

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO UNIVERSITÁRIO NORTE DO ESPÍRITO SANTO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRICULTURA TROPICAL**

ANA CAROLINA LYRA BRUMAT

**METODOLOGIAS PARA AVALIAÇÃO DA
DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DA FUSARIOSE EM
PIMENTA-DO-REINO**

São Mateus – ES

Fevereiro de 2018

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO UNIVERSITÁRIO NORTE DO ESPÍRITO SANTO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRICULTURA TROPICAL**

**METODOLOGIAS PARA AVALIAÇÃO DA
DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DA FUSARIOSE EM
PIMENTA-DO-REINO**

ANA CAROLINA LYRA BRUMAT

Dissertação apresentada à
Universidade Federal do Espírito Santo,
como parte das exigências do
Programa de Pós-Graduação em
Agricultura Tropical, para obtenção do
título de Mestre em Agricultura Tropical.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Barreto da Silva

São Mateus – ES

Fevereiro de 2018

Dados Internacionais de Catalogação na publicação (CIP)
(Divisão de Biblioteca Setorial do CEUNES - BC, ES, Brasil)
Bibliotecário: Filipe Briguiet Pereira – CRB-6 ES-000863/O

B893m Brumat, Ana Carolina Lyra, 1993-
Metodologias para avaliação da distribuição espacial da
fusariose em pimenta-do-reino / Ana Carolina Lyra Brumat. –
2018.
66 f. : il.

Orientador: Marcelo Barreto da Silva.
Coorientador: Antônio Fernando de Souza.
Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical) –
Universidade Federal do Espírito Santo, Centro Universitário
Norte do Espírito Santo.

1. Pimenta-do-reino. 2. Fusarium solani. 3. Epidemiologia. 4.
Análise espacial. I. Silva, Marcelo Barreto da. II. Souza, Antônio
Fernando de. III. Universidade Federal do Espírito Santo. Centro
Universitário Norte do Espírito Santo. IV. Título.

CDU: 63

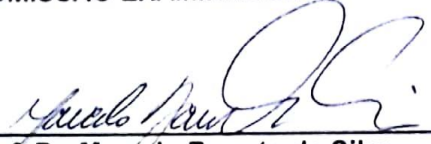
ANA CAROLINA LYRA BRUMAT

**METODOLOGIAS PARA AVALIAÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO
ESPACIAL DA FUSARIOSE EM PIMENTA-DO-REINO**

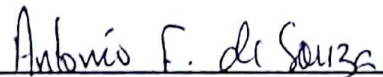
Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agricultura Tropical da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Agricultura Tropical.

Aprovada em 16 de fevereiro de 2018.

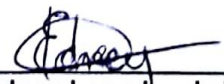
COMISSÃO EXAMINADORA




Prof. Dr. Marcelo Barreto da Silva
Universidade Federal do Espírito Santo
Orientador



Prof. Dr. Antonio Fernando de Souza
Instituto Federal do Espírito Santo
Coorientador



Prof. Dr. Edney Leandro da Vitória
Universidade Federal do Espírito Santo



Profª. Drª. Rosana Sambugaro
Universidade Federal do Espírito Santo

A Deus

Aos meus pais e irmãos.

DEDICO!

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pelo dom da vida, por ser minha fonte de fé e força.

Aos meus pais, Ana Célia e Jose Antonio, pelo amor, carinho, educação e principalmente o grande incentivo dado para eu vencer mais uma etapa. A vocês deixou meu maior agradecimento.

Aos meus irmãos, Ana Elisa e João Antonio, por estarem sempre presentes, sendo os mais fieis companheiros.

Ao meu professor orientador Marcelo Barreto, pela paciência, dedicação, incentivo e principalmente os ensinamentos que muito me auxiliou para conclusão deste trabalho.

Ao meu Coorientador, Antonio Fernando de Souza, que vem contribuindo para meu crescimento profissional desde minha graduação, meu muito obrigado por fazer parte deste momento.

Ao professor Ivoney Gontijo e Edney Leandro da Vitória, pela grande contribuição na realização desse trabalho, ensinamentos que foram primordiais para que esse trabalho fosse concluído.

A Rosana Sambugaro, pelo aceite em participar da banca e colaborar no trabalho, bem como os demais membros da banca.

Aos meus colegas, Winícius Botelho, Bianca Ferreira e Bruna Carminate, que também contribuíram para realização desse trabalho.

A todos os mestres e amigos, que me ensinaram, incentivaram e ajudaram, direta ou indiretamente, contribuindo assim, para que eu pudesse realizar este trabalho.

Ao produtor rural Elizeu Bonomo por ter concedido a realização da pesquisa em sua propriedade.

À Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), ao Centro Universitário Norte do Espírito Santo (CEUNES), Programa de Pós-Graduação em Agricultura Tropical (PPGAT) e a agência financiadora, Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes) pela oportunidade de realização do curso de mestrado e por todo o suporte recebido.

SUMÁRIO

RESUMO	vi
ABSTRACT	viii
1. CAPÍTULOS	1
1.1 COMPORTAMENTO ESPAÇO-TEMPORAL DA FUSARIOSE EM PIMENTA-DO-REINO	2
Resumo	2
Abstract	3
Introdução	3
Materiais e métodos	5
Resultados e discussão	8
Agradecimentos	13
Referências bibliográficas	14
1.2 DISTRIBUIÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL DA FUSARIOSE EM PIMENTA-DO-REINO UTILIZANDO A GEOESTATÍSTICA	21
Resumo	21
Abstract	22
Introdução	22
Materiais e métodos	24
Resultados e discussão	25
Agradecimentos	29
Referências bibliográficas	30
1.3 METODOLOGIAS PARA AVALIAÇÃO DO PADRÃO ESPACIAL DA FUSARIOSE EM PIMENTA-DO-REINO	38
Resumo	38
Abstract	38
Introdução	39
Materiais e métodos	39
Resultados e discussão	40
Conclusões	45

Referências bibliográficas	45
2. CONCLUSÕES GERAIS	48
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	49

RESUMO

BRUMAT, Ana Carolina Lyra; M. Sc.; Universidade Federal do Espírito Santo; fevereiro de 2018; **Metodologias para avaliação da distribuição espacial da fusariose em pimenta-do-reino**; Orientador: Marcelo Barreto da Silva, Coorientador: Antonio Fernando de Souza.

O estudo espaço-temporal de doença de plantas analisa a interação entre o patógeno, ambiente e o hospedeiro, no qual existem diversas metodologias que podem ser utilizadas para esse fim. A fusariose é considerada a principal doença fúngica na cultura da pimenta-do-reino, no entanto ainda são poucos os estudos epidemiológicos da doença. Visto isso, objetivou-se com o trabalho estudar a distribuição espacial da fusariose em pimenta-do-reino utilizando diferentes metodologias de estudo. Foram monitoradas quatro áreas homogêneas de pimenta-do-reino, no município de São Mateus-ES, no período de dez/2015 a dez/2016. A presença ou ausência de sintomas, bem como a posição de cada planta, foram anotadas em planilhas obtendo-se o mapeamento da evolução da doença dentro das áreas. Para o estudo espacial analisou-se os dados por diferentes metodologias: Índice de Dispersão (ID), Lei de Taylor modificada, análise de dinâmica e estrutura de focos (ADEF), e a krigagem. A análise dos dados por meio Lei de Taylor modificada indicou distribuição agregada somente

para a área quatro. A ADEF mostrou que, com a evolução da doença no campo, os focos se tornavam maiores e em menor número. Com a utilização de geoestatística foi possível observar que a fusariose é disseminada a curta distância, e que os focos obedecem a um padrão de alongamento. Comparando os resultados obtidos pelos diferentes métodos observa-se que a geoestatística corroborou com os resultados apresentados pelas metodologias convencionais (Lei de Taylor modificada e a ADEF), e que a mesma tem potencial para ser utilizada no estudo espacial de doença de plantas.

Palavras-chave: Epidemiologia espacial; *Piper nigrum*; *Fusarium solani* f. sp. *piperis*; geoestatística.

