	0,31	0,01*
AACPE	0,09	0,474 ^{ns}	0,27	0,03*

* = Significativo a 5% de probabilidade de acordo com o teste F; ^{ns} = não significativo; r = coeficiente de correlação de Pearson; P = significância da correlação.

Fonte: Dados do autor (2016)

Em relação à nutrição, ocorreu redução do magnésio de acordo com o aumento das doses de K na folha e das doses aplicadas no campo (**Figura 7**).

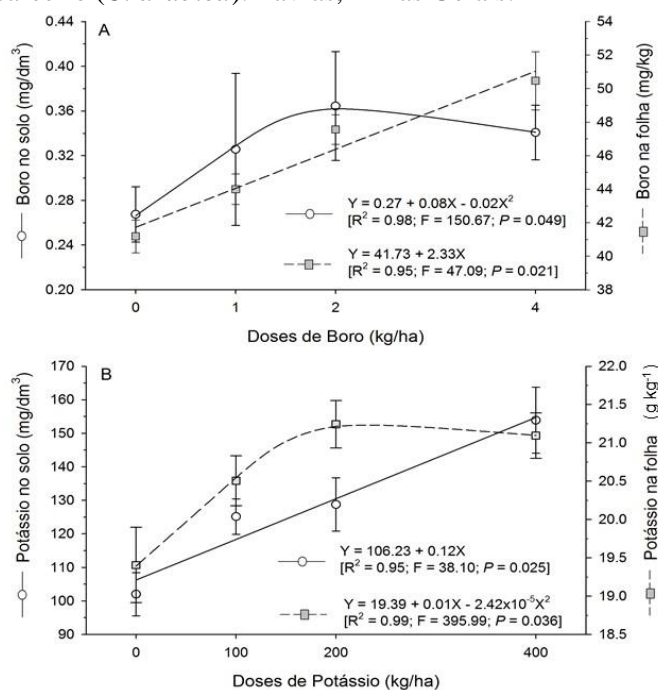
Figura 7 - Relação dos teores de Potássio (K) e Magnésio (Mg) na folha do cafeeiro (*C. arabica*) em função da adubação com K (kg ha⁻¹). Lavras, Minas Gerais.



Fonte: Dados do autor (2016)

Em relação às doses de K e B utilizadas, as análises de regressão dos teores foliares e químicos no solo foram significativas, quando comparado a doses crescentes dos nutrientes aplicadas no solo nos diferentes tratamentos. Foi observado efeito linear em relação a doses do micronutriente B, aplicadas no solo com as quantidades de nutrientes presentes na folha e regressão quadrática, nas quantidades presentes no solo, não sendo observada resposta com o aumento das doses no solo a partir da dose de 2 kg ha⁻¹ de B, (**Figura 8**). Já, em relação ao macronutriente K, foi observado o inverso, sendo o efeito linear em relação às doses aplicadas no solo e a quantidade de K, no solo e regressão quadrática com as quantidades do nutriente presentes na folha, não sendo observada resposta no aumento das doses no solo a partir de 200 kg ha⁻¹.

Figura 8 - Análise de regressão dos teores foliares e no solo de Boro e Potássio em função das doses de (A) Boro e (B) Potássio em cultivo do café (C. arabica). Lavras, Minas Gerais.



Fonte: Dados do autor (2016)

4 DISCUSSÃO

Houve variação temporal no progresso da mancha de phoma de junho a setembro no 1º ano e janeiro a abril no 2º ano, épocas de maior incidência da doença. De acordo com a curva de progresso da doença, no primeiro ano, com o aumento da incidência nos meses de junho e setembro, pôde-se observar a relação das variáveis climáticas com a doença. Santos et al. (2014), também em campo, observaram, ainda, maiores incidências da mancha de phoma, em junho/2011, época de temperaturas mínimas médias, em torno de 16 a 19°C e baixas precipitações. Vasco (2012), de igual modo, estudando a mancha de phoma do cafeeiro no campo, destacou maior incidência em julho e agosto de 2010 e julho de 2011, com 21,43%, 19,89% e 17,01%, respectivamente e menores índices de pluviosidade. Neste trabalho, em junho/2013, maior pico do primeiro ano de avaliação, foram observadas temperaturas máximas, média e mínimas em torno de 23, 17 e 13°C, respectivamente e precipitação acumulada de 8,1 mm, 14 dias antes da avaliação, sendo semelhante às condições relatadas por Santos et al. (2014) e Vasco (2012).

Já, no segundo ano, altas precipitações foram registradas, nos meses de dezembro de 2013 e janeiro de 2014, ocorrendo queda de temperatura devido à baixa incidência solar, fatores os quais contribuíram, para a ocorrência atípica da doença, reiterando, assim, a importância do monitoramento climático para o controle efetivo da mancha de phoma. As temperaturas registradas no período foram mínimas de 17°C e médias de 24°C. Lima et al. (2010), Pozza, Carvalho e Chalfoun (2010) e Salgado, Lima Neto e Ribeiro Júnior (2009), também, relataram maiores intensidades da doença, em temperaturas abaixo de 20°C, entretanto estes autores não relataram o aumento da pluviosidade, a queda de temperatura e a baixa insolação com o progresso da doença. Neste trabalho, houve correlação positiva da incidência da mancha de phoma e as temperaturas

máxima e média no segundo ano, em razão da ocorrência atípica da doença no mês de janeiro de 2014.

No geral, foi observada redução drástica da intensidade da doença, em jun/2013, devido à desfolha das plantas, proveniente da colheita dos frutos e queda de folhas doentes. Santos et al. (2014), também observaram redução drástica da intensidade da doença e do enfolhamento, nos meses de set/2010 e jul/2011, devido à colheita realizada no mês anterior às avaliações. Segundo os autores a desfolha ocorreu devido à queda, principalmente, das folhas com sintomas da mancha de phoma, as quais estavam debilitadas e, na colheita, caíram com maior facilidade, ocasionando, assim, maior desfolha e diluindo a incidência da doença nos meses seguintes. Já, em abr/2014, por causa da queda acentuada de folhas (**Figura 1**), não houve progresso da doença nos meses seguintes das avaliações.

Com base nos resultados da superfície de resposta e da correlação entre a interação das doses de K e de B com a AACPI e AACPE, nas doses de 100 e 400 kg ha⁻¹ de K e de 1,0 e 4,0 kg ha⁻¹ de B, observaram-se maiores AACPI e AACPE. As doses médias de K e de B apresentaram menores AACPI e valores maiores da AACPE. Além disso, observou-se, nas doses acima de 200 kg ha⁻¹ de K, combinados ou não com as doses acima de 2 kg ha⁻¹ de B, maior variação da AACPI, provavelmente, devido ao equilíbrio nutricional entre as interações desses nutrientes até as maiores doses testadas (400 kg ha⁻¹ de K e 4,0 kg ha⁻¹ de B), promovendo redução da doença, a qual, possivelmente, está relacionada à função do K na planta, conferindo maior resistência aos tecidos e rápida recuperação de injúrias. De acordo com Xu e Heath (1998), em feijão caupi, o K confere maior resistência aos tecidos por aumentar a espessura da cutícula e da parede celular, dificultando a penetração de patógenos e interferindo no processo de infecção.

No cafeeiro, Lima et al. (2010) identificaram a influência na incidência e na severidade da mancha de phoma, em mudas com o desequilíbrio da relação N/K, em solução nutritiva, além de alterar o estado nutricional das plantas. Foi observado aumento linear de 34,8% da intensidade da doença com o aumento das doses de N, porém, com o aumento das doses de K, verificou-se redução quadrática (34,3%) até a dose de 7,0 mmol L⁻¹. Já Catarino et al. (2016), estudando a influência das doses de Ca e de K também em solução nutritiva e a mancha de phoma, observaram interação significativa entre os nutrientes. Na menor dose de Ca (2 mmol L⁻¹) e nas maiores de K (6 e 7 mmol L⁻¹), obtiveram menor AACPI. Para a AACPS, as menores doses de Ca e de K resultaram em menores severidades, concluindo-se que os suprimentos de Ca e de K, em solução nutritiva, reduziram as AACPI e AACPS da mancha de phoma do cafeeiro e o uso desses nutrientes pode ser recomendado no manejo da doença. De acordo com os trabalhos, houve comportamento diferente da mancha de phoma em relação ao K relacionado com outros nutrientes. Foi observado aumento da doença com o aumento das doses de N e diminuição das doses de K e, quando relacionados K e Ca, houve menor AACPI na menor dose de Ca e maiores doses de K e menor AACPS nas menores doses de Ca e de K.

Garcia Junior et al. (2003), porém demonstraram redução da AACPI da cercosporiose (*Cercospora coffeicola*) em mudas de cafeeiro em solução nutritiva. Estes autores trabalharam com diferentes doses de Ca e de K e verificaram redução linear no progresso da doença com o aumento das doses de Ca e maior absorção de Ca em detrimento do K, devido à competição deste nutriente com o K (MARSCHNER, 2012). A incidência da doença nas plantas decresceu linearmente até a dose máxima de Ca fornecida de 8 mmol L⁻¹. Segundo os autores, com base nessa dose, a AACPI voltou a aumentar, possivelmente, devido à 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), acarretando em desequilíbrio nutricional entre os nutrientes. O excesso de K pode levar à deficiência, principalmente, de Ca e de Mg e, possivelmente, Mn, Zn e Fe (CARVALHO et al., 2010). Isso ocorre devido à inibição da absorção de outros cátions, como Ca e Mg, em decorrência da competição no sítio de absorção (SANTOS et al., 2008). Inibição dos teores de Mg na folha foi relatada no presente trabalho (**Figura 5**), sendo observada redução gradativa dos teores foliares de Mg com o aumento das doses de K até 400 kg ha⁻¹. Segundo Guimarães et al. (1999) os teores de Mn e K estão abaixo e, na média, respectivamente, do ideal recomendado para a cultura do cafeeiro. Com base nos resultados, fica evidente a relação da inibição competitiva e a marcha de absorção entre esses nutrientes. A deficiência de Mg induzida pelo excesso de K na adubação é bastante comum em culturas como a bananeira e o cafeeiro, as quais são muito exigentes em K e as adubações empregadas são muito ricas neste nutriente (FAQUIN, 2005). No presente trabalho, somente o tratamento sem adição de potássio no solo apresentou índice foliar de Mg próximo ao recomendado para a cultura. A partir do aumento das doses de potássio no solo, diminui a absorção de Mg nas folhas e, com isso, a quantidade desse nutriente decresce.

Uchôa et al. (2011), avaliando a relação entre a severidade da sigatoka amarela e o estado nutricional das bananeiras, cultivadas na Zona da Mata de Minas Gerais, observaram maior severidade da doença em plantas com baixas concentrações de K e Mg. A adubação adequada e equilibrada com esse nutriente resulta em menor incidência de doenças, principalmente, dado ao aumento da resistência à penetração e à colonização de patógenos (CARVALHO et al., 2010; MARSCHNER, 2012; TAIZ; ZEIGER, 2013). 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).

Em relação ao B, no presente trabalho, doses acima de 2 kg ha⁻¹ e acima de 200 kg ha⁻¹ de K apresentaram menor AACPI, exceto nas maiores doses de K e B, 400 e 4,0 kg ha⁻¹, respectivamente. O B está envolvido no alongamento celular e no metabolismo de ácidos nucleicos, além de afetar a atividade enzimática. Seu principal papel na planta pode estar relacionado à sua influência na regulação do metabolismo de carboidratos (TAIZ; ZIEGER, 2013). Na parede celular, o B pode estar complexado na fração pécica, importante barreira de resistência contra patógenos (ROSOLEM; LEITE, 2007). Neste trabalho, foi observada redução da AACPI com o aumento das doses de B até a maior dose (4,0 kg ha⁻¹).

No cafeeiro, Lima et al. (2010) relataram aumento do progresso da mancha de phoma com a deficiência de B em solução nutritiva e, com adição de 0,125 mg L⁻¹ de B na solução, reduziu em até 40% o tamanho das lesões. Segundo os autores, a variação de doses de K alterou o estado nutricional do B nas plantas. Garcia Junior (2002), também em cafeeiro, estudando a incidência e a severidade da cercosporiose, em função de doses de K e Ca, em solução nutritiva, observou redução no teor de B, nos tecidos vegetais com o incremento das doses de K, e plantas deficientes em B, quando comparadas com plantas em níveis adequados deste nutriente, apresentaram maior suscetibilidade a doenças. Já, no estudo do efeito da incidência da ferrugem na produção do cafeeiro, Carvalho et al. (1996) não detectaram efeito do B na doença, mas encontraram teores foliares de B baixos ou deficientes, quando a ferrugem atingiu seus níveis mais elevados, principalmente, nos estádios de frutos verdes e maduros.

Já, na cultura do eucalipto, Silveira e Higashi (2003), em trabalhos com o patossistema podridão das estacas (*Botryosphaeria ribis* Grossenb & Dugg), verificaram alteração do estado nutricional das plantas com o aumento das doses

de B em solução nutritiva. Para K, obtiveram resposta quadrática e, nas folhas superiores, o K aumentou até a dose de 2,45 mg L⁻¹ de B e, nas inferiores, até 2,54 mg L⁻¹ de B, e o teor de B nas folhas aumentou linearmente com o aumento das doses de B. Segundo esses autores, para *E. citriodora*, o suprimento de B é fundamental para se obter boa condição nutricional em K. Já Muniz, Krugner e Silveira (1997), também estudando a interação entre K e B, salientaram o efeito do B sobre a severidade da ferrugem causada por *Puccinia psidii*, em um clone considerado resistente e outro suscetível ao eucalipto e constataram aumento da severidade da doença no clone considerado suscetível com a deficiência múltipla de K e B. Em outro patossistema, Ruaro, Lima Neto e Ribeiro Júnior (2009) estudando influência do B, de fontes de nitrogênio e do pH do solo, no controle da hémria das crucíferas, causada por *Plasmodiophora brassicae*, identificaram maior severidade da doença (70%) com doses de B abaixo de 10 mg kg⁻¹ e pH inferior a 6,0. A menor severidade (26%) foi verificada em pH acima de 6,5 com 10 a 30 mg kg⁻¹ de B. Os autores, também, observaram correlação negativa entre os teores foliares de N, Ca, Mg e B e a severidade da doença. De acordo com os resultados, o plantio em solo com pH acima de 6,5 associado à aplicação de 10 a 30 mg kg⁻¹ de B e o uso do nitrato de cálcio como fonte de adubação nitrogenada apresentaram resultados positivos na redução da doença. No presente trabalho, foi observada regressão significativa linear entre as doses aplicadas no solo e os teores foliares de B e K no solo e regressão quadrática entre os teores de B no solo e K foliar, respectivamente. De acordo com Martinez et al. (2003), as quantidades de K e B na folha estão na média da faixa crítica, para o cafeeiro (19,7 a 30,3 g kg⁻¹ e 39 a 67 mg kg⁻¹ de B), no Sul de Minas (Guaxupé e São Sebastião do Paraíso), próximas à região de estudo. Em relação às quantidades de K e B presentes no solo, elas foram classificadas como bom (120 a 200 mg dm³) e médio (0,21 a 0,40 mg dm³) dos teores de K e B, respectivamente (GUIMARÃES et al., 1999).

Portanto o desequilíbrio da relação K/B favorece a infecção de *P. tarda* no cafeeiro. Sendo 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 da mancha de phoma.

5 CONCLUSÕES

Ocorreu progresso da doença nos dois anos avaliados.

Houve interação significativa entre as doses de K e B na AACPI da mancha de phoma do cafeeiro (*Phoma tarda*) no campo.

As maiores AACPI de 250 a 300 ocorreram nas doses de 100 e 400 kg ha⁻¹ de K, combinadas com as doses de 1,0 e 4,0 kg ha⁻¹ de B.

Houve correlação significativa negativa entre doses de K e teor de Mg foliar, ou seja, com aumento das doses de K, houve redução dos teores de Mg na folha do cafeeiro, devido a inibição competitiva do mesmo sítio de ação.

De acordo com o aumento de doses de K e B no solo, foi observado aumento linear dos teores foliares e aumento quadrático dos teores no solo.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao CNPq e FAPEMIG pela concessão da bolsa de estudos; à FAPEMIG, por financiamento do projeto. Ao Setor de Cafeicultura da Universidade Federal de Lavras, por fornecer a área experimental e funcionários.

REFERÊNCIAS

- ANDRADE, C. E. **Calagem e adubação do café**. Viçosa: Aprenda Fácil, 2001. 130 p.
- BENITO, B. et al. Potassium and sodium uptake systems in fungi. The transporter diversity of *Magnaporthe oryzae*. **Fungal Genetics and Biology**, v. 48, n. 8, p. 812-822, Aug. 2011.
- 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, p. 481-500, 1998.
- BOLDINI, J. M. **Epidemiologia da ferrugem e da cercosporiose em cafeeiro irrigado e fertirrigado**. 2001. 67 p. Dissertação (Mestrado em Fitopatologia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2001.
- 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, jul./ago. 2007.
- BROWN, P. H. et al. Boron in Plant Biology. **Plant Biology**, New York, v. 4, n. 2, p. 205-223, June 2002.
- CAMPBELL, C. L.; MADDEN, L. V. **Introduction to plant disease epidemiology**. New York: John Wiley, 1990. 532 p.
- CARVALHO, J. G. et al. Sintomas de desordens nutricionais em cafeeiro. In: GUIMARÃES, R. J.; MENDES, A. N. G.; BALIZA, D. P. (Ed.). **Semiologia do cafeeiro: sintomas de desordens nutricionais, fitossanitárias e fisiológicas**. Lavras: Editora da UFLA, 2010. p. 69-101.
- CARVALHO, V. L. et al. Influencia da produção na incidência da ferrugem do cafeeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 31, n. 6, p. 401-405, jun. 1996.
- CATARINO, A. M. et al. Calcium and potassium contents in nutrient solution on Phoma leaf spot intensity in coffee seedlings. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 63, n. 4, p. 486-491, jul./ago. 2016.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira café: safra 2017: primeiro levantamento**, Brasília: Conab, 2017. 98 p.

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

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

FAQUIN, V. **Nutrição de plantas**. Lavras: Editora da UFLA, 2005. 183 p.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANISATION OF THE UNITED NATIONS – FAO. **Statistical pocketbook coffee 2015**. Rome: FAO, 2016. 198 p. Disponível em: <<http://www.fao.org/3/a-i4985e.pdf>>. Acesso em: 12 nov. 2016.

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.

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

GUIMARÃES, P. T. G. et al. Cafeeiro. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ V. (Ed.). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação**. Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. p. 289-302.

LIMA, L. M. de et al. Relationship between nitrogen / potassium with *Phoma* spot and nutrition of coffee seedlings cultivated in nutrient solution. **Tropical Plant Pathology**, Lavras, v. 35, n. 4, p. 223-228, jul./ago. 2010.

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

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

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: Potafos, 1997. 319 p.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2. ed. London: Academic Press, 2012. 889 p.

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

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. **IPEF**, n. 200, Piracicaba, p. 1-14, dez. 1997.

PERRENOUD, S. **Potassium and plant health**. 2. ed. Bern: International Potash Institute, 1990. 363 p.

POZZA, A. A. A. et al. Influência da nutrição mineral na intensidade da mancha-de-olho-pardo em mudas de cafeeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, n. 1, p. 53-60, jan. 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. (Ed.). **Semiologia do cafeeiro: sintomas de desordens nutricionais, fitossanitárias e fisiológicas**. Lavras: Editora da UFLA, 2010. p. 69-101.

RENA, A. B.; MAESTRI, M. Ecofisiologia do cafeeiro. In: CASTRO, P. R. C.; FERREIRA, S. O.; YAMADA, T. (Ed.). **Ecofisiologia da produção agrícola**. Piracicaba: Potafos, 1987. p. 119-147.

RÖMHELD, V.; KIRKBY, E. A. Research on potassium in agriculture: needs and prospects. **Plant and Soil**, The Hague, v. 335, n. 1, p. 155-180, Oct. 2010.

ROSOLEM, C. A.; LEITE, V. M. Coffee leaf and stem anatomy under boron deficiency. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 3, p. 477-483, maio/jun. 2007.

RUARO, L.; LIMA NETO, V. C.; RIBEIRO JÚNIOR, P. J. Influência do boro, de fontes de nitrogênio e do pH do solo no controle de hérnia das crucíferas causada por *Plasmodiophora brassicae*. **Tropical Plant Pathology**, Brasília, v. 34, n. 4, p. 231-238, jul./ago. 2009.

SALGADO, M. et al. Escala diagramática para avaliação da severidade da mancha de *Phoma* do cafeeiro. **Tropical Plant Pathology**, Brasília, v. 34, n. 6, p. 422-427, nov./dez. 2009.

SANTOS, F. D. S. et al. Adubação orgânica, nutrição e progresso de cercosporiose e ferrugem-do-cafeeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, n. 7, p. 783-791, jul. 2008.

SANTOS, L. S. D. et al. Incidência da Mancha de phoma em cafeeiro irrigado por gotejamento, sob diferentes manejos de irrigação. **Coffee Science**, Lavras, v. 9, n. 1, p. 77-89, jan./mar. 2014.

SAS INSTITUTE. **SAS/STAT user's guide**: volume 8. Cary: SAS Institute, 2008.

SHANER, G.; FINNEY, R. E. The effect of nitrogen fertilization on the expression of slow-mildewing resistance in Knox wheat. **Phytopathology**, Saint Paul, v. 67, n. 8, p. 1051-1056, 1977.

SILVEIRA, R. L. V. A.; HIGASHI, E. N. **Aspectos nutricionais envolvidos na ocorrência de doenças com ênfase para eucalipto**. São Paulo: IPEF, 2003. 13 p. (Circular técnica, 200).

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2013. 918 p.

UCHÔA, C. N. et al. Modelagem geoestatística da Sigatoka-negra e sua relação com a fertilidade do solo. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 27, n. 3, p. 357-362, mar. 2011.

VALE, F. X. R. do; ZAMBOLIM, L.; ZAMBOLIM, E. M. Doenças do cafeeiro (*Coffea arabica* e *C. canephora*). In: KIMATI, H. et al. (Ed.). **Manual de fitopatologia: doenças de plantas cultivadas: volume 2**. 4. ed. São Paulo: Agronômica Ceres, 2005. p. 165-180.

VASCO, G. B. **Intensidade da mancha de *Phoma* em função da densidade de plantio e manejo de irrigação em cafeeiro**. 2012. 54 p. Dissertação (Mestrado em Fitopatologia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2012.

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**, Rockville, v. 10, n. 4, p. 585-598, Apr. 1998.

**ARTIGO 3 - DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL E TEMPORAL DA MANCHA
DE PHOMA EM CAFEIRO IRRIGADO POR PIVÔ CENTRAL**

**ARTIGO FORMATADO DE ACORDO COM A NBR 6022 (ABNT, 2003),
COM ADAPTAÇÕES DO MANUAL DE NORMALIZAÇÃO DA UFLA.**

RESUMO

Objetivou-se com este trabalho avaliar o padrão espacial da relação entre a mancha de phoma e a nutrição da planta em lavoura cafeeira irrigada por pivô central. O estudo foi realizado entre agosto de 2012 a maio de 2015, no Sul de Minas Gerais, em lavoura comercial, localizada no município de Carmo do Rio Claro. A cultivar utilizada para o ensaio foi Acaia cerrado (MG 1474), irrigada por pivô central, com 10 anos de idade, espaçamento de 4,0 m entre linhas e 0,5 m entre plantas, totalizando 5.000 plantas ha⁻¹. O ponto amostrado foi georreferenciado com GPS TRIMBLE 4600 LS® e Estação Total Leica TC600®. O pivô possuía 50 pontos amostrais em malha de 50 x 50 metros. A avaliação da incidência da mancha de phoma do cafeeiro foi realizada, a cada 60 dias, durante o período mencionado, totalizando 17 avaliações. Em cada ponto georreferenciado, avaliaram-se cinco plantas, sendo uma central; uma de cada lado desta; e outras duas, uma na linha abaixo e outra acima da central. Para avaliar a incidência, foram amostradas 12 folhas por planta, no terço médio da copa, totalizando 60 folhas em cada ponto amostral. Essas plantas foram marcadas para as amostragens posteriores. Para realizar a análise estatística dos dados experimentais e comparar o efeito dos resultados, utilizou-se o programa estatístico SAS v. 93 (SASA Institute). Após o ajuste do semivariograma, escolhido o melhor modelo, realizou-se a interpolação dos dados por krigagem ordinária, possibilitando construir os mapas, de forma a visualizar padrões de distribuição espacial das variáveis selecionadas na lavoura em diferentes épocas de avaliação. Foi utilizado o programa ArcGIS, do software ArcGIS 9.2 (ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE, 2004) para realizar o ajuste do semivariograma. A curva de progresso média da incidência da mancha de phoma variou entre o período de avaliação. Houve correlação positiva da AACPE com a produtividade de 2013 e negativa em 2014. Houve correlação entre os teores foliares e as datas de avaliação, com isso, estas foram escolhidas para análise geoestatística. O melhor modelo ajustado, para as datas de pico da incidência da doença, produtividade e os teores foliares, foi o exponencial. Houve dependência espacial da mancha de phoma do cafeeiro com os teores de P, K, Ca, B e Mn.

Palavras-chave: Geoestatística. *Coffea arabica* L.. *Phoma tarda*. Nutrição.