ABSTRACT

BRUMAT, Ana Carolina Lyra; M. Sc.; Federal University of Espírito Santo; february de 2018; **Methodologies for evaluating the spatial distribution of fusariosis in black pepper**; Advisor: Marcelo Barreto da Silva, Coadvisor: Antonio Fernando de Souza.

The spatiotemporal study of plant disease analyzes the interaction between of the pathogen, environment and the host, in which there are several methodologies that can be used for this purpose. However, fusariosis is considered the main fungal disease in black pepper crop, however there are still few epidemiological studies of this disease. The objective of this study was to study the spatial distribution of fusariosis in black pepper using different methodologies. Four homogeneous areas of black pepper were monitored in the municipality of São Mateus-ES, from December 2015 to December 2016. The presence or absence of symptoms, as well as the position of each plant, were recorded in spreadsheets and mapping the evolution of the disease in each area. For the spatial study the data were analyzed by different methodologies: Dispersion Index (ID), modified Taylor's Law, dynamics analysis and focus structure (ADEF), and kriging. Data analysis by means of modified Taylor's law indicated aggregate distribution only for area four. The ADEF showed that, with the evolution of the

disease in the field, the outbreaks became larger and in smaller numbers. With the use of geostatistics, it was possible to observe that the fusariosis is disseminated at short distance, and that the foci obey a pattern of stretching. Comparing the results obtained by the different methods, it is possible to observe that the geostatistics has confirmed the results presented by the conventional methodologies (modified Taylor law and ADEF), and that it has potential to be used in the spatial study of plant diseases.

Key words: Spatial epidemiology; *Piper nigrum*, *Fusarium solani* f. sp. *piperis*; geostatistic.

1. CAPÍTULOS

1 Artigo conforme as normas da Revista Summa Phytopathologica

2 **1.1 Comportamento espaço-temporal da fusariose em pimenta-do-reino**

3

4

5

6

7 **Resumo:** Objetivou-se com este trabalho estudar a dinâmica de distribuição espacial e
8 temporal da fusariose em pimenta-do-reino. Foram monitoradas quatro áreas de plantio,
9 no município de São Mateus-ES, Brasil, no período de dezembro de 2015 a dezembro
10 de 2016. Realizaram-se seis avaliações da doença com intervalo médio de dois meses.
11 As plantas foram avaliadas visualmente em busca dos sintomas típicos da doença. A
12 presença ou ausência de sintomas, bem como a posição de cada planta, foram anotadas
13 em planilhas eletrônicas obtendo-se o mapeamento da evolução da doença dentro das
14 áreas. Ao final foram elaborados 24 mapas contendo dados de incidência e distribuição
15 da doença. Com base nos mapas fez-se o estudo da distribuição espacial e temporal. A
16 partir dos dados de incidência calculou-se a área abaixo da curva de progresso da
17 doença (AACPD) e realizou-se o ajuste de modelos epidemiológicos. Para o estudo
18 espacial utilizou-se a Lei de Taylor modificada, o Índice de Dispersão (ID) e a análise
19 de dinâmica e estrutura de focos (ADEF). O modelo monomolecular foi o que melhor se
20 ajustou à curva de progresso da fusariose. Observou-se que os resultados de ID
21 variaram em cada área. A Lei de Taylor modificada indicou distribuição agregada
22 somente em uma área. A ADEF demonstrou que com a evolução da doença ao longo
23 do tempo os focos se tornavam maiores e em menor número, e ainda, a ADEF indicou a
24 presença de uma baixa compactação de focos.

25 **Palavras chave:** *Piper nigrum*, *Fusarium solani* f. sp. *piperis*; epidemiologia.

26 **Spatio-temporal behavior of fusariosis in black pepper**

27 **Abstract:** We aimed to identify the dynamics of spatial and temporal distribution of
28 fusariosis in black pepper. Four areas of black pepper were monitored in the
29 municipality of São Mateus-ES, Brazil, from December 1, 2015 to December 1, 2016,
30 in which six evaluations were carried out with an average interval of two months. The
31 plants were visually evaluated for the typical symptoms of the disease. The presence or
32 absence of symptoms, as well as the position of each plant, were recorded in Excel®
33 spreadsheets, obtaining the cumulative mapping of diseased plants within the planting
34 areas at each evaluation date, totaling 24 maps. From the maps, disease incidence was
35 assessed and the methodologies for the study of spatial and temporal distribution of
36 disease were: Dispersion index (ID), Taylor modified law, and Dynamic analysis and
37 foci structure (ADEF). It was observed that the ID results varied in each area. The
38 modified Taylor law presented an aggregate distribution only for area 04. In the ADEF
39 study it was possible to observe that with the passing of the evaluations the foci became
40 larger and smaller, and a low degree of compaction was still found in ADEF of foci.

41 **Keywords:** *Piper nigrum*, *Fusarium solani* f. sp. *piperis*; epidemiology.

42

43 **Introdução**

44 A pimenta-do-reino (*Piper nigrum* L.) é uma das mais conhecidas especiarias do
45 mundo. Atualmente é cultivada em grande escala no Brasil. Os dois estados que se
46 destacam no cultivo da pimenta-do-reino são o Pará e o Espírito Santo, que juntos são
47 responsáveis por 92% da produção nacional (5).

48 No Espírito Santo destaca-se a região Norte os municípios de São Mateus, considerado
49 o segundo município que mais produz pimenta-do-reino no Brasil, e Jaguaré, que
50 juntos, são responsáveis por 75% da área cultivada e da produção do Estado (2).

51 A morte de plantas causada por doenças é o principal problema que afeta a produção da
52 pimenta no país. A principal doença que mata as plantas é a fusariose (*Nectria*
53 *haematococca* Berk & Br. f. sp. *piperis* Albuquerque, anamorfo *Fusarium solani* Mart. (Sacc.)
54 f. sp. *piperis* Albuquerque) responsável pela diminuição da vida útil da planta de doze para
55 quatro a seis anos de idade (11, 12).

56 A infecção do patógeno pode ocorrer pelo sistema radicular. A planta doente apresenta
57 queda de folhas e os entrenós amarelecem, secam e caem prematuramente. A fusariose
58 causa também a podridão das raízes e escurecimento de feixes vasculares devido à
59 colonização do fungo (12).

60 A doença incide também nas folhas, o que caracteriza o patógeno em sua forma
61 teleomórfica, fato já registrada no estado do Espírito Santo e Bahia (12, 13). Os
62 sintomas são semelhantes, um amarelecimento seguido de seca de folhas e ramos,
63 porém as folhas permanecem presas na planta, podendo atingir a colonização até o
64 sistema radicular.

65 Formas de controle da fusariose em pimenta-do-reino, após ser instalada na lavoura,
66 ainda é um desafio. No mercado ainda não se encontram produtos registrados para a
67 cultura, o que para os pipericultores é um fator limitante. Por esse motivo a prevenção
68 da chegada da doença na lavoura é a principal forma de controle.

69 Uma vez instalada a doença na lavoura é possível algumas medidas culturais para
70 amenizar a disseminação da doença na lavoura, assim reduzir o número de plantas
71 mortas. Para isso é necessário o conhecimento epidemiológico da doença em questão.

72 Uma das formas de obter o conhecimento epidemiológico de uma doença é o estudo de
73 sua distribuição espacial e temporal.

74 O estudo da distribuição espacial e temporal de uma doença fornece suporte para uma
75 série de questões não conhecidas sobre um patossistema, tais como a estratégia de
76 prevenção e controle da mesma.

77 Por essa razão objetivou-se com esse trabalho identificar a dinâmica de distribuição
78 espacial e temporal da fusariose em pimenta-do-reino.

79

80 **Materiais e Métodos**

81 O experimento foi conduzido entre dezembro de 2015 a dezembro de 2016 em uma
82 lavoura dividida em quatro áreas (talhões) distintas de pimenta-do-reino com 560
83 plantas cada, no município de São Mateus-ES, Brasil. Segundo Köppen (8), o clima da
84 região é classificado como Aw, com inverno seco e estação chuvosa concentrada no
85 verão. A lavoura caracterizava-se por ser implantada com a variedade Bragantina, com
86 oito anos de idade, espaçamento de 3,0 x 2,0 metros e irrigada por microaspersão.