1 INTRODUÇÃO

Nos últimos 50 anos, tanto a produção quanto o consumo de café aumentaram consideravelmente. No mundo, mais de 70 países cultivam o cafeeiro e mais de 50% da safra provêm de apenas três países, sendo o Brasil o principal produtor dessa ‘*commodity*’, seguido do Vietnã e da Indonésia (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS, 2017). O estado de Minas Gerais responde por, aproximadamente, 59% da produção de café do Brasil e o Sul de Minas é a maior região produtora do estado, com produtividade média de 30,4 sacas ha⁻¹ (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO, 2016). Entre os fatores responsáveis por reduzir a produtividade e a qualidade do cafeeiro, destacam-se as doenças, sendo a mancha de phoma (*Phoma tarda* R.W. Stewart) uma das principais, responsável por causar grandes prejuízos à cafeicultura, devido à queda de folhas, seca de ramos e mumificação de frutos, ocasionando perdas na produção em até 43% (POZZA; CARVALHO; CHALFOUN, 2010).

Com o objetivo de evitar as perdas e aumentar a produtividade, técnicas de irrigação têm sido adotadas, para melhorar de forma eficiente o uso da água e de fertilizantes, além de facilitar o controle de doenças de plantas (BRYLA et al., 2005; MORALES et al., 2010; TANG; LI; ZHANG, 2005), principalmente, no cafeeiro. Uma cultura, quando irrigada, fica submetida a um microclima diferenciado, o qual pode interferir na temperatura, umidade relativa do ar e período de molhamento foliar, resultando em características peculiares em relação aos aspectos fitotécnicos, fisiológicos e fitossanitários (CUSTÓDIO et al., 2009; MEIRELES; CARVALHO; MORAES, 2001; LORENZETTI, et al., 2015), afetando a intensidade de doenças no cafeeiro (PAIVA et al., 2011; SANTOS et al., 2014). Outro fator responsável por influenciar diretamente a intensidade de doenças, é a nutrição mineral de plantas (DATNOFF; ELMER; HUBER, 2007; MARSCHNER, 2012). Capaz de ser manipulada com facilidade,

a nutrição mineral contribui para reduzir as doenças devido ao aumento dos compostos químicos e barreiras físicas das plantas, contribuindo para o aumento de barreiras de resistência horizontal (TAIZ; ZEIGER, 2013).

Estudos da relação de doenças com irrigação e nutrição de plantas no campo, em especial, ao longo das áreas cultivadas, requerem metodologia adequada. Como a estatística clássica não considera a dependência espacial em muitos métodos, pode-se empregar a geoestatística. Essa ferramenta gera respostas mais consistentes, para os aspectos epidemiológicos de doenças de plantas, por causa do padrão agregado de inóculo, da doença e da variabilidade do solo na área (ALVES et al., 2006, 2012), ou seja, a partir de um foco o patógeno, é disseminado para plantas saudáveis, dependendo espacialmente dessas plantas infectadas. Na fitopatologia, técnicas geoestatísticas estão sendo utilizadas para obter informações de localização e quantificação de doenças e sua relação com a fertilidade do solo e a nutrição (ALMEIDA et al., 2011; ALVES et al., 2006, 2009; MUSSOLI et al., 2008)

No estudo de doenças na cafeicultura, a geoestatística foi estudada em campo por Alves et al. (2009), avaliando a intensidade da ferrugem e da cercosporiose, tanto em folhas quanto em frutos. Segundo os autores, a variabilidade espacial da nutrição mineral das plantas na lavoura, possivelmente, foi um dos fatores capazes de contribuir à distribuição das doenças, possibilitando manejar a fertilidade, em pontos específicos na propriedade, de forma a reduzir a taxa de progresso de epidemias e aumentar a produtividade. Bedimo et al. (2007) também em cafeeiro, estudando a distribuição espacial da “Coffee Berry Disease”, causado por *Colletotrichum kahawae*, ao longo do tempo, descreveram a contaminação das plantas em parcelas a partir da primeira árvore de café infectado. Os autores analisaram os semivariogramas e os mapas de

dispersão da doença, obtidos por krigagem e, com isso, foram observados focos de infecção primária em ambos os terrenos. Já, na cultura da bananeira, Uchôa et al. (2011), também utilizando técnicas da geoestatística, para caracterizar a variabilidade espacial da sigatoka negra com a fertilidade do solo, verificaram forte dependência espacial da severidade da doença, atingindo alcance de 25,3 m e, por meio dos mapas de krigagem ordinária, observaram padrão agregado e relação negativa da severidade da doença com os teores de K e positiva com teores de S no solo. Áreas com níveis mais altos de K apresentaram menor severidade e, nas áreas com maiores teores de S, foi verificada elevada severidade da doença.

Nesse contexto, as informações sobre a distribuição espacial das doenças e sua dependência espacial, em relação à fertilidade ao longo da área de plantio, podem fornecer subsídios para melhorar a recomendação de adubação e o controle de doenças.

Dessa forma, considerando a hipótese de existir variação espacial de nutrientes, ao longo do perfil do solo, de forma a influenciar a intensidade de doenças, o enfolhamento das plantas e a produtividade do cafeeiro, objetivou-se neste trabalho estudar a distribuição espacial da mancha de phoma do cafeeiro e verificar sua relação com a fertilidade do solo e o estado nutricional das plantas, por meio da geoestatística em lavoura irrigada por pivô central.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido por dois anos, entre agosto de 2012 e maio de 2015, em duas safras, dada a bienalidade na produtividade do cafeeiro (RENA; MAESTRI, 1987). Foi localizado no Sul de Minas Gerais, em lavoura comercial, no município de Carmo do Rio Claro, com altitude média de 850 m, latitude 20°59'55'' Sul e longitude 46°02'52'' Oeste. A cultivar utilizada para o ensaio foi a Acaia Cerrado (MG 1474), com 10 anos de idade, espaçamento de 4,0 m entre linhas e de 0,5 m entre plantas, totalizando 5.000 plantas ha⁻¹, irrigadas por pivô central, declividade de 10% e produtividade média de 30 sacas ha⁻¹. O início da irrigação por pivô central foi no dia 02/09/2012 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 foram georreferenciados com GPS TRIMBLE 4600 LS® e Estação Total Leica TC600®. A área foi composta por 50 pontos amostrais em malha de 40 x 40 metros.

Figura 1 - Área experimental com os pontos amostrais georreferenciados em Carmo do Rio Claro – MG. Fonte: <http://earth.google.com>.



Durante a condução do experimento, o controle de pragas e de plantas daninhas foi conduzido, de acordo com o nível de controle e, quando necessário.

Nessa área, foram monitoradas a mancha de phoma do cafeeiro, o grau de enfolhamento, o teor nutricional das plantas, a fertilidade do solo e as variáveis climatológicas fora da área experimental e dentro da copa das plantas.

Para avaliar a incidência da mancha de phoma, foram realizadas amostragens, a cada 60 dias, de agosto de 2012 a maio de 2015, totalizando 17 avaliações. Em cada ponto georreferenciado, avaliaram-se cinco plantas, sendo uma central, uma de cada lado desta e outras duas, perpendiculares à central, porém nas linhas de plantio laterais. Para avaliar a incidência, foram amostradas 12 folhas por planta, por método não destrutivo, no terço médio da copa, a partir do primeiro e do segundo pares de folhas de ramos escolhidos ao acaso, dos dois lados da linha de plantio (HUERTA, 1963), totalizando 60 folhas em cada ponto amostral.

A incidência da doença foi determinada pela porcentagem de folhas com sintomas em relação ao total amostrado, conforme a equação 1 (CAMPBELL; MADDEN, 1990).

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

Em que:

I (%) = incidência da doença em porcentagem;

NFD = número de folhas doentes;

NTF = número total de folhas amostradas.

Nas mesmas datas de avaliação da doença, foi avaliado o enfolhamento, em três 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 três plantas.

Com os dados médios da incidência e do enfolhamento de todos os pontos amostrais, foi plotada a curva de progresso ao longo do tempo. Além disso, os dados dessas variáveis foram integralizados, em áreas abaixo da curva de progresso da incidência (AACPI) e do enfolhamento (AACPE), segundo Shaner e Finney (1977), de acordo com a Equação 2.

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

Em que:

AACPI ou AACPE = área abaixo da curva de progresso da doença (incidência ou enfolhamento),

Y_i = proporção da doença na i -ésima observação,

T_i = tempo em dias na i -ésima observação,

n = número total de observações.

A colheita das cinco plantas de cada ponto amostral georreferenciado foi realizada com colhedora manual. Após a derriça, foi obtido o peso dos grãos, em kg, em cada ponto amostral.

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 2013 e 2014. As amostras foram encaminhadas para o laboratório e as determinações da quantidade dos nutrientes presentes no solo foram feitas conforme metodologia da Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais (CFSEMG) (GUIMARÃES et al., 1999).

Para determinar o teor foliar dos nutrientes de todos os pontos amostrais, realizaram-se amostragens em outubro de 2013 e maio de 2014. Foram coletadas cinco folhas de cada lado da rua, na direção Leste e Oeste, nas cinco plantas por ponto amostrado, do 3° ou 4° par de folhas, a partir do ápice de ramos plagiotrópicos produtivos, localizados no terço médio da planta. As amostras foram encaminhadas para laboratório e as determinações dos teores foliares foram feitas conforme metodologia proposta por Malavolta, Vitti e Oliveira (1997).

Pela análise de solo, obteve-se o potencial Hidrogeniônico (pH), teores de 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). A partir da análise foliar obtiveram-se os teores de potássio (K), fósforo (P), cálcio (Ca), magnésio (Mg), alumínio (Al), zinco (Zn), ferro (Fe), manganês (Mn), cobre (Cu), boro (B) e enxofre (S).

Os dados meteorológicos foram obtidos tanto do lado externo quanto internamente à copa do cafeeiro. Os dados externos à copa foram coletados, em estação meteorológica microclimatológica (Campbel Scientific®), instalada a 200 metros de distância da área experimental, para monitorar as temperaturas máxima, média e mínima, umidades relativas do ar mínima, média e máxima, velocidade do vento, molhamento foliar e precipitação. Além disso, instalaram-se dois 'Datalogger's para registro de temperatura e umidade do ar do modelo HT-500 Instrutherm® e uma microestação WatchDog® série 1000 com sensor de temperatura, umidade do ar e dois sensores de molhamento foliar. Os três sensores foram instalados no terço médio, dentro da copa das plantas e distribuídos, ao acaso, na área experimental. Os dois 'datalogger's e a

microestação foram instalados com o objetivo de obter registros das variáveis de clima dentro da copa. Sendo assim, obteve-se a média dos três aparelhos, da temperatura média e da umidade relativa média, quatorze dias antes de cada avaliação. A média das variáveis climáticas coletadas na estação externa ao experimento foram plotadas junto com as curvas de progresso da incidência e do enfolhamento.

Com as variáveis climáticas, realizou-se a correlação de Pearson entre a incidência média da mancha de phoma de cada ponto georreferenciado da área experimental, a média dos 14 dias anteriores a cada data de avaliação e as variáveis climáticas coletadas no interior da copa e na área externa ao experimento. Para a AACPI e a AACPE, realizou-se a correlação com a produção de 2013 e 2014. A análise de correlação foi realizada com o procedimento PROC CORR no programa estatístico SAS v. 9.3® (SAS Institute).

Para realizar a análise geoestatística e da dependência espacial, selecionaram-se as datas de maior incidência da doença, em 15/08/12, 08/06/2013, 24/08/2013, 03/12/2013, 14/03/2015 e 23/05/2015.

Para os teores foliares, após analisar a correlação com a incidência nas datas selecionadas anteriormente, escolheram-se os teores dos macronutrientes foliares P, K e Ca, para realizar a análise geoestatística, por apresentarem o maior número de correlações significativas nas duas áreas. Já para os micronutrientes escolheram-se os teores foliares B e Mn, pois apresentaram alta correlação significativa em todas as análises foliares e avaliações da incidência selecionadas.

Em relação à fertilidade do solo, não se realizou análise geoestatística, devido à ausência de correlações significativas.

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 e McDonnell (1998).