87 Em cada área monitorou-se a incidência de plantas doentes por meio da inspeção visual
88 da parte aérea da planta buscando sintomas típicos da fusariose. Plantas que
89 apresentavam queda de folhas, de ramos e internódios no terço superior; morte de ramos
90 superiores; planta seca ou morta eram representadas como plantas sintomáticas, e
91 recebiam nota um; plantas com a ausência dos sintomas eram representadas como
92 assintomáticas recebendo nota zero.

93 Foram realizadas seis avaliações ao longo de um ano, com intervalo médio de dois
94 meses. Com os dados foi possível gerar mapas utilizando o Excel®, com números
95 binários para cada avaliação de suas respectivas áreas, sendo totalizado 24 mapas.

96 A análise temporal constituiu-se da contagem acumulativa da incidência da fusariose
97 em ao longo do tempo em cada área de plantio avaliada, obtendo-se ao final a curva de
98 progresso da doença. As curvas de progresso da doença foram ajustadas a modelos
99 epidemiológicos: Monomolecular ($y = \ln(1/(1-y))$) Logístico ($y = \ln(y/1-y)$); e Gompertz
100 ($-\ln(-\ln(y))$), onde: y = proporção da doença (1). O ajuste de cada modelo foi avaliado
101 em função do maior valor do coeficiente de determinação da análise de regressão (R^2) e
102 menor quadrado médio do resíduo (1). Após o ajuste do melhor modelo foi realizado o
103 cálculo do inóculo inicial e taxa de progresso da doença (1).

104 Para a análise do Índice de dispersão (ID) e da lei de Taylor modificada cada lavoura foi
105 subdividida em quadrats 2x2 (duas linhas e duas plantas por linha). Em cada quadrat
106 calculou-se a proporção de plantas sintomáticas em cada avaliação e a incidência (p) da
107 doença, determinada pela fórmula $p = \sum X_i / n \cdot N$, onde $\sum X_i$ = somatório do número de
108 plantas doentes em cada quadrat; n = número de plantas em cada quadrat e N = número
109 total de quadrats em cada mapa.

110 O índice de dispersão foi estimado pela equação $ID = V_{obs} / V_{bin}$, onde $V_{bin} = p(1-p)/n$,
111 sendo p = incidência da doença na parcela e n = número de plantas no quadrat; $V_{obs} =$
112 $\sum (X_i - n \cdot p)^2 / n^2 (N-1)$, onde X_i = número de plantas doentes no quadrat e N = número total
113 de quadrats. Aos valores de ID de cada mapa foi aplicado o teste do qui-quadrado (χ^2)
114 para verificar se o valor calculado foi maior ou igual a 1, ao nível de 5% de
115 probabilidade, sendo que valores de ID iguais a 1 indica que plantas sintomáticas estão
116 distribuídas ao acaso dentro das áreas de plantio. Valores de ID diferentes de 1 indica
117 agregação das plantas doentes dentro das áreas analisadas.

118 A lei de Taylor modificada foi estimada através da análise de regressão do logaritmo
119 das variâncias (V_{bin} e V_{obs}) para os dados obtidos de cada avaliação de suas respectivas

120 áreas. Posteriormente aplicou-se o teste F a fim de verificar a significância das relações
121 entre $\log (V_{bin})$ e $\log (V_{obs})$. O ajuste aos modelos foi baseado nos valores dos
122 coeficientes de determinação (R^2) e dos padrões de distribuição dos resíduos. Para
123 verificar a distribuição de plantas sintomáticas observou-se os valores de A e b, onde
124 que: valor de $A=0$ e $b=1$ significa que a doença ocorre de forma ao acaso. Se o valor de
125 A for maior que zero e b for igual a 1 a distribuição espacial da fusariose ocorre de
126 forma agregada; e se o valor de A for maior que 0 e o valor de b for maior que 1 o grau
127 de agregação aumenta com o aumento da incidência. A igualdade do parâmetro b igual
128 a 1 foi avaliada em área, por meio do teste t a 5% de probabilidade.

129 A análise da dinâmica e estrutura de focos (ADEF) foi realizada conforme Nelson (10);
130 Laranjeira (9); Jesus Júnior & Bassanezi (7). Um foco foi determinado como plantas
131 com sintomas imediatamente adjacentes no padrão de proximidade vertical, horizontal
132 ou diagonal. Estimou-se o número de focos unitários (NFU), composto por uma planta
133 sintomática; o número total de focos (NF) na área; o número de plantas por focos
134 (NPF). Para cada foco, foi quantificado o número de linhas (lf) e de colunas (lc) que o
135 mesmo ocupava, para serem utilizados nos cálculos do índice médio de forma de focos
136 (IFF), onde $IFF = [(lf/lc)/NF]$. Valores de $IFF = 1,0$ indicam focos isodiamétricos;
137 valores de $IFF > 1,0$ indicam focos com maior comprimento na direção entre as linhas
138 de plantio; e, valores de $IFF < 1,0$ indicam focos com maior comprimento na direção da
139 linha de plantio. Calculou-se ainda o índice médio de compactação de focos (ICF) onde
140 $ICF = [(NPF/lc*lf)/NF]$. Valores de ICF próximos a 1,0 indica focos mais compactos,
141 ou seja, maior agregação e proximidade entre as plantas do foco.

142

143 **Resultados e discussão**

144 Na figura 1 observa-se o progresso da fusariose em plantas de pimenta-do-reino
145 cultivadas nas quatro áreas monitoradas durante todo o tempo de avaliação. A área 04
146 foi a que apresentou maior incidência de fusariose, com 70% de plantas doentes na
147 ultima avaliação, seguido das áreas 02, 01 e 03, no qual apresentaram 61; 57 e 52% de
148 plantas doentes, respectivamente.

149 Na área 1 e 2 o período de maior crescimento da doença foi observado entre as duas
150 primeiras avaliações (Dez/2015 a Jan/ 2016). Nas áreas 3 e 4 foi observado maior
151 evolução posteriormente, de janeiro a março, sendo que não houve aumento da
152 incidência da doença entre a primeira e segunda avaliação.

153 O período que foi observado maior crescimento da doença coincidiu com período
154 chuvoso na região, seguido do aumento de temperatura (Figura 2), condições essas
155 favoráveis para a ocorrência da fusariose. As observações de campo por Ikeda (6)
156 mostraram que peritécios atingiram o pico de formação no final da estação de chuvas na
157 região onde foi conduzido seu experimento.

158 Inserir figura 1 e 2

159 Os elevados valores de incidência observados também podem estar relacionado com a
160 colheita da pimenta-do-reino, que ocorre ao final de cada ano, a partir de outubro se
161 estendendo até dezembro-janeiro. As colheitas na presente lavoura se iniciou no final de
162 novembro se estendendo até meados de dezembro. A colheita se iniciou no talhão onde
163 estava situada a área 1, posteriormente passou para área 2, 3 e 4. A diferença do período
164 de colheita e a ordem que foi seguida pode ter contribuído para os picos de crescimento
165 da fusariose em diferentes meses nas áreas avaliadas.

166

167 Segundo Duarte et al. (3) as atividades realizadas durante a colheita podem ser
168 responsáveis pela maior disseminação de fusariose em campo. É o período que a planta
169 é submetida ao estresse causado pela perda de folhas e ramos. As escadas fixadas
170 diretamente no solo e utilizadas para a colheitas dos cachos podem agravar a
171 disseminação nesse período devido ao carreamento de partículas de solo na base da
172 escada.

173 O modelo biológico que melhor se ajustou para todas as áreas avaliadas foi o
174 monomolecular (Tabela 1). A taxa de progresso da doença foi maior na área 4, seguido
175 da área 2 e 1, no qual apresentaram a mesma taxa de progresso da doença. A área 3
176 obteve menor valor da taxa de progresso da doença (Figura 3).

177 Inserir tabela 1 e Figura 3

178 Os mapas gerados com dados das plantas doentes e suas respectivas posições possibilita
179 observar a expansão da fusariose nas quatro áreas de plantios de pimenta-do-reino
180 (Figura 4).

181 Inserir figura 4

182 O ID foi calculado a fim de caracterizar a distribuição espacial da fusariose em cada
183 avaliação (Tabela 2), onde pode-se notar comportamentos distintos da doença para cada
184 área avaliada.