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

$$GDE = \left(\frac{C_0}{C_0 + C} \right) * 100 \quad \text{(Equação 3)}$$

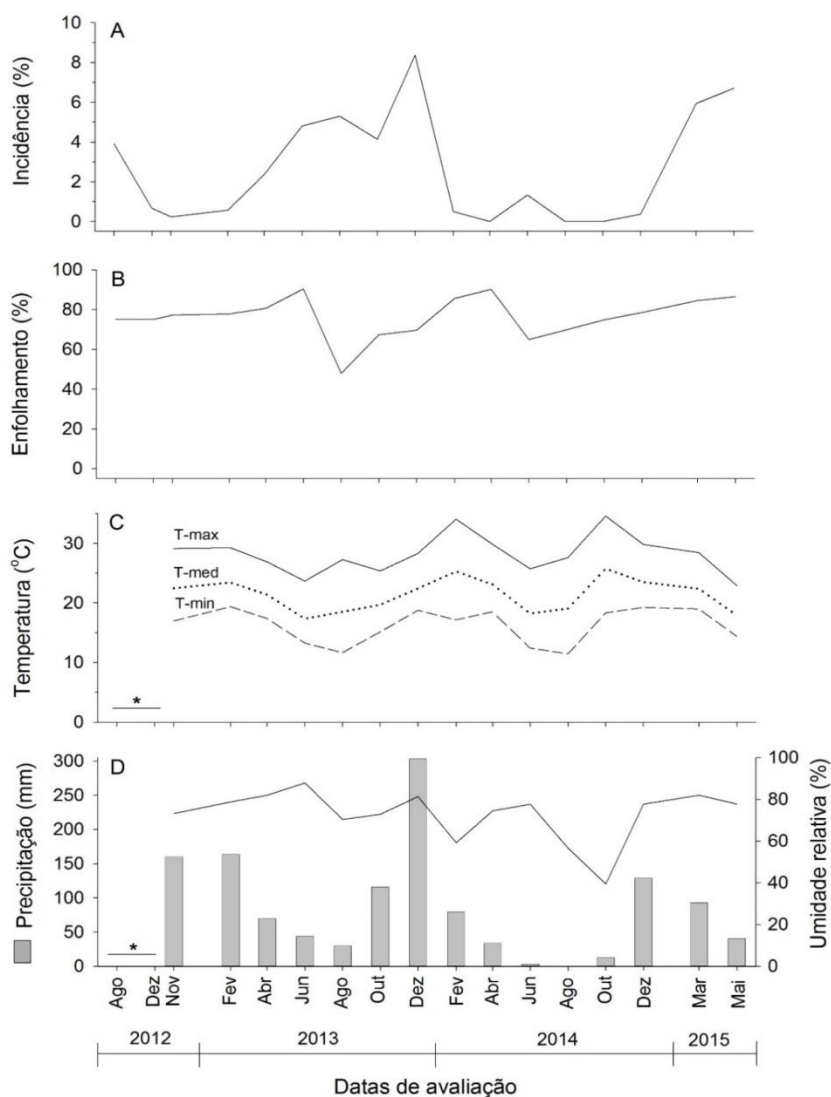
De acordo com Cambardella et al. (1994), quando o GDE for inferior a 25%, a dependência espacial é forte. Se o GDE ficar entre 26 a 75%, a dependência espacial é moderada e, se for superior a 75%, a dependência espacial é fraca. O melhor ajuste dos modelos de semivariogramas foi escolhido, em função 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 e 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 software ArcGIS 9.2 (ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE, 2004).

3 RESULTADOS

A mancha de phoma do cafeeiro ocorreu com intensidades variáveis durante a condução do experimento (**Figura 2**). Observaram-se máximas incidências médias da doença, em agosto de 2012 (3,9%), com amplitude de 0 a 11,7%, junho (4,8%), agosto (5,3%) e dezembro (8,4%) de 2013, com amplitudes de 0 a 20,0, 13,3 e 25,0%, respectivamente. No ano de 2014, foi observada baixa incidência média da doença, com máximo em junho (1,3%), com amplitude de 0 a 8,3%. Já, em 2015, os picos da doença foram nos meses de março (5,9%) e maio (6,7%), com amplitudes de 0 a 20,0 e 23,3%, respectivamente (**Figura 2**).

Figura 2 – Curva de progresso da incidência da mancha de phoma do cafeeiro (A), enfolhamento (B) e das médias mensais das variáveis climáticas temperatura máxima (T-max), média (T-med) e mínima (T-min), umidade relativa média e precipitação acumulada (C, D) coletadas externamente à copa, entre o período de 15/08/2012 a 23/05/2015, na área de pivô central. *Dados não coletados. Carmo do Rio Claro, Minas Gerais.



Fonte: Dados do autor (2016)

No período de maiores incidências da doença, foram observadas as menores médias das temperaturas, com baixos índices pluviométricos, exceto nas avaliações de outubro e dezembro de 2013 (**Figuras 2C e 2D**).

Seguindo essa tendência, observada na curva de progresso, houve correlação negativa da incidência da mancha de phoma com a temperatura máxima tanto interna quanto externa à copa e umidade relativa média na área externa à copa (**Tabela 1**).

Tabela 1 - Coeficientes de correlação entre a incidência da mancha de phoma do cafeeiro e as variáveis climatológicas, ocorridas aos quatorze dias anteriores à avaliação da doença, no período entre ago/2012 e jun/2015, na parte externa e interna à copa do cafeeiro. Carmo do Rio Claro. Minas Gerais.

Variáveis climáticas (médias)		Incidência (%)			
		Parte externa		Parte interna	
		r	P	r	P
Temperatura (°C)	Max	-0,56	0,03*	-0,46	0,05*
	Med	-0,45	0,09 ^{ns}	-0,32	0,24 ^{ns}
	Min	-0,13	0,64 ^{ns}	-0,02	0,95 ^{ns}
Umidade relativa (%)	Max	0,40	0,14 ^{ns}	-	-
	Med	-0,50	0,05*	0,33	0,23 ^{ns}
	Min	0,38	0,16 ^{ns}	-	-
Precipitação (mm)		0,35	0,20 ^{ns}	-	-
Molhamento foliar (hs)		-0,34	0,22 ^{ns}	0,45	0,09 ^{ns}
Velocidade do vento (m/s)		-0,15	0,59 ^{ns}	-	-

* = Significativo a 5% de probabilidade de acordo com o teste F, ^{ns} = não significativo; Max = máxima; Med = média; Min = mínima; r = coeficiente de correlação de Pearson; P = significância da correlação.

Fonte: Dados do autor (2016)

Houve correlação positiva da AACPE com a produtividade de 2013, ano de carga pendente alta, média de 3.192 kg ha⁻¹ (53,2 sc ha⁻¹) e negativa no ano

de 2014, ano de carga pendente baixa e produtividade média de 1.104 kg ha⁻¹ (18,4 sc ha⁻¹) (Tabela 2).

Tabela 2 – Análise de correlação de Pearson ($\alpha= 0.05$) entre a produtividade do cafeeiro (*C. arabica*) e as áreas abaixo da curva de progresso de incidência (AACPI) da mancha de phoma e enfolhamento (AACPE). Carmo do Rio Claro, Minas Gerais.

Produtividade (kg ha ⁻¹)	AACPI		AACPE	
	r	P	r	P
2013	0,00	0,97 ^{ns}	0,62	< 0,001*
2014	0,10	0,50 ^{ns}	-0,35	0,02*

* = Significativo a 5% de probabilidade de acordo com o teste F, ^{ns} = não significativo; r = coeficiente de correlação de Pearson; P = significância da correlação.

Fonte: Dados do autor (2016)

Para os nutrientes foliares, B, Ca, K, Mn e P, houve correlações significativas com datas de incidências máximas da doença 15/08/2012, 08/06/2013, 24/08/2013 e 03/12/2013, 14/03/2015 e 23/05/2015. Por isso, esses nutrientes foram os escolhidos para a análise geoestatística.

Tabela 3 – Análise de correlação de Pearson ($\alpha= 0.05$) dos nutrientes foliares e picos de incidência da mancha de phoma (*P. tarda*) no cafeeiro. Carmo do Rio Claro, Minas Gerais.

(Continua)

Nutrientes	Picos de incidência					
	15/08/2012		08/06/2013		24/08/2013	
	r	p(<0,05)	r	p(<0,05)	r	p(<0,05)
B 2012	0,22	0,12 ^{ns}	-0,23	0,11 ^{ns}	0,42	0,001*
Ca 2012	-0,12	0,41 ^{ns}	0,29	0,04*	-0,26	0,05*
K 2012	-0,34	0,02*	0,10	0,49 ^{ns}	-0,41	0,001*
Mn 2012	0,11	0,46 ^{ns}	0,17	0,24 ^{ns}	-0,39	0,005*
P 2012	-0,31	0,03*	-0,18	0,21 ^{ns}	-0,19	0,18 ^{ns}
B 2013	-0,23	0,10 ^{ns}	0,08	0,58 ^{ns}	-0,45	0,001*
Ca 2013	0,10	0,49 ^{ns}	0,24	0,09 ^{ns}	0,15	0,29 ^{ns}
K 2013	0,35	0,01*	-0,13	0,37 ^{ns}	0,58	0,001*
Mn 2013	-0,41	0,003*	0,30	0,03*	-0,46	0,001*
P 2013	0,49	0,001*	-0,03	0,83 ^{ns}	0,44	0,001*

Tabela 3 – Análise de correlação de Pearson ($\alpha= 0.05$) dos nutrientes foliares e picos de incidência da mancha de phoma (*P. tarda*) no cafeeiro. Carmo do Rio Claro, Minas Gerais.

(Conclusão)

Nutrientes	Picos de incidência					
	03/12/2013		14/03/2015		23/05/2015	
	r	$p(<0,05)$	r	$p(<0,05)$	r	$p(<0,05)$
B 2014	0,25	0,08 ^{ns}	-0,22	0,12 ^{ns}	0,47	0,001*
Ca 2014	0,09	0,53 ^{ns}	-0,31	0,03*	-0,02	0,92 ^{ns}
K 2014	-0,06	0,67 ^{ns}	0,28	0,05*	-0,09	0,53 ^{ns}
Mn 2014	0,12	0,37 ^{ns}	-0,04	0,79 ^{ns}	-0,31	0,03*
P 2014	0,03	0,81 ^{ns}	0,08	0,57 ^{ns}	0,02	0,88 ^{ns}
B 2012	0,39	0,004*	-0,19	0,18 ^{ns}	-0,06	0,68 ^{ns}
Ca 2012	-0,32	0,02*	0,22	0,12 ^{ns}	0,19	0,19 ^{ns}
K 2012	-0,23	0,11 ^{ns}	-0,09	0,54 ^{ns}	-0,20	0,17 ^{ns}
Mn 2012	-0,40	0,003*	0,07	0,62 ^{ns}	-0,03	0,83 ^{ns}
P 2012	0,16	0,27 ^{ns}	-0,23	0,11 ^{ns}	0,02	0,87 ^{ns}
B 2013	-0,36	0,001*	0,38	0,001*	-0,03	0,85 ^{ns}
Ca 2013	-0,14	0,34 ^{ns}	-0,14	0,33 ^{ns}	-0,12	0,41 ^{ns}
K 2013	0,02	0,88 ^{ns}	-0,10	0,49 ^{ns}	-0,09	0,52 ^{ns}
Mn 2013	-0,36	0,001*	0,05	0,71 ^{ns}	-0,09	0,52 ^{ns}
P 2013	0,21	0,14 ^{ns}	-0,03	0,85 ^{ns}	-0,06	0,65 ^{ns}
B 2014	0,27	0,05*	-0,09	0,53 ^{ns}	-	-
Ca 2014	-0,12	0,41 ^{ns}	0,04	0,76 ^{ns}	0,19	0,17 ^{ns}
K 2014	-0,04	0,79 ^{ns}	-0,03	0,83 ^{ns}	-0,26	0,05*
Mn 2014	-0,23	0,10 ^{ns}	-0,12	0,39 ^{ns}	-0,17	0,22 ^{ns}
P 2014	-	-	0,23	0,10 ^{ns}	-0,07	0,63 ^{ns}

* = Significativo a 5% de probabilidade de acordo com o teste F, ^{ns} = não significativo; r = coeficiente de correlação de Pearson; $p(<0,05)$ = significância da correlação. - Correlação nula.

Fonte: Dados do autor (2016)

Houve correlação significativa entre os nutrientes foliares com a AACPI e a AACPE. Para a AACPI, houve correlação positiva entre as amostras de K em 2012, P em 2013 e Mn em 2014. Já, em relação à AACPE, houve correlação negativa com o nutriente B e positiva com Ca e Mn em 2012 e B e Mn em 2013, sendo negativa com K e P nesse mesmo ano. Em 2014, também, houve correlação positiva com o B (**Tabela 4**).

Tabela 4 – Análise de correlação de Pearson ($\alpha= 0.05$) dos nutrientes foliares e áreas abaixo da curva de progresso de incidência (AACPI) da mancha de phoma (*P. tarda*) e enfolhamento (AACPE) no cafeeiro. Carmo do Rio Claro, Minas Gerais.