185 Na área 01, ao longo de todas as avaliações, a distribuição de plantas doentes ocorreu de
186 forma agregada, exceto na última avaliação; a área 02 a fusariose apresentou
187 distribuição ao acaso na terceira e ultima avaliação; já a área 03 a distribuição se deu ao
188 acaso, enquanto que na área 04 a distribuição de plantas doentes começou ao acaso e a
189 partir da terceira tornou-se agregada. Visto isso, vale ressaltar que todas as áreas
190 receberam os mesmos cuidados quanto ao manejo da lavoura.

191 Inserir Tabela 2

192 Os resultados da análise da Lei de Taylor modificada estão expressos na figura 5. A área
193 01, 02 e 03, por meio da análise da lei de Taylor modificada indicou uma distribuição
194 espacial ao acaso para a fusariose, enquanto que na área 04 a distribuição ocorreu de
195 forma agregada.

196 Inserir figura 5

197 A análise da dinâmica e estrutura de focos foi realizada como complemento de análise
198 espacial, pois ela tem o objetivo de superar as imprecisões estatísticas advindas da
199 Análise Bidimensional (10) através de descritores da epidemia, caracterizando melhor
200 os focos (7).

201 Considerando a primeira avaliação em todas as áreas, o número de focos variou de 36 a
202 44. No decorrer das avaliações em todas as áreas, o número de focos foi decaindo,
203 chegando a 14 na área 4. O mesmo comportamento foi observado com focos unitários,
204 enquanto que, o número de plantas por foco apresentou comportamento inverso (Tabela
205 3). O comportamento dessas três variáveis é indicativo de que focos unitários foram
206 coalescendo, fazendo com que os focos aumentassem de tamanho e concentrasse dentro
207 deles um número maior de plantas doentes. Característica essa típica de doenças com
208 distribuição espacial em agregado.

209 Inserir tabela 3

210 Em todas as quatro áreas observou que a compactação dos focos diminuiu conforme as
211 avaliações. Na primeira avaliação, o índice de compactação foi em média 0,82. Na
212 última avaliação, esse valor reduziu para 0,63. A diminuição do índice de compactação
213 de focos foi observado também por Jesus Júnior & Bassanesi (7) que trabalharam com a

214 morte súbita do citros, quando obteve diminuição ICF em talhões com incidência maior
215 que 35%.

216 A diminuição do índice de compactação pode ser explicado devido à coalescência de
217 focos de acordo com a disseminação da doença de planta a planta. Por se tratar de uma
218 doença monocíclica, causada por um patógeno habitante do solo, a mesma tende a
219 ocorrer mais lentamente, e quando ocorre à junção de focos o índice de compactação
220 tende a diminuir.

221 A forma de foco em todas as áreas indicou focos com maior comprimento na direção da
222 linha de plantio, característica essa de doenças com disseminação em curtas distâncias.

223 Ikeda (6) observou a formação de peritécios de *N. haematococca* f. sp. *piperis* em
224 plantas de pimenta-do-reino adjacentes.

225 Após caracterizar todas as quatro áreas utilizando diferentes metodologias de análise
226 espacial ficou evidente a importância de se fazer uso de diferentes abordagens, visto que
227 as informações geradas por cada análise se complementam.

228 Cada técnica de estudo de distribuição espacial de doença tem suas particularidades,
229 assim é essencial a utilização de mais de uma técnica para compreender o fato
230 biológico, como realizado no trabalho de Vidal et al. (14) que utilizaram o ID para
231 informar a tendência de plantas doentes aparecerem próximas as outras, a Lei de Taylor
232 Modificada para indicar a tendência à agregação ao longo da epidemia e a técnica de
233 análise de áreas isópatas para mostrar o padrão geral das plantas doentes, delinear os
234 focos e identificar a direção da disseminação da meleira do mamoeiro.

235 O patossistema da fusariose em pimenta-do-reino é considerado complexo, pois as duas
236 formas de reprodução do patógeno podem estar envolvidas (4, 6). Peritécios, conídios e
237 clamidósporos podem ser disseminados pelo solo, sendo os clamidósporos estruturas de

238 resistência que vivem na ausência do hospedeiro. A disseminação da doença de curta
239 distância reflete uma distribuição agregada das plantas doentes.

240 Outras formas de disseminação aérea por meio de ascósporos produzidos em peritécios
241 são favorecidas pelo vento (4, 6), porém, segundo Ikeda (6), não são consideradas as
242 principais formas de disseminação. Prováveis formas de introdução da doença, neste
243 patossistema, que promoveriam uma ocorrência inicial ao acaso seriam mudas
244 contaminadas e estacas reutilizadas de áreas infestadas (3, 6).

245 Diante dos fatores de disseminação da fusariose já registados e dos resultados
246 apresentados no presente estudo espacial da doença em plantas de pimenta-do-reino,
247 acredita-se que fatores de disseminação de curta e a longa distância estejam envolvidos.

248 Como as estacas empregadas nesta lavoura são de eucalipto tratado de primeiro uso, a
249 fonte de introdução na lavoura mais provável de inóculo seria mudas contaminadas. Até
250 o momento, no Espírito Santo, não existe controle sanitário das mudas, com foco na
251 fusariose, e várias mudas infectadas tem sido detectadas em viveiros.

252 Pelos resultados da ADEF observa-se que a agregação de plantas sintomáticas em todas
253 as áreas ocorrem dentro da linha de plantio, ou seja, que a disseminação da doença
254 acontece de planta a planta, exercendo um padrão agregado. Nesse caso fatores como a
255 colheita, a poda e capina mecânica podem contribuir para a disseminação, visto que
256 essas atividades são sempre realizadas em direção da linha de plantio, e ainda, o
257 aumento da incidência de plantas doentes tem sido registrado após a colheita.

258 A área 4 foi a que obteve maior taxa de progresso da doença. No ID em conjunto com a
259 Lei de Taylor modificada foi possível observar que a doença nas duas primeiras
260 avaliações ocorreu ao acaso, e posteriormente evoluiu de forma agregada. E, na ADEF os

261 resultados foram semelhantes, confirmando a doença sendo disseminada a curta
262 distância dentro das linhas de plantio com um baixo nível de compactação.

263 A área 3 obteve menor taxa de progresso da doença, assim, todas as avaliações do ID
264 apresentaram uma distribuição de plantas doentes ao acaso, logo, a lei Taylor
265 Modificada comportou-se da mesma forma. No entanto, caso as avaliações fossem
266 realizadas por mais tempo seria possível notar a evolução da fusariose para uma
267 distribuição agregada, visto que, pela ADEF foi identificado a coalescência de focos e
268 baixos valores de ICF.

269 Observando todas as áreas por meio da taxa de progresso da doença e das análises
270 espaciais realizadas nesse estudo é possível afirmar que a doença foi introduzida na área
271 por meio de uma disseminação de longa distância, caracterizando uma distribuição ao
272 acaso, e, posteriormente evoluindo para agregado, envolvendo assim fatores de
273 disseminação a curta distância, evidenciados na linha de plantio.

274

275 **Agradecimentos**

276 A agência financiadora, Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível
277 Superior, Capes, e ao produtor Elizeu Bonomo por ter concedido a realização da
278 pesquisa em sua propriedade.