Nutrientes	AACPI		AACPE	
	r	$p(<0,05)$	r	$p(<0,05)$
B 2012	0,09	0,54 ^{ns}	-0,49	< 0,001*
Ca 2012	0,09	0,54 ^{ns}	0,51	< 0,001*
K 2012	-0,33	0,02*	0,02	0,89 ^{ns}
Mn 2012	-0,18	0,22 ^{ns}	0,37	0,009*
P 2012	-0,23	0,11 ^{ns}	-0,20	0,17 ^{ns}
B 2013	-0,11	0,45 ^{ns}	0,52	< 0,001*
Ca 2013	-0,01	0,92 ^{ns}	-0,12	0,42 ^{ns}
K 2013	0,12	0,41 ^{ns}	-0,43	0,002*
Mn 2013	-0,22	0,13 ^{ns}	0,36	0,01*
P 2013	0,27	0,05*	-0,30	0,03*
B 2014	0,07	0,64 ^{ns}	-0,41	0,003*
Ca 2014	-0,23	0,11 ^{ns}	-0,04	0,80 ^{ns}
K 2014	0,12	0,39 ^{ns}	0,24	0,09 ^{ns}
Mn 2014	-0,28	0,05*	-0,03	0,82 ^{ns}
P 2014	0,22	0,13 ^{ns}	0,13	0,37 ^{ns}

* = Significativo a 5% de probabilidade de acordo com o teste F, ^{ns} = não significativo; r = coeficiente de correlação de Pearson; P = significância da correlação.

Fonte: Dados do autor (2016)

De acordo com a análise geostatística, para as seis datas selecionadas de incidência, ocorreram variações na intensidade da doença ao longo da área amostrada. Para essas variáveis, a produtividade e os teores foliares de P, K, B, Ca e Mn, escolhidos em função das correlações entre as análises foliares e as datas de avaliação, o melhor modelo ajustado foi o Exponencial (Tabela 5).

Tabela 5 – Variáveis e coeficientes dos semivariogramas relativos às avaliações de incidência da mancha de phoma, produtividade e às análises foliares de fósforo, potássio, boro, cálcio e manganês.

Variável	Modelo	Ao	Co	Co + C	Co/ (Co + C)	GDE
Pico da incidência da mancha de phoma						
15/08/2012	Exp.	130,39	4,97	2,82	1,00	Fraco
08/06/2013	Exp.	130,39	8,57	11,02	0,77	Fraco
24/08/2013	Exp.	130,39	4,43	11,97	0,37	Moderado
03/12/2013	Exp.	130,39	21,62	17,18	1,00	Fraco
14/03/2015	Exp.	130,39	18,79	6,42	1,00	Fraco
23/05/2015	Exp.	38,74	14,37	20,85	0,68	Moderado
Produtividade						
2013	Exp.	130,39	$3,2 \times 10^4$	$1,4 \times 10^5$	0,22	Forte
2014	Exp.	61,55	$3,2 \times 10^3$	$3,0 \times 10^4$	0,10	Forte
Análises foliares						
P 2012	Exp.	79,55	0,01	0,01	0,57	Moderado
P 2013	Exp.	130,39	0,01	0,09	0,08	Forte
P2014	Exp.	62,75	0,01	0,001	5,92	Fraco
K 2012	Exp.	54,43	0,81	2,09	0,38	Moderado
K 2013	Exp.	94,82	0,26	6,71	0,03	Forte
K 2014	Exp.	130,39	1,09	1,09	1,00	Fraco
B 2012	Exp.	130,39	0,00	88,79	0,00	Forte
B 2013	Exp.	130,39	4,31	41,89	0,10	Forte
B 2014	Exp.	130,39	0,28	197,43	0,00	Forte
Ca 2012	Exp.	130,39	0,09	3,418	0,03	Moderado
Ca 2013	Exp.	35,81	0,00	1,796	0,00	Forte
Ca 2014	Exp.	130,39	2,76	0,769	1,00	Fraco
Mn 2012	Exp.	130,39	107,9	572,29	0,19	Forte
Mn 2013	Exp.	130,39	15,07	1320,2	0,01	Forte
Mn 2014	Exp.	80,20	158,5	471,39	0,34	Moderado

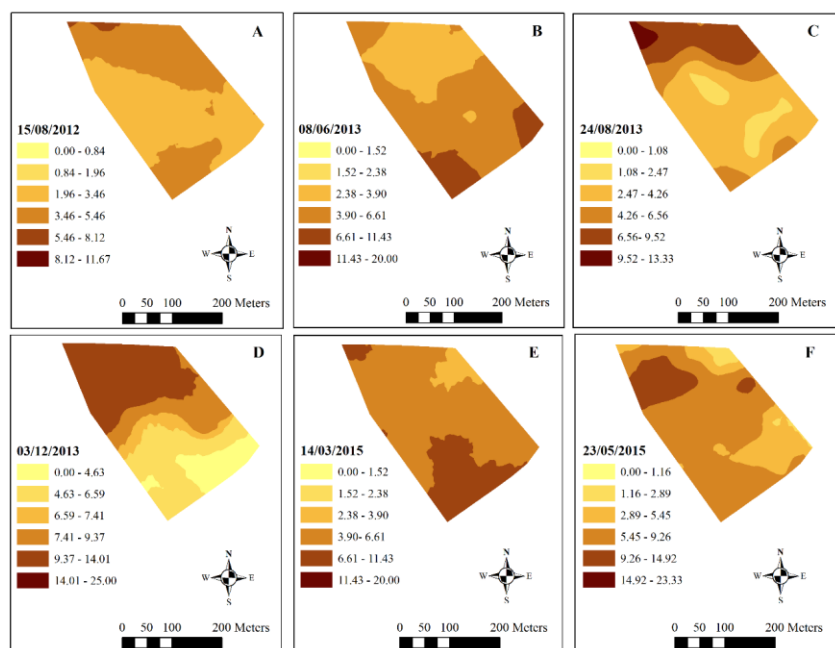
Ao = alcance, Co = efeito pepita, C+Co = patamar, Co/C+Co = razão indicativo do grau de dependência espacial (GDE, onde de 0 a 0,25 = forte, 0,25 a 0,75 = moderado e 0,75 a 1 = fraco), Prod = Produtividade kg ha⁻¹, Exp = Exponencial.

Fonte: Dados do autor (2016)

Para as avaliações da incidência, nas datas de 15/08/2012, 08/06/2013, 03/12/2013 e 14/03/2015, houve fraca dependência espacial, enquanto, nos dias 24/08/2013 e 25/05/2015, foi moderada. Os valores de alcance variaram de 116,21 a 391,18 m (**Tabela 5**).

Embora a distribuição espacial da mancha de phoma tenha variado, ao longo das avaliações (**Figura 3**), as áreas de maior incidência aumentaram, ao longo do tempo, nos dois anos de avaliações, ou seja, ocorreu variação na incidência da doença ao longo do espaço e do tempo. Nas avaliações de 15/08/2012, 08/06/2013, 24/08/2013, 03/12/2013, 14/03/2015 e 25/05/2015, a incidência variou de zero a 11,67, a 20,00, a 13,33, a 25,00, a 20,00 e a 23,33%, respectivamente.

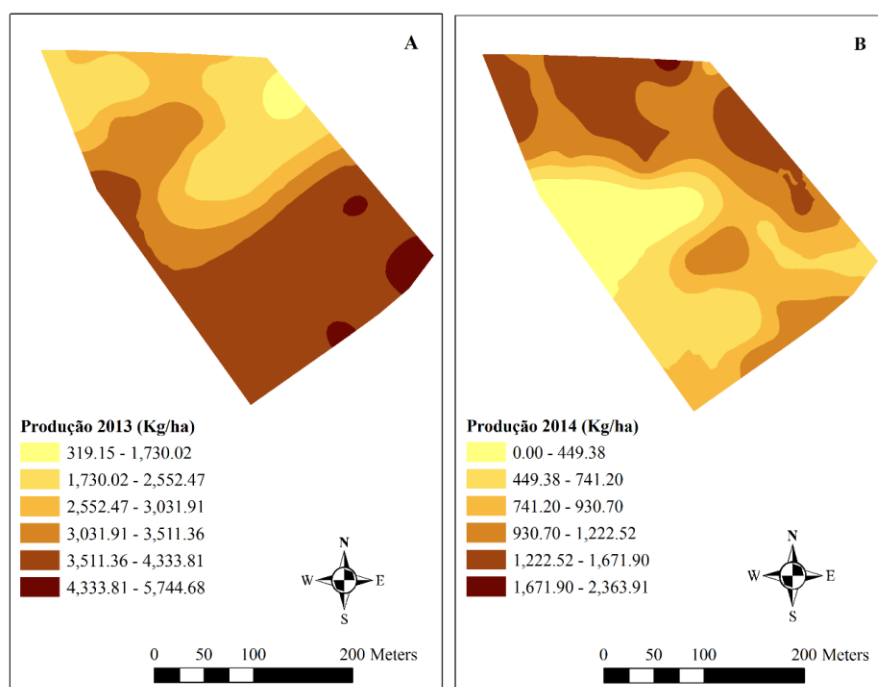
Figura 3 – Krigagem da incidência da mancha de phoma (%) nas datas 15/08/2012, 08/06/2013, 24/08/2013, 03/12/2013, 14/03/2015, 23/05/2015.



Fonte: Dados do autor (2016)

A produtividade, também, variou ao longo do espaço e do tempo, nos dois anos, porém houve inversão das áreas de maior produção. Em 2013, foi na parte sudeste da área, com produtividade de até 5744,68 kg ha⁻¹ ou 95,74 sc ha⁻¹ e, em 2014, foi na parte noroeste, alcançando valores de 1957,52 kg ha⁻¹ ou 32,63 sc ha⁻¹. A dependência espacial foi forte, nos dois anos de produção, com valores de alcance de 184,66 até 391,18 m.

Figura 4 - Krigagem da produtividade (kg ha⁻¹) na área de gotejamento em 2013 e 2014.



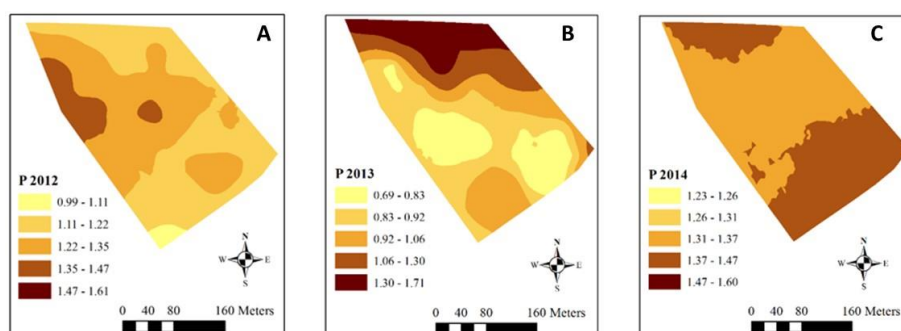
Fonte: Dados do autor (2016)

Em relação a 2013, nas áreas de maiores produtividades, antes da colheita, na avaliação de 08/06/2013, foram observadas incidências da doença de até 20,00%, entretanto, após a colheita, em 24/08/2013 e 03/12/2013, aumentaram cerca de 25%, chegando ao máximo de 25% de folhas infectadas.

Já, em 2014, ficou nítida a relação da carga pendente com a mancha de phoma do cafeeiro, pois tanto a produtividade quanto a incidência foram menores, em relação ao ano anterior, atingindo o maior índice da doença, em 04/06/2014, com média de 1,33% (**Figura 2**) na área total e amplitude máxima de 8,33% e produtividade 66% menor, em relação a 2013.

Além disso, observou-se, nos mapas de krigagem, a variação na distribuição do P, K, Ca, B, e Mn, ao longo da área amostrada. Para o P, nos anos de 2012 e 2013, os maiores teores foram observados do lado Noroeste, lado de menor produtividade em 2013. Em 2014, os maiores teores foram observados do lado Noroeste e Sul da área (**Figura 5**), com menor produção do lado Sul, sendo estes, em 2012 e 2013, na média e, em 2014, acima da faixa crítica descrita por Martinez et al. (2003) (1,2 a 1,6 g kg⁻¹). Na amostragem do teor foliar, em 2012, 2013 e 2014, a dependência espacial foi moderada, forte e fraca, respectivamente, com valores de alcance variando de 188,26 a 391,18 m (**Tabela 5**).

Figura 5 - Krigagem das análises foliares de fósforo (g kg⁻¹) nos anos de 2012, 2013 e 2014.

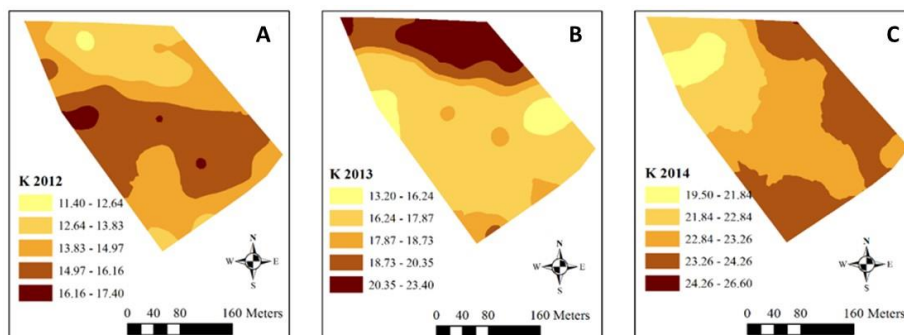


Fonte: Dados do autor (2016)

Para o K, no ano de 2012, a distribuição do nutriente foi maior do lado Oeste. Já, em 2013, os maiores teores foram observados do lado Nordeste da

área e, no ano de 2014, os maiores teores foram observados entre os lados Noroeste e Sul da área (**Figura 6**), áreas de menores produtividades, sendo estes, em 2012, abaixo e, em 2013 e 2014, na média da faixa crítica descrita por Martinez et al. (2003) (19,7 a 30,3 g kg⁻¹). Na amostragem do teor foliar em 2012, 2013 e 2014, a dependência espacial foi moderada, forte e fraca, respectivamente, com valores de alcance variando de 178,30 a 391,18 m (**Tabela 5**).