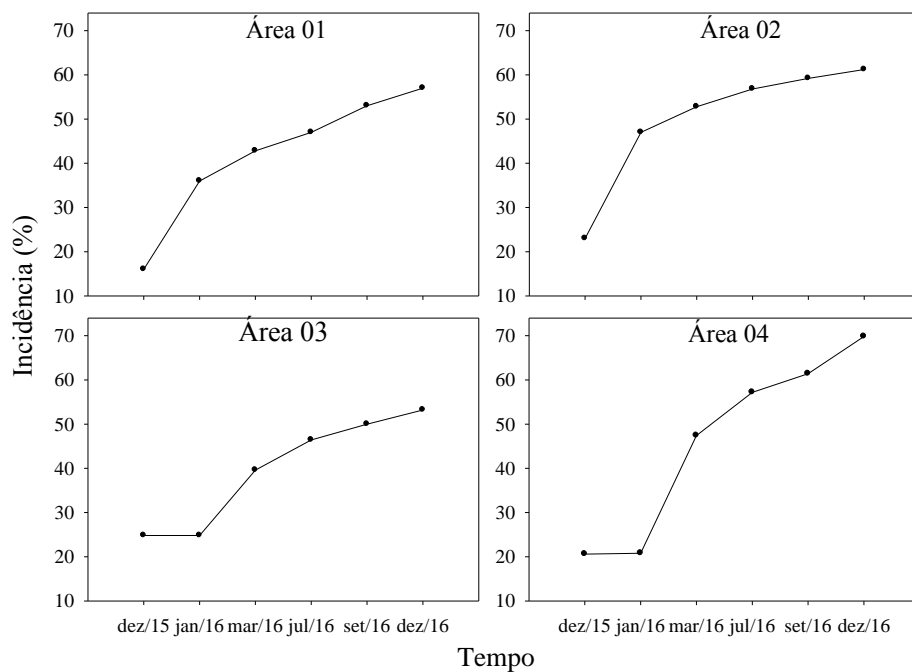
279

280 **Referências**

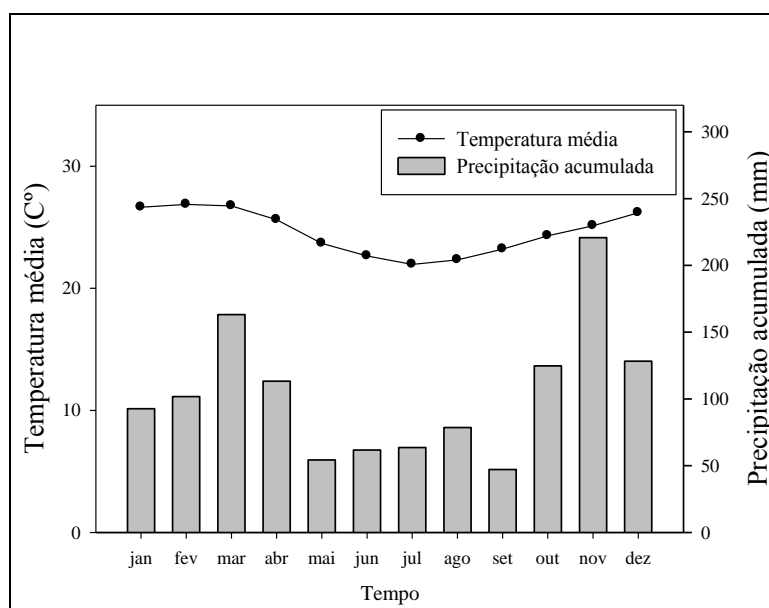
281 1. Campbell, C. L.; Madden, L. V. Introduction to plant disease epidemiology. New
282 York. Wiley-Interscience. 1990. 532p.

- 283 2. CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. Conjuntura pimenta-do-reino no
284 Espírito Santo, Agosto de 2015. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>> Acesso
285 em: 14 de Abril de 2016.
- 286 3. Duarte, M. L. R.; Albuquerque, F. C.; Albuquerque, P. S. B. Doenças da Pimenta-do-
287 reino. In: Bergamin Filho, A.; Kimati, H.; Amorim, L. **Manual de Fitopatologia:**
288 Doenças das Plantas Cultivadas. São Paulo: Agronômica Ceres, 2005, cap. 58, p. 507-
289 522.
- 290 4. Hamada, M.; Tsuda, M. Ascospore Dispersion of the Causal Agent of *Nectria Blight*
291 of *Piper nigrum*. **Annals of the Phytopathological Society of Japan**. Pará, v. 54, n. 3,
292 p. 303-308. 1998. DOI: <https://doi.org/10.3186/jjphytopath.54.303>.
- 293 5. IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Banco de dados. Disponível
294 em: < <http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 14 de Abril de 2016.
- 295 6. Ikeda K. Role of perithecia as an inoculum source for stem rot type of pepper root rot
296 caused by *Fusarium solani* f. sp. *piperis* (teleomorph: *Nectria haematococca* f. sp.
297 *piperis*). **Journal of General Plant Pathology**, v. 76, n. 4, p. 241–246, 2010.
- 298 7. Jesus Júnior, W.C.; Bassanezi, R.B. Análise de dinâmica e estrutura de focos da
299 Morte Súbita dos Citros. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v.29, n.4, p.399-405, 2004.
- 300 8. Köppen, W. 1948. **Climatologia: con un estudio de los climas de la tierra**. México,
301 Fondo de Cultura Econômica, 1948. 479p.
- 302 9. Laranjeira, F.F. **Epidemiologia da clorose variegada dos citros no estado de São**
303 **Paulo**. 2002, 158f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Departamento de Fitopatologia -
304 Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.
- 305 10. Nelson, S.C. A simple analysis of disease foci. **Phytopathology**, Saint Paul, v.86,
306 n.4, p.332–339, 1996.

- 307 11. Tremacoldi, C.R. **Principais doenças fúngicas da pimenteira-do-reino no Estado**
308 **do Pará e recomendações de controle**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental. 2010.
309 23p. (Documentos, 367).
- 310 12. Trindade, D. R.; Poltronieri, L. S. Doenças da pimenta-do-reino. In: Kimati, H.;
311 Amorim, L; Bergamin Filho, A.; Camargo, L E. A.; Rezende, J. A. M. **Manual de**
312 **fitopatologia**. 3 ed. São Paulo: Agronômica ceres. v 2. 1997.537- 539p.
- 313 13. Vaz, A. B; Elizei, V. G.; Costa, S. S.; Pfenning, L. H. Ventura, J. A. First report of
314 sexual reproduction of *Fusarium solani* f. sp. *piperis* in Bahia, Brasil. **APS Journals**, v.
315 96, n. 10, p. 1581. 2012. DOI: <https://doi.org/10.1094/PDIS-05-12-0469-PDN>
- 316 14. Vidal, C.A.; Laranjeira, F.F.; Nascimento, A.S.; Habibe, T.C. Distribuição espacial
317 da meleira do mamoeiro em zonas de trópico úmido e trópico semi-árido. **Fitopatologia**
318 **Brasileira**. Brasília. v. 29, n.3, p. 276-281. 2004.



319 **Figura 1.** Progresso temporal da fusariose, em quatro áreas de plantio comercial de
 320 pimenta-do-reino avaliadas em São Mateus-ES.



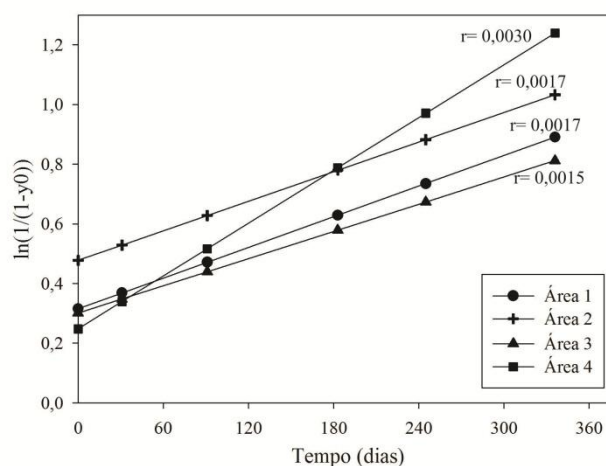
321
 322 **Figura 2.** Média histórica mensal (2005 a 2015) de temperatura média e precipitação
 323 acumulada da estação meteorológica do município de São Mateus, ES, Brasil. Fonte:
 324 Instituto Nacional de Meteorologia (Inmet).

325

326 **Tabela 1.** Valores dos coeficientes de determinação (R^2), obtidos pelo ajuste da curva
 327 de progresso da fusariose em plantios de pimenta-do-reino.

Área	Coeficiente de Determinação (R^2)			Quadrado médio do resíduo (QMR)		
	Monomolecular	Logístico	Gompertz	Monomolecular	Logístico	Gompertz
1	0,8414*	0,6654	0,7745	0,0090*	0,1629	0,0455
2	0,6662*	0,5310	0,5894	0,0210*	0,1787	0,0670
3	0,9187*	0,8604	0,8864	0,0033*	0,0418	0,0136
4	0,9462*	0,8596	0,9018	0,0083*	0,1230	0,0375

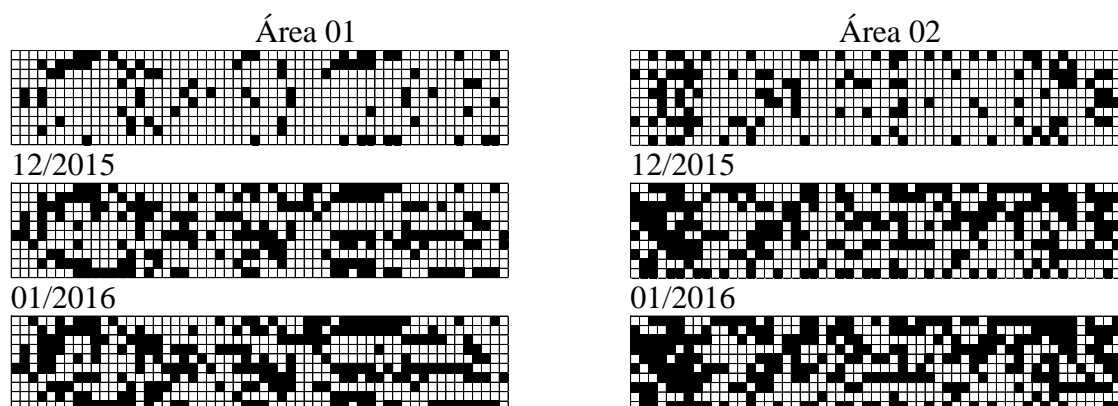
328 (*) Indica modelo matemático que melhor se ajustou a curva de progresso da doença.

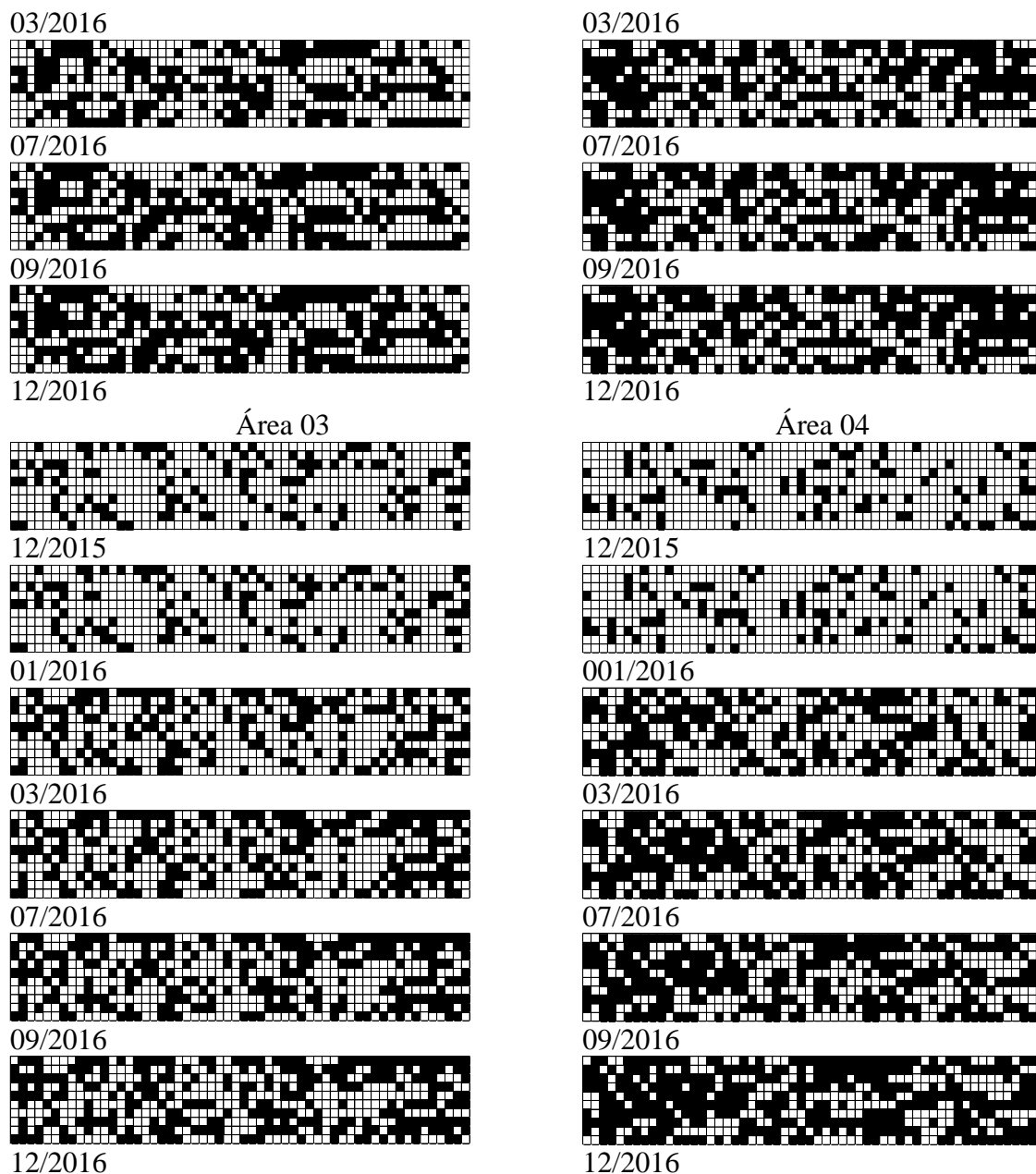


329

330 **Figura 3.** Taxa de progresso da doença ajustada pelo modelo monomolecular para
 331 quatro áreas de pimenta-do-reino com fusariose.

332





333 **Figura 4.** Progresso espacial da fusariose em quatro áreas de plantio comercial de
 334 pimenta-do-reino, avaliadas entre dezembro de 2015 e dezembro de 2016 em São
 335 Mateus-ES. Os quadrados cheios representam plantas doentes e os quadrados vazios
 336 representam plantas saudáveis.

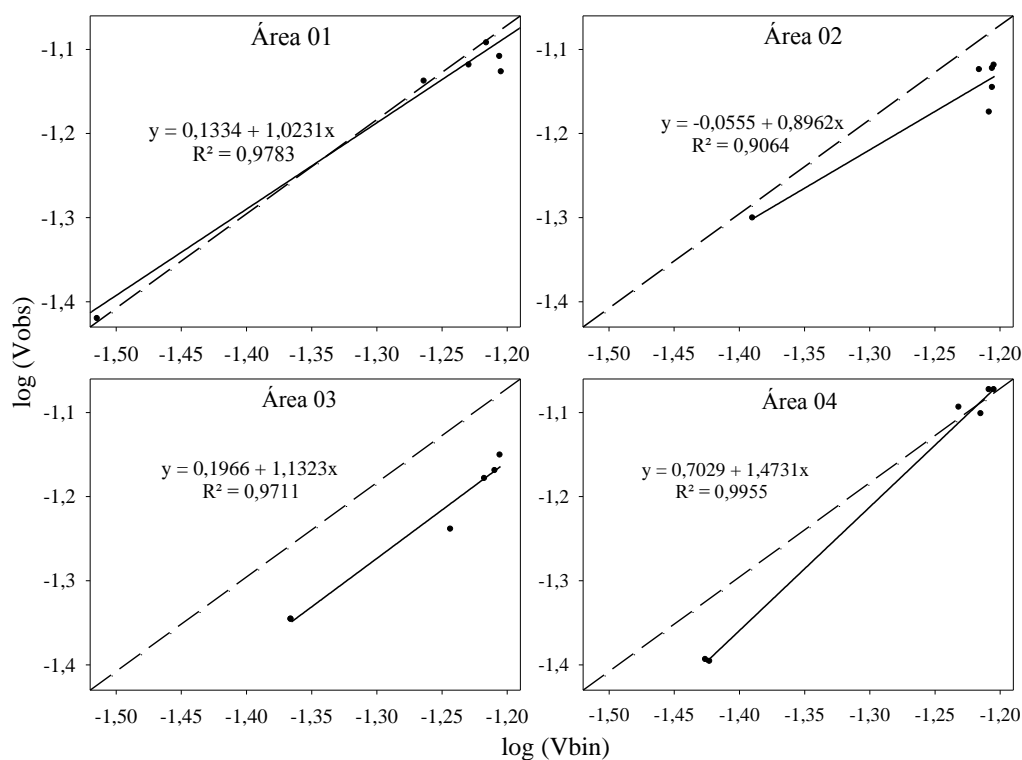
337

338

339 **Tabela 2.** Valores do Índices de Dispersão (ID) calculados para a fusariose em pimenta-
 340 do-reino em quatro áreas de plantio comercial de pimenta-do-reino em São Mateus-ES.