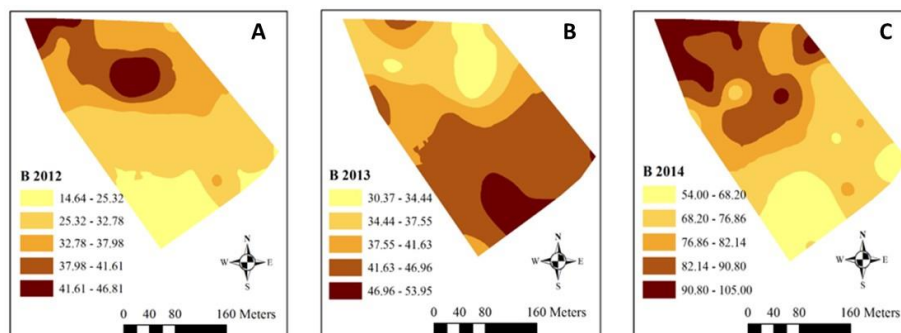
Figura 6 - Krigagem das análises foliares de potássio (g kg⁻¹) nos anos de 2012, 2013 e 2014.



Fonte: Dados do autor (2016)

Para o B, no ano de 2012 e 2014, a distribuição do nutriente foi maior dos lados Norte e Noroeste. Já, em 2013, foi maior do lado Sul da área (**Figura 7**), áreas de maiores produtividades nos dois anos avaliados, sendo estes, na média, nos anos 2012 e 2013 e, acima da faixa crítica, no ano de 2014, descrita por Martinez et al. (2003) (39,0 a 67,0 mg kg⁻¹). Não houve variação quanto à dependência espacial, na amostragem em 2012, 2013 e 2014, todas apresentaram forte dependência espacial, com valores de alcance de até 391,18 m (**Tabela 5**).

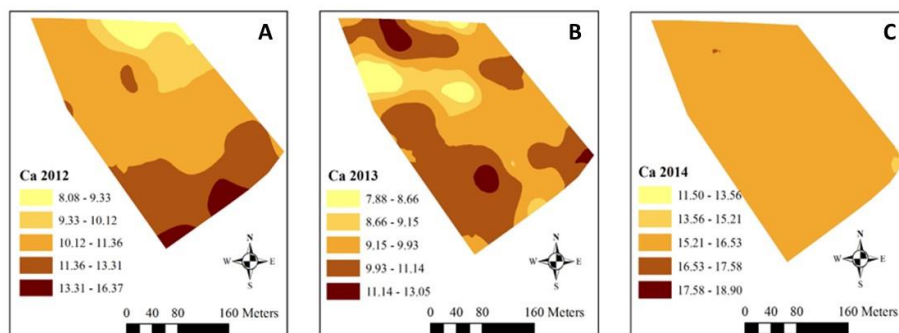
Figura 7 - Krigagem das análises foliares de boro (mg kg^{-1}) nos anos de 2012, 2013 e 2014.



Fonte: Dados do autor (2016)

A distribuição dos teores foliares de Ca, também variou ao longo do espaço e do tempo. No ano de 2012, foi maior do lado Sul da área. Já, no ano de 2013, foi maior tanto do lado Sul, área de maior produtividade, quanto do lado Norte, área de produção menor. Em 2014, os teores do nutriente ficaram distribuídos homogeneamente, em quase toda a área (**Figura 8**), não apresentando relações com a produtividade, sendo estes acima em 2012 e 2014 e em 2013, na média da faixa crítica descrita por Martinez et al. (2003) ($8,4$ a $13,2 \text{ g kg}^{-1}$). Na amostragem do teor foliar em 2012, 2013 e 2014, a dependência espacial foi moderada, forte e fraca, respectivamente, com valores de alcance variando de $107,44$ a $391,18 \text{ m}$ (**Tabela 5**).

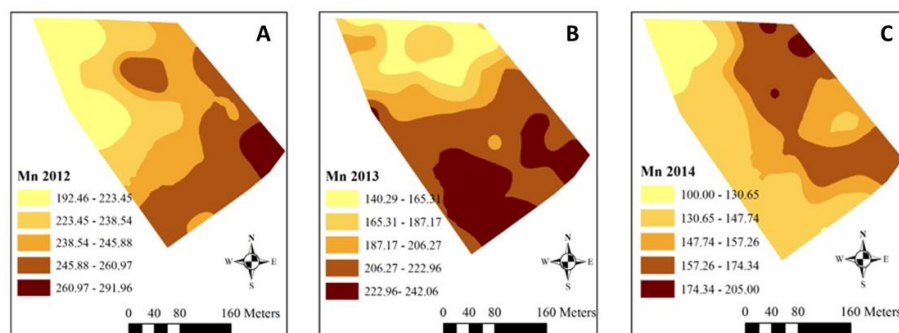
Figura 8 - Krigagem das análises foliares de cálcio (g kg^{-1}) nos anos de 2012, 2013 e 2014.



Fonte: Dados do autor (2016)

Para o Mn, em 2012 e 2013, os maiores teores foram observados do lado Sul da área enquanto, em 2014, foi maior do lado Nordeste da área (**Figura 9**), sendo estes, nos anos 2012, 2013 e 2014, áreas de maiores produções, sendo estes fatores nutricionais acima da faixa crítica descrita por Martinez et al. (2003) ($110,0$ a $193,0 \text{ mg kg}^{-1}$). Na amostragem do teor foliar, em 2012 e 2013, houve forte dependência espacial, enquanto, em 2014, foi moderada, com valores de alcance variando de $240,61$ a $391,18 \text{ m}$ (**Tabela 5**).

Figura 9 - Krigagem das análises foliares de manganês (mg kg^{-1}) nos anos de 2012, 2013 e 2014.



Fonte: Dados do autor (2016)

Embora a distribuição espacial da mancha de phoma tenha variado, ao longo do espaço e do tempo (**Figura 3**), as áreas de maior incidência estão relacionadas com as maiores produtividades (**Figura 4**) e a distribuição dos teores foliares em estudo (**Figuras 5, 6, 7, 8 e 9**). Na relação das variáveis analisadas, para 2013 do lado Sudeste da área, foram observadas as maiores produções, as maiores intensidades da mancha de phoma até a colheita e os maiores teores foliares de B e Mn e menores de P e K. Na relação das variáveis analisadas, para 2014 do lado Sudeste da área, foram observadas as menores produções, os maiores teores foliares de P, K e menores teores de B e Mn. Devido a baixa carga pendente, os índices de incidência foram baixos durante todo o ano.

4 DISCUSSÃO

Ocorreu variação no progresso temporal da mancha de phoma, em cafeeiro irrigado por pivô central, durante o período avaliado. De agosto de 2012 a maio de 2015, as datas de maiores incidências ocorreram, em meses diferentes, de março a dezembro. Santos et al. (2014) e Vasco (2012), também observaram a maior incidência da mancha de phoma no sul de Minas Gerais entre os meses de junho a agosto de 2010 e maio a agosto de 2011, ou seja, existe variação, nas datas de maior incidência da doença, dependendo das condições meteorológicas.

As maiores incidências da doença coincidiram com o período de temperaturas baixas ($<20^{\circ}\text{C}$) e menor pluviosidade ($< 50 \text{ mm}$), quando ocorreu a suspensão da irrigação e na ausência de adubações no solo ou foliares, para realizar as operações de colheita (SAKYIAMA, 2015). Com isso, o cafeeiro fica com baixo metabolismo em virtude das condições ambientais desfavoráveis, tanto do fornecimento de nutrientes quanto de água no solo e temperaturas externas baixas. Sendo assim, as barreiras de resistência física não estão sendo mantidas ou construídas, como, por exemplo, a camada de cera e a parede celular (BOTELHO et al., 2011; POZZA; POZZA; BOTELHO, 2015) e pode ocorrer tanto o aumento da incidência quanto da área foliar lesionada. Além disso, ocorre maior crescimento do tubo germinativo, capaz, dessa forma, de encontrar ferimentos para penetração com maior facilidade, em temperaturas mais baixas (LORENZETTI et al., 2015). No ano de 2013, em dezembro, houve o pico da doença, porém a temperatura média registrada foi de $22,3^{\circ}\text{C}$ e de $22,4^{\circ}\text{C}$, nas áreas interna e externa à copa, respectivamente e precipitação acumulada de 303 mm, 14 dias antes da avaliação. Observa-se, nessa avaliação, condições climáticas atípicas para a ocorrência da doença, porém, como o progresso teve início no mês de abril, o inóculo inicial estava presente na área e a incidência da doença aumentou. Logo após essa avaliação, como as condições

já não estavam favoráveis ao progresso da doença e por causa do aumento do enfolhamento (**Figura 2C**), com o lançamento de folhas novas, houve queda no progresso da doença. Sendo assim, na avaliação seguinte, em fevereiro de 2014, foi observada média de 0,5% na incidência, diluindo, assim, a doença (MADDEN; HUGHES; VAN DEN BOSCH, 2007). De acordo com Santos et al. (2014) e Vasco (2012), a queda de temperatura (16 a 19°C) e menores precipitações foram importantes para o progresso da doença. Outros autores, ainda, constataram, em temperaturas abaixo de 20°C, maiores intensidades da doença, porém não citaram a ocorrência de menor pluviosidade (LIMA et al., 2010; LORENZETTI et al., 2015; POZZA; CARVALHO; CHALFOUN, 2010; SALGADO et al., 2009).

Santos et al. (2014) e Vasco (2012) estudaram a influência da irrigação na mancha de phoma do cafeeiro. Segundo os autores, tratamentos sem irrigação apresentaram maiores índices de incidência e AACPI. Provavelmente, o déficit hídrico na parcela permitiu menor absorção de nutrientes, ficando assim a planta vulnerável à mancha de phoma. Nos outros tratamentos, a incidência da mancha de phoma foi semelhante, tendo a irrigação, possivelmente, suprido as necessidades de água e nutrição da planta. Conforme Lima, Custódio e Gomes (2008) e Rotem e Palti (1969), a irrigação supre as necessidades de água da planta, além de nutri-la melhor, proporcionando melhor enfolhamento. Segundo Santos et al. (2014) a presença de água disponível na folha, a qual representa a água livre sobre a superfície foliar, pode ser proveniente do orvalho, gutação, chuvas ou irrigação, mas também é importante para a ocorrência do progresso da mancha de phoma. Em outras doenças do cafeeiro, como a ferrugem e a cercosporiose do cafeeiro, Paiva et al. (2011, 2012), também, relataram maiores intensidades da doença em plantas não irrigadas e em sistemas convencionais. Santos et al. (2004) e Vasco et al. (2015) também estudando a influência da irrigação na cercosporiose, porém, em frutos do cafeeiro, observaram maior

incidência no tratamento não irrigado e nas menores lâminas de água. Segundo os autores, esse resultado ocorreu devido à deficiência hídrica associada à má absorção de nutrientes, principal causa da elevada intensidade da doença, por tornar as plantas suscetíveis à infecção de *Cercospora coffeicola*. Sendo assim, a irrigação deficitária ou o não fornecimento de água favoreceram a intensidade da doença, certamente, por não proporcionar fornecimento de nutrientes necessários à constituição da copa e a consequente formação de barreiras de resistência. Segundo Bernardo, Soares e Mantovani (2006), deve-se evitar o prolongamento do período de molhamento das folhas e do colo das plantas, fazendo-se a irrigação, durante a noite, quando o orvalho já está presente e aumentando-se o turno de irrigação.

O resultado das variáveis climáticas entre os sensores posicionados externa e internamente à copa foram semelhantes, provavelmente, devido à estação ter sido instalada a 200 m de distância do experimento. Porém foram observados, no coeficiente de correlação para as variáveis climáticas, umidade relativa e temperatura interna à copa, valores menores em relação aos sensores da estação instalada externamente à copa. Esse resultado pode ter influência do espaçamento, do tamanho e do enfolhamento das plantas, os quais aumentam o sombreamento, favorecendo o microclima da área durante todo o ano. Vasco (2012), também correlacionou a mancha de phoma com as variáveis ambientais, em diferentes densidades de plantio, ao verificar, nas densidades de 2.500, 3.333 e 5.000 plantas ha⁻¹, correlações negativas com as variáveis climáticas, temperatura máxima, mínima e média e umidade relativa, ou seja, houve aumento na intensidade da doença com as menores temperatura e da umidade, relação também observada por Santos et al. (2014).