Área de plantio	Data das Avaliações					
	Dez/15	Jan/16	Mar/16	Jul/16	Set/16	Dez/16
01	1,2401*	1,3335*	1,2874*	1,3264*	1,2479*	1,1939
02	1,2254*	1,2325*	1,1472	1,2157*	1,2083*	1,0779
03	1,0450	1,0450	1,0084	1,0913	1,0948	1,1323
04	1,0747	1,0612	1,2952*	1,3513*	1,3637*	1,3710*

341 (*) Indica valores significativamente superiores a 1 pelo teste do qui-quadrado. Onde, ID=1 significa
342 distribuição ao acaso de plantas sintomáticas na área, e, ID≠1 distribuição em agregação de plantas
343 sintomáticas na área.



344

345 **Figura 5.** Relação do logaritmo da variância observada ($\log V_{\text{obs}}$) com logaritmo da
346 variância binomial ($\log V_{\text{bin}}$) para incidência da fusariose em pimenta-do-reino em
347 quatro áreas de plantio comercial de pimenta-do-reino em São Mateus-ES. Cada ponto
348 representa uma avaliação da doença, a linha sólida representa a linha binomial ($\log V_{\text{obs}}$
349 $= \log V_{\text{bin}}$).

350

351 **Tabela 3.** Análise da dinâmica e estrutura de focos (ADEF) da fusariose em quatro
 352 áreas de plantios comerciais de pimenta-do-reino em São Mateus-ES.

ÁREA	Avaliações	NF ^a	NPF ^b	FU ^c	Lf ^d	Lc ^e	ICF ^f	IFF ^g
1	dez/15	36	2,2	16	1,6	1,7	0,88	1,10
	jan/16	33	5,4	9	2,2	3,5	0,78	0,83
	mar/16	29	7,4	8	2,4	4,4	0,75	0,70
	jul/16	29	8,7	7	2,7	4,8	0,72	0,74
	set/16	29	13,9	4	3,5	6,1	0,67	0,70
	dez/16	16	17,9	3	3,9	6,9	0,69	0,84
	Média	28,6	9,2	7,8	2,7	4,6	0,75	0,82
2	dez/15	44	2,6	26	1,8	1,7	0,85	1,05
	jan/16	32	7,4	9	2,9	3,6	0,71	0,89
	mar/16	25	10,6	6	3,4	4,4	0,69	0,86
	jul/16	21	13,5	4	3,9	5,1	0,67	0,85
	set/16	17	17,4	2	4,3	6,7	0,60	0,78
	dez/16	16	19,1	2	4,5	7,2	0,60	0,79
	Média	25,8	11,8	8,1	3,5	4,8	0,69	0,87
3	dez/15	39	3,1	12	2,0	2,38	0,74	0,92
	jan/16	39	3,1	12	2,0	2,4	0,74	0,92
	mar/16	34	5,8	6	3,0	3,3	0,63	1,03
	jul/16	27	8,6	3	3,4	4,1	0,63	1,02
	set/16	24	10,4	2	3,5	4,7	0,61	0,97
	dez/16	21	12,7	2	3,8	5,4	0,60	0,88
	Média	30,6	7,3	6,2	2,9	3,7415	0,66	0,96
4	dez/15	44	2,3	15	1,7	1,8	0,82	1,14
	jan/16	44	2,3	15	1,7	1,8	0,82	1,14
	mar/16	29	8,1	4	3,5	4,1	0,60	1,00
	jul/16	24	11,9	4	3,9	5,0	0,60	0,84
	set/16	18	17,0	4	4,6	6,5	0,60	0,82
	dez/16	14	24,9	3	4,6	8,5	0,63	0,70
	Média	28,8333	11,1	7,5	3,3	4,6	0,68	0,94

353 ^a Números de focos; ^b Número de plantas por foco; ^c Focos unitários; ^d Número máximo de linhas; ^e

354 Número máximo de colunas; ^f Índice médio de compactação de focos; ^g Índice médio de forma de focos.

355 Valores de $IFF = 1,0$ indicam focos isodiamétricos; $IFF > 1,0$ indicam focos com maior comprimento na
356 direção entre as linhas de plantio; e, $IFF < 1,0$ indicam focos com maior comprimento na direção da linha
357 de plantio. Valores de ICF próximos a $1,0$ indica focos mais compactos.

358

1 Artigo conforme as normas da Revista Horticultura Brasileira

2 **1.2 Distribuição espaço-temporal da fusariose em pimenta-do-reino utilizando a**
3 **geoestatística**

4

5

6

7

8

RESUMO

9 A fusariose é considerada a principal doença fúngica na cultura da pimenta-do-reino,
10 por causar morte prematura das plantas. Objetivou-se com o presente trabalho utilizar a
11 geoestatística no estudo da dinâmica espaço-temporal da fusariose em pimenta-do-reino.
12 Foram selecionadas quatro áreas contendo 560 plantas de pimenta-do-reino, variedade
13 “Bragantina”, localizadas no município de São Mateus, ES, Brasil. Realizaram-se seis
14 avaliações durante dez/2015 a dez/2016. A partir da inspeção visual da parte aérea das
15 plantas atribuíram-se notas: zero, para planta sadia, com ausência de sintomas; nota um,
16 plantas com sintomas típicos da doença (queda de folhas, ramos e internódios no terço
17 superior; morte de ramos superiores ou planta seca); e nota dois, para plantas mortas. As
18 notas e posição de cada planta foram anotadas em planilhas obtendo-se o mapa da
19 evolução da doença dentro das áreas. A análise temporal da fusariose deu-se por meio
20 da curva de progresso da doença. Adotou-se a geoestatística para a confecção de
21 semivariograma e mapas de krigagem para caracterização do comportamento espacial
22 da doença. A incidência de fusariose variou de 16 a 70% durante o período, tendo sua
23 maior taxa de crescimento no período de dez/2015 a mar/2016. Nas lavouras estudadas,
24 a fusariose disseminou-se a curta distância, com focos seguindo a um padrão de
25 alongamento, com a disseminação na linha de plantio.

26 **Palavras chave:** *Piper nigrum*, *Fusarium solani* f. sp. *piperis*, mapas, krigagem.

27 **Spatio-temporal distribution of fusariosis in pepper by geostatistics**

28

ABSTRACT

29 *Fusarium melanosis* is considered the main fungal disease in the black pepper crop,
30 causing a great yield loss. The objective of this work was to use geostatistics to study
31 the spatio-temporal dynamics of fusariosis in black pepper. Four areas containing 560
32 pepper plants of the “Bragantina” variety, located in the municipality of São Mateus,
33 ES, Brazil, were selected. Six evaluations were conducted during Dec/2015 to
34 Dec/2016. From the visual inspection of the aerial part of the plants, notes were
35 attributed: healthy plant, with absence of symptoms, zero note; plants with typical
36 symptoms of the disease (fall of leaves, branches and internodes in the upper third,
37 death of upper branches or dry plant) note one; and dead plants were given two. The
38 notes and position of each plant were annotated in spreadsheets obtaining the mapping
39 of the evolution of the disease within the areas. The temporal analysis of fusariosis
40 occurred through the curve of disease progression. Geostatistics was used to compile
41 semivariograms and kriging maps to characterize the spatial behavior of the disease.
42 The incidence of fusariosis ranged from 16 to 70% during the evaluation period in all
43 areas of black pepper, with the highest growth rate in the period from December 2015 to
44 March 2016. The fusariosis is disseminated at close range, where the foci obey a pattern
45 of stretching, with the dissemination evidenced in the planting line.

46 **Keywords:** *Piper nigrum*, *Fusarium solani* f. sp. *piperis*, maps, kriging.