Os teores de P, K, B, Ca e Mn apresentaram correlação com as datas de maior incidência da mancha de phoma do cafeeiro, AACPI e AACPE. Freitas et al. (2016), avaliando a relação dos teores médios dos nutrientes no solo com a

intensidade da sigatoka amarela, em bananeira, não observaram variação entre os grades. De acordo com Silva et al. (2002), os nutrientes P, K, Ca, B e Mn apresentaram níveis abaixo dos indicados para o cultivo da bananeira. Os mesmos resultados foram encontrados por Uchôa et al. (2011), estudando a sigatoka negra, na cidade de Registro-SP, na qual observaram deficiência entre os teores dos nutrientes P, Ca, S, Mg e Zn.

Nas datas de maior intensidade da doença, nos dias 15/08/2012, 08/06/2013, 24/08/2013, 03/12/2013 14/03/2015 e 23/05/2015, observou-se fraco, fraco, moderado, fraco, fraco e moderado grau de dependência espacial, respectivamente e o modelo de semivariograma exponencial foi o ajustado, para todas as variáveis neste estudo, sendo o mesmo encontrado por Lima (2009) no manejo convencional. Já, no manejo orgânico, a autora encontrou o modelo efeito pepita puro. Segundo a mesma autora, isso ocorreu em razão da baixa incidência da mancha de phoma, nesse sistema de cultivo, com valores de intensidade da doença muito próximos entre um ponto e outro. Alves et al. (2009), também, ajustaram o modelo exponencial para a ferrugem e cercosporiose no cafeeiro. Na cultura da bananeira, Freitas et al. (2016) também ajustaram o modelo exponencial na maioria dos nutrientes no estudo da distribuição da sigatoka amarela correlacionada com a fertilidade do solo e nutrição mineral. Segundo Silva e Chaves (2001), o modelo exponencial é o mais apropriado para as propriedades da nutrição de plantas e fertilidade do solo. Lima (2009) encontrou alcance variando de 4,2 a 6,0 e 3,9 a 7,5 m para a AACPI e AACPS da mancha de phoma do cafeeiro, no manejo convencional, sem irrigação, respectivamente, enquanto, no presente trabalho, em lavoura irrigada por pivô central, encontrou-se alcance entre 116,21 a 391,18 m. Esses resultados evidenciam maior intensidade da mancha de phoma do cafeeiro neste trabalho, quando comparado ao trabalho de Lima (2009). Também no cafeeiro, para ferrugem e a cercosporiose, Alves et al. (2009) encontraram alcance

variando de 46 a 57 m e 38,4 a 84,4 m, respectivamente. Na cultura do algodoeiro, Alves et al. (2006), caracterizando o progresso espaço-temporal da severidade da antracnose do feijoeiro *Colletotrichum lindemuthianum* (Sacc. & Magnus), também, verificaram forte grau de dependência espacial entre plantas, nas épocas de avaliações 26, 33, 40, 47, 54 e 61 dias após o plantio. Esses autores verificaram, aos 61 dias após a semeadura (DAS), alcances máximos de 3,15 m para a antracnose e aos 80 DAS um alcance de 6,82 m para a ramulose. 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).

Após construir os mapas de krigagem, para a mancha de phoma, observou-se relação entre as datas selecionadas. Para o ano de 2012, os mapas apresentaram maiores intensidades na face Nordeste da área. Nesse mesmo lado, também foram observados o maior teor de B e baixos teores de P, K, Ca e Mn. Para o ano de 2013, os mapas apresentaram maiores intensidades de doença, na face Sul da área antes da colheita e, na face Norte após a mesma, possivelmente em decorrência da desfolha causada na colheita e à queda das folhas doentes, foi observada maior produtividade na face Sul. Nesse mesmo lado, foram observados os maiores teores de B, Ca e Mn e baixos teores de P e K. Para o ano de 2014, devido à carga pendente, baixas incidências da doença foram registradas. Com base no mapa de produtividade, o maior rendimento foi na face Norte da área. Essa inversão de produtividade está diretamente ligada à característica do cafeeiro chamada de bienalidade, mostrando, por meio do mapa, a variação da produtividade, ao longo dos dois anos de avaliação, sendo ano de carga alta, em 2013 e ano de carga baixa, em 2014 (**Figura 4**). Nesse mesmo lado, também foram observados os maiores teores de P, K e Mn e baixos teores de B. Os níveis de Ca na área estavam homogêneos. Esses resultados

mostram a relação direta do nutriente B com a incidência da mancha de phoma do cafeeiro e relação inversa com os nutrientes P e K, pois, quando os teores foliares de B ($39,0$ a $67,0$ mg kg^{-1}) estavam acima da faixa crítica descrita por Martinez et al. (2003) e, quando os teores de P ($1,2$ a $1,6$ g kg^{-1}) e K ($19,7$ a $30,3$ g kg^{-1}) estavam abaixo, houve maior produtividade nos anos de 2013 e 2014. Esse fato demonstra a importância do equilíbrio entre os nutrientes, ou seja, o excesso ou a falta deles poderá afetar a incidência da doença (CATARINO et al., 2016; GARCIA JUNIOR et al., 2003; LIMA et al., 2010; MARSCHNER, 2012). Lima (2009), também estudando a distribuição espacial e temporal em cafeeiro, para mancha de phoma sob sistema de cultivo convencional e orgânico, observou tanto a AACPI quanto AACPS, no primeiro período (agosto/2007 a fevereiro/2008), têm padrão de distribuição agregado ao sistema convencional e aleatório, ao sistema orgânico, havendo correlação negativa de Ca, Mg e B e positiva do N com a AACPS da mancha de phoma do cafeeiro e, no segundo período (fevereiro/2008 a agosto/2008), tanto a AACPI quanto a AACPS apresentaram distribuição aleatória, para os dois sistemas de cultivo e não houve correlação com a nutrição do cafeeiro. Já Uchôa et al. (2011) observaram padrão de variabilidade espacial inversa da severidade da sigatoka negra com os teores foliares de K e P em bananeiras e relação positiva com o Ca. Neste trabalho, o Ca e o Mn não apresentaram um padrão de variabilidade espacial, sendo observado no ano de 2012, relação negativa com a incidência da doença e positiva no ano de 2013.

De acordo com os mapas de krigagem realizados 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, apresentando menor severidade nas áreas com níveis mais altos de K e B. Segundo Couto e Klamt (1999), estudando a distribuição espacial de micronutrientes em solo, sob pivô central, observaram

deficiência de 95% das amostras com o nutriente B, ou seja, a aplicação de fertilizantes, apesar de valores elevados, não foi suficiente. Em solução nutritiva, Catarino et al. (2016), estudando a intensidade da mancha de phoma, em mudas de cafeeiro sob doses de Ca e de K, observaram na menor dose de Ca (2 mmol L⁻¹) e nas maiores de K (6 e 7 mmol L⁻¹), menor AACPI. Para a AACPS, as menores doses de Ca e de K resultaram em menores severidades. Segundo os autores, os suprimentos de Ca e de K em solução nutritiva reduziram as AACPI e AACPS da mancha de phoma do cafeeiro e o uso desses nutrientes pode ser recomendado no manejo da doença. Já Lima et al. (2010) observaram a influência na incidência e na severidade da mancha de phoma em mudas de cafeeiro com o desequilíbrio da relação N/K em solução nutritiva e a alteração do estado nutricional das plantas. Foi observado aumento linear de 34,8% da intensidade da doença com o aumento das doses de N, porém, com o aumento das doses de K, verificou-se redução quadrática (34,3%) até a dose de 7,0 mmol L⁻¹. No cafeeiro, a adubação das plantas, mantendo níveis adequados de nutrientes minerais, promove o aumento de produtividade, além de manter o enfolhamento e reduzir a incidência de doenças. Esses níveis adequados devem ser observados, durante todo o ciclo, por meio da análise do tecido foliar, pois ocorre variação no teor foliar a cada dia, mês e ano, dependendo da cultura, sendo necessária a reposição para não ocorrer efeito no incremento de produtividade e na intensidade das doenças.

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 doenças, entre outros (POZZA; POZZA, 2012).

5 CONCLUSÕES

Ocorre progresso da doença nos anos avaliados.

Ocorre variação ao longo do tempo e do espaço da mancha de phoma do cafeeiro.

Houve correlação negativa entre a mancha de phoma e a temperatura máxima tanto interna quanto externa a copa do cafeeiro, entre umidade média externa e correlação positiva entre a AACPE e a produtividade de 2013 e correlação entre os picos da doença, AACPI, AACPE e os nutrientes foliares B, Ca, K, Mn e P.

Houve dependência espacial da mancha de phoma do cafeeiro com os teores de P, K, B, Ca e Mn. A maior incidência da mancha de phoma do cafeeiro foi nas áreas com os menores teores de P e K e os maiores teores de B, não sendo observado um padrão para os nutrientes Ca e Mn.

AGRADECIMENTOS

À Coordenação de Aperfeiçoamento Pessoal de Nível Superior (CAPES), ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais – FAPEMIG, ao Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia do Café – INCT-Café, no auxílio financeiro e concessão de bolsas e ao Departamento de Fitopatologia da Universidade Federal de Lavras.

REFERÊNCIAS

AGRIANUAL. **Anuário da Agricultura Brasileira**. São Paulo: FNP Consultoria e Agroinformativos, 2015. 482 p.

ALMEIDA, F. A. et al. Distribuição espacial de *Phytophthora nicotianae* e reação de cultivares de cebola ao fungo. **Summa Phytopathologica**, Botucatu, v. 37, n. 1, p. 13-17, jan. 2011.

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.

_____. The potential of geostatistics and geographic information systems in pest eradication. **Perspectives in Agriculture, Veterinary Science, Nutrition and Natural Resources**, Berlin, v. 6, n. 2, p. 1-14, May 2009.

_____. Geoestatística na proteção de plantas: geoinformação do pesquisador ao produtor. In: MACHADO, A. K. F. M.; OGOSHI, C. et al. (Ed.). **Avanços na otimização do uso de defensivos agrícolas no manejo fitossanitário**. São Carlos: Suprema Gráfica e Editora, 2012. p. 283-302.

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.

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

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, p. 481-500, 1998.

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

BOTELHO, D. M. S. et al. Efeito do silício na intensidade da cercosporiose e na nutrição mineral de mudas de cafeeiro. **Arquivos do Instituto Biológico**, São Paulo, v. 78, n. 1, p. 23-29, jan./mar. 2011.

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, jul./ago. 2007.

BROWN, P. H. et al. Boron in Plant Biology. **Plant Biology**, New York, v. 4, n. 2, p. 205-223, June 2002.

BRYLA, D. R. et al. 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**, Virginia, v. 40, n. 7, p. 2118-2124, Dec. 2005.

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

CAMARGO, A. P. 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.

CAMBARDELLA, C. A. et al. Field-scale variability of soil properties in Central Iowa soils. **Soil Science of America Journal**, Madison, v. 58, n. 4, p. 1501-1511, Nov. 1994.

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

CARVALHO, A. 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, jun. 1956.

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

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**. 2008. 83 p. Dissertação (Mestrado em Fitopatologia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2008.

CARVALHO, J. G. et al. Sintomas de desordens nutricionais em cafeeiro. In: GUIMARÃES, R. J.; MENDES, A. N. G.; BALIZA, D. P. (Ed.). **Semiologia do cafeeiro: sintomas de desordens nutricionais, fitossanitárias e fisiológicas**. Lavras: Editora da UFLA, 2010. p. 69-101.

CARVALHO, V. L. de; CHALFOUN, S. M. **Doenças do cafeeiro: diagnose e controle**. Belo Horizonte: Epamig, 2000. 44 p.

CARVALHO, V. L. de; CUNHA, R. L. da; SILVA, N. R. N. **Mancha-de-Phoma do cafeeiro**. Belo Horizonte: EPAMIG, 2011. 136 p.

CARVALHO, V. L. et al. Influencia da produção na incidência da ferrugem do cafeeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 31, n. 6, p. 401-405, jun. 1996.

CATARINO, A. M. et al. Calcium and potassium contents in nutrient solution on Phoma leaf spot intensity in coffee seedlings. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 63, n. 4, p. 486-491, jul./ago. 2016.

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

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB.
Acompanhamento da safra brasileira café: safra 2017: primeiro levantamento, Brasília: Conab, 2017. 98 p.

COUTO, E. G.; KLAMT, E. Variabilidade espacial de micronutrientes em solo sob pivô central no sul do Estado de Mato Grosso. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 34, n. 12, p. 2321-2329, dez. 1999.

CUSTÓDIO, A. A. de P. et al. Effect of center-pivot irrigation in the rust and brown eye spot of coffee. **Plant Disease**, Saint Paul, v. 98, n. 7, p. 943-947, July 2014.

_____. Incidência do bicho-mineiro do cafeeiro em lavoura irrigada sob pivô central. **Coffee Science**, Lavras, v. 4, n. 1, p. 16-26, jan./jun. 2009.

_____. Intensidade da ferrugem e da cercosporiose em cafeeiro quanto à face de exposição das plantas. **Coffee Science**, Lavras, v. 5, n. 3, p. 214-228, set./dez. 2010.

CUSTÓDIO, A. A. de P. **Epidemiologia da ferrugem e da cercosporiose em cafeeiro irrigado sob pivô central**. 2008. 71 p. Dissertação (Mestrado em Fitopatologia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2008.

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

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

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

ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE. **ArcGIS 9. Understanding map projections**. Redlands: ESRI, 2004.

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

FAQUIN, V. **Nutrição de plantas**. Lavras: Editora da UFLA, 2005. 183 p.

FARIA, M. A.; REZENDE, F. C. **Irrigação na cafeicultura**. Lavras: Editora da UFLA, 1997. 110 p.

FARIA, M. F. et al. Influência das lâminas de irrigação na maturação e produtividade do cafeeiro (*Coffea arabica* L.): 2ª colheita. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA EM CAFEICULTURA IRRIGADA, 4., 2001, Araguari. **Resumos...** Uberlândia: Editora da UFU, 2001. p. 11-14.

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

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

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.

FREITAS, A. S. et al. Spatial distribution of yellow sigatoka leaf spot correlated with soil fertility and plant nutrition. **Precision Agriculture**, New York, v. 17, n. 1, p. 93-107, July 2016.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS - FAOSTAT. **Agricultural production and yield statistics**. Rome: FAO, 2017. Disponível em: <<http://faostat.fao.org/site/567/default.aspx#ancor>>. Acesso em: 15 mar. 2017.

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.

GRAHAM, J. H.; MENGE, J. A. Influence of vesicular-arbuscular mycorrhiza and soil phosphorus on talk-all disease of wheat. **Phytopathology**, Estados Unidos, v. 72, n. 1, p. 95-98, Jan. 1982.

GUIMARÃES, P. T. G. et al. Adubação do cafeeiro e a qualidade do produto colhido. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 32, n. 261, p. 39-51, mar./abr. 2011.

_____. Cafeeiro. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ V. (Ed.). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação**. Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. p. 289-302.

HUERTA, S. A. Par de folhas representativo del estado nutricional del cafeto. **Cenicafé**, Chinchina, v. 14, n. 1, p. 11-127, Apr./June 1963.

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.

KRIGE, D. G. **A statistical approach to some mine valuation and allied problems on the Witwatersrand.** 1951. 139 p. Thesis (Ph.D. in Science) - University of the Witwatersrand, Johannesburg, 1951.

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.

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. **Ciencia e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 6, p. 1832-1842, nov./dez. 2008.

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

LIMA, L. M. de. **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.

LORENZETTI, E. R. et al. Effect of temperature and leaf wetness on *Phoma tarda* leaf spot in coffee seedlings. **Coffee Science**, Lavras, v. 10, n. 1, p. 1-9, jan./mar. 2015.

MADDEN, L. V.; HUGHES, G.; VAN DEN BOSCH, F. **The study of plant disease epidemics.** Saint Paul: APS Press, 2007. 432 p.

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

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações.** 2. ed. Piracicaba: Potafos, 1997. 319 p.

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

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2. ed. London: Academic Press, 2012. 889 p.

MATHERON, G. Principles of geostatistics. **Economic Geology**, Lancaster, v. 58, n. 5, p. 1246-1266, Dec. 1963.

_____. **The theory of regionalized variables and its applications**. Paris: El Cole National Supei, 1971. 211 p.

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

MATIELLO, J. B. et al. **Cultura do café no Brasil: manual de recomendações**. São Paulo: Futurama, 2016. 584 p.

MCBRATNEY, A. B.; WEBSTER, R. How many observations are needed for regional estimation of soil properties? **Soil Science**, Baltimore, v. 135, n. 3, p. 177- 183, mar. 1983.

MCNEW, G. L. **Plant diseases**. Washington: USDA Yearbook of Agriculture, 1953. 940 p.

MEIRELES, D. F. de; CARVALHO, J. de A.; MORAES, J. C. Avaliação da infestação do Bicho-Mineiro e do crescimento do cafeeiro submetido a diferentes níveis de déficit hídrico. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 25, n. 2, p. 371 374, mar./abr. 2001.

MORALES, P. et al. Respuesta del duraznero a diferentes patrones de aplicación del agua. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v.14, n.1, p.17–24, jan. 2010.

MUSOLI, C. P. et al. Spatial and temporal analysis of coffee wilt disease caused by *Fusarium xylarioides* in *Coffea canephora*. **European Journal of Plant Pathology**, New York, v. 122, p. 451-460, May 2008.

NOVAES, P.; SOUZA, J. P.; PRADO, C. Grafting for improving net photosynthesis of coffee arabica in field in southeast of Brazil. **Experimental Agriculture**, Cambridge, v. 47, n. 1, p. 53-68, Jan. 2011.

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

PAIVA, B. R. T. L. et al. Progresso da cercosporiose do cafeeiro sob diferentes manejos de irrigação e densidades de plantio. **Coffee Science**, Lavras, v. 8, n. 2, p. 166-175, abr./jun. 2012.

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

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

PERRENOUD, S. **Potassium and plant health**. 2. ed. Bern: International Potash Institute, 1990. 363 p.

PFENNING, L. H.; SALGADO, M.; ALMEIDA, A. R. Complexo Phoma: características e meios de controle. In: CURSO DE ATUALIZAÇÃO EM CAFÉ, 7., 2007, Campinas. **Anais...** Campinas: IAC, 2007. p. 91. (Documento, 80).

PINHEIRO, J. B. et al. Influência da nutrição mineral na distribuição espacial do nematóide de cisto da soja. **Nematologia Brasileira**, Campinas, v. 32, n. 4, p. 270-278, dez. 2008.

PINHEIRO, J. B. **Manejo da ferrugem da soja (*Phakopsora pachyrhizi* Sydow & Sydow) com nutrientes e fungicidas e a influência da nutrição mineral na distribuição espacial e reprodução do nematóide do cisto da soja (*Heterodera glycines* Ichinohe)**. 2007. 175 p. Tese (Doutorado em Fitopatologia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2007.

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**, New York, v. 26, n. 1, p. 29-34, Jan. 2000.

_____. Suprimento de fósforo na produção e intensidade da cercosporiose de mudas de cafeeiro em tubetes. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 26, n. 5, p. 970-976, maio 2002.

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. (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.; BOTELHO, D. M. dos S. Silicon in plant disease control. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 62, n. 3, p. 323-331, maio/jun. 2015.

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. et al (Ed.). **Avanços na otimização do uso de defensivos agrícolas no manejo fitossanitário**. São Carlos: Suprema Gráfica e Editora, 2012. p. 259-282.

_____. Manejo de doenças de plantas com macro e micronutrientes. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 28, n. 1, p. 52-54, jan./abr. 2003. Suplemento.

PRABHU, A. S.; FAGERIA, N. K.; HUBER, D. M.; RODRIGUES, F. A. Potassium and plant disease. In: DATNOFF, L. E.; ELMER, W. H.; HUBER, D. M. (Ed.). **Mineral nutrition and plant disease**. Saint Paul: APS Press, 2007. p. 57-78.

RENA, A. B.; MAESTRI, M. Ecofisiologia do cafeeiro. In: CASTRO, P. R. C.; FERREIRA, S. O.; YAMADA, T. (Ed.). **Ecofisiologia da produção agrícola**. Piracicaba: Potafos, 1987. p. 119-147.

RODRIGUES, S. B. S. et al. Avaliação do efeito de diferentes dosagens de nitrogênio e potássio aplicados via fertirrigação na produtividade de cafeeiros na região de Viçosa, MG. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 5., 2005, Londrina. **Anais...** Brasília: Embrapa Café, 2005. 1 CD-ROM.

ROTEM, J.; PALT, J. Irrigation and plant diseases. **Annual Review Phytopathology**, London, v. 7, n. 2, p. 267-288, Feb. 1969.

SAKYIAMA, N. **Café arábica do plantio à colheita**. Viçosa: Editora da UFV, 2015. 316 p.

SALGADO, M. et al. Escala diagramática para avaliação da severidade da mancha de *Phoma* do cafeeiro. **Tropical Plant Pathology**, Brasília, v. 34, n. 6, p. 422-427, nov./dez. 2009.

SALGADO, M.; PFENNING, L. H. Identificação e caracterização morfológica de espécies de *Phoma* do cafeeiro no Brasil. In: SIMPÓSIO DE PESQUISAS DOS CAFÉ DO BRASIL, 1., 2000, Poços de Calda. **Anais...** Brasília: Embrapa Café, 2000. p. 183-186.

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

SANTOS, L. S. D. et al. Incidência da Mancha de phoma em cafeeiro irrigado por gotejamento, sob diferentes manejos de irrigação. **Coffee Science**, Lavras, v. 9, n. 1, p. 77-89, jan./mar. 2014.

SANTOS, L. S. D. et al. Incidência da Mancha de phoma em cafeeiro irrigado por gotejamento, sob diferentes manejos de irrigação. **Coffee Science**, Lavras, v. 9, n. 1, p. 77-89, jan./mar. 2014.

SHANER, G.; FINNEY, R. E. The effect of nitrogen fertilization on the expression of slow-mildewing resistance in Knox wheat. **Phytopathology**, Saint Paul, v. 67, n. 8, p. 1051-1056, 1977.

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

SILVA, J. T. A. et al. **Diagnóstico nutricional da bananeira 'Prata-Anã' para o Norte de Minas Gerais**. Belo Horizonte: EPAMIG, 2002. 16p. (Boletim Técnico, 70).

SILVA, P. C. M.; CHAVES, L. H. G. Avaliação e variabilidade espacial de fósforo, potássio e matéria orgânica em Alissolos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 5, n. 3, p. 431-436, fev. 2001.

SILVA, V. R. et al. Variabilidade espacial das características químicas do solo e produtividade de milho em um Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico arênico.

Revista Brasileira de Ciências do Solo, Viçosa, v. 27, n. 6, p. 1013-1020, nov./dez. 2003.

SOUZA, C. K. **Variabilidade espacial de atributos do solo e produtividade em área cultivada com café orgânico e convencional**. 2006. 65 p. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinária, Jaboticabal, 2006.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2013. 918 p.

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

TANG, L.; LI, Y.; ZHANG, J. Physiological and yield responses of cotton under partial root zone irrigation. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 94, n. 2, p. 214-223, Nov. 2005.

UCHÔA, C. N. et al. Modelagem geoestatística da Sigatoka-negra e sua relação com a fertilidade do solo. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 27, n. 3, p. 357-362, mar. 2011.

VALE, F. X. R. do et al. Influência do clima no desenvolvimento de doenças de plantas. In: VALE, F. X. R. do; JESUS JÚNIOR, W. C. de; ZAMBOLIM, L. (Ed.). **Epidemiologia aplicada ao manejo de doenças de plantas**. Belo Horizonte: Perfil, 2004. p. 49-87.

VALE, F. X. R. do; ZAMBOLIM, L.; ZAMBOLIM, E. M. Doenças do cafeeiro (*Coffea arabica* e *C. canephora*). In: KIMATI, H. et al. (Ed.). **Manual de fitopatologia: doenças de plantas cultivadas: volume 2**. 4. ed. São Paulo: Agronômica Ceres, 2005. p. 165-180.

VALÊNCIA, L. I. O.; MEIRELLES, M. S. P.; BETTINI, C. Geoestatística aplicada à agricultura de precisão. In: MACHADO, P. L. O. A.; BERNARDI, A. C. C.; SILVA, C. A. **Agricultura de precisão para o manejo da fertilidade do solo em sistema de plantio direto**. Rio de Janeiro: Embrapa, 2004. p. 37-56.

VASCO, G. B. et al. Incidência da Cercosporiose em frutos de cafeeiro: Diferentes densidades de plantio e manejos de irrigação. **Coffee Science**, Lavras, v. 10, n. 1, p. 38-45, jan./mar. 2015.

VASCO, G. B. **Intensidade da mancha de *Phoma* em função da densidade de plantio e manejo de irrigação em cafeeiro**. 2012. 54 p. Dissertação (Mestrado em Fitopatologia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2012.

VELASCO, V. A. V. Papel de la nutrición mineral em la tolerância a las enfermedades de las plantas. **Terra**, Barcelona, v. 17, n. 3, p. 193-200, mar. 1999.

VIEIRA, S. R. **Curso de geoestatística aplicada à ciência do solo: fitotecnia e entomologia**. Jaboticabal: FCAV, 1997. 74 p.

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