47

48 INTRODUÇÃO

49 A fusariose causada por *Fusarium solani* f. sp. *piperis*, é considerada a principal doença
50 fúngica na cultura da pimenta-do-reino, responsável por reduzir a vida útil da lavoura
51 de doze anos para quatro a seis, acarretando assim uma grande perda de
52 produtividade (Kimati, 1997; Tremacoldi, 2010; Zaccardelli *et al.*, 2008).

53 A infecção por *F. solani* f. sp. *piperis* tem início nas raízes secundárias, posteriormente
54 observa-se a podridão do colo no estágio avançado da infecção; a planta passa a ter sua
55 absorção de água e nutrientes dificultada, assim as folhas tendem a amarelecer; há a
56 queda de folhas e internódios e a planta definha até a morte (Tremacoldi, 2010).

57 *F. solani* f. sp. *piperis* está presente nas regiões produtoras da especiaria, como Brasil,
58 Malásia, Índia, entre outros (Shahnazi *et al.*, 2012) e poucas são as informações
59 descritas relacionado a disseminação e a etiologia do fungo. Assim são necessários
60 estudos que permitam o conhecimento epidemiológico mais aprofundado desta doença
61 ao longo de um tempo e espaço (Bergamin Filho *et al.*, 2004).

62 Várias técnicas são utilizadas para caracterizar o arranjo espacial de plantas doentes. A
63 escolha da técnica depende do tipo de dado coletado e do conhecimento sobre o local
64 onde as observações foram realizadas (Maffia & Mizubuti, 2005). Alguns exemplos são
65 o Índice de Dispersão (ID), o ajuste à Lei de Taylor Modificada e a Análise da
66 Dinâmica e Estruturas de Focos (ADEF). No entanto, essas técnicas, apesar de serem
67 muito utilizadas e servirem como base no estudo de epidemiologia de doença de
68 plantas, apresentam algumas limitações como não trabalhar com avaliação da
69 intensidade da doença, não quantificar a dependência de focos, não ter um software
70 disponível para realizar as análises e não fornecer ferramentas para a construção de
71 mapas com gradientes de distribuição. As limitações apresentadas podem ser supridas
72 pelas novas ferramentas e programas computacionais que utilizam os Sistemas de
73 Informações Georeferenciadas (SIG) e da geoestatística.

74 A geoestatística tem sido utilizada na fitopatologia, para analisar a distribuição espacial
75 de epidemias, auxiliando no estabelecimento de táticas e estratégias racionais de
76 controle, com menor relação custo-benefício e menor impacto ambiental (Alves *et al.*,
77 2005). Trabalhos na área de epidemiologia de doença de plantas com auxílio da
78 geoestatística já foram realizados. Alves *et al.* (2006) estudou a transmissão de
79 *Colletotrichum* spp. via sementes e analisou a dependência espacial a partir de uma
80 fonte de inoculo tipo ponto, encontrando assim um padrão de distribuição agregado.
81 Ainda observaram estratégias de dispersão da doença, inóculo secundário com
82 severidade expressiva, porém distantes da fonte de inóculo primária.

83 Diante do contexto, objetivou-se com o presente trabalho estudar a dinâmica espaço
84 temporal da fusariose em pimenta-do-reino utilizando técnicas geoestatísticas.

85

86

87 MATERIAL E MÉTODOS

88 Avaliações dos sintomas causados pela fusariose em lavouras de pimenta-do-reino
89 foram realizadas entre 01 de dezembro de 2015 a 01 de dezembro de 2016 em um
90 cultivo comercial, com a ocorrência natural da doença. A lavoura, localizada no
91 município de São Mateus-ES, Brasil, foi dividida em quatro áreas homogêneas,
92 denominadas de talhões. Segundo Köppen (1948), o clima da região é classificado
93 como Aw, com inverno seco e estação chuvosa concentrada no verão (Alvares *et al.*,
94 2013). As áreas continham plantas da variedade Bragantina, com oito anos de idade,
95 espaçamento de 3,0 x 2,0 metros e irrigada por sistema de microaspersão.

96 Em cada área contendo 560 plantas foi monitorada a incidência da fusariose por meio da
97 inspeção visual da parte aérea da planta. Classificou-se cada planta de pimenta-do-reino
98 por notas. Plantas saudas, com ausência de sintomas, foram atribuídas nota zero; plantas
99 que apresentavam sintomas típicos da doença (queda de folhas, ramos e internódios no
100 terço superior; morte de ramos superiores) atribui-se nota um; e plantas mortas
101 receberam nota dois.

102 As avaliações foram realizadas ao longo de um ano, com intervalo médio de dois meses,
103 totalizando seis avaliações. Os dados obtidos foram ordenados em coordenadas para
104 posterior análise geoestatística, sendo que cada planta avaliada foi representada por um
105 ponto.

106 A curva de progresso da doença deu-se por meio da plotagem cumulativa da incidência
107 de plantas doentes e mortas em função do tempo para cada área de plantio avaliado.

108 Foi utilizado o software Gs+[®] para realizar a análise geoestatística a fim de quantificar a
109 variabilidade espacial e temporal da fusariose em pimenta-do-reino, bem como, escolher
110 modelo de semivariograma e a confecção do mapa com a distribuição espacial da
111 doença. Com base na krigagem (Vieira *et al.*, 1983) determinou-se ajuste que melhor
112 descreveu a variabilidade dos dados.

113 A dependência espacial foi obtida por meio do ajuste do semivariograma, estimado a
114 partir da equação (Burrough & McDonnell, 2006):

$$\hat{\gamma}(h) = \frac{\sum_{i=1}^{n(h)} [z(x_i) - z(x_i + h)]^2}{2n(h)}$$

115 Onde, $n(h)$ é o número de pares de amostras $[z(x_i); z(x_i + h)]$ separados pelo vetor h ,
 116 onde $z(x_i)$ e $z(x_i + h)$ são valores numéricos observados no atributo analisado para dois
 117 pontos x_i e $x_i + h$ separados pelo vetor h . O semivariograma γ é representado pelo
 118 gráfico $\gamma(h)$ versus h .

119 Foi testado os modelos esférico, gaussiano, exponencial, em que o ajuste do melhor
 120 modelo foi escolhido em função dos menores valores da soma dos desvios (RSS), dos
 121 maiores valores dos coeficientes de determinação (R^2) e maior grau de dependência
 122 espacial. Na dúvida da escolha entre modelos para o mesmo semivariograma,
 123 considerou-se o maior valor do coeficiente de variação da validação cruzada (Amado *et*
 124 *al.*, 2007).

125 Após o ajuste de um modelo matemático aos valores calculados de $\gamma(h)$, os parâmetros
 126 do modelo teórico foram definidos para o semivariograma (efeito pepita, (Co));
 127 Intervalo de Dependência Espacial (a) e patamar (Co + C).

128 A dependência espacial foi classificada a partir de parâmetros já descritos por
 129 Cambardella *et al.*, (1994), sendo com base na razão entre o efeito pepita (Co) e o
 130 patamar (Co + C), considerada fraca para valor superior a 75%, moderada entre 25 e
 131 75% e forte para valor inferior a 25%.

132 Após ser constatada a dependência espacial e a escolha do melhor modelo foi realizado
 133 a técnica de krigagem e gerado os mapas das áreas e suas respectivas avaliações.

134 **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

135 A fusariose monitorada em quatro áreas de pimenta-do-reino apresentou-se em
 136 constante crescimento ao longo do período de avaliação. Na figura 1 pode-se observar
 137 que a incidência variou de 16 a 70% durante o período de avaliação em todas as áreas.
 138 A área 4, foi observada a maior incidência da fusariose ao final do período da
 139 avaliações, com 70% de plantas doentes.

140 Nas áreas 1 e 2, o período de maior crescimento da doença foi entre dez/2015 e
141 jan/2016, cerca de 20 e 24%, respectivamente. As áreas 3 e 4 obtiveram maior taxa de
142 crescimento nos meses seguintes, entre janeiro e março de 2016, com 16 e 27% de
143 crescimento, respectivamente (Figura 1).

144 O período que apresentou maior crescimento da doença coincide com períodos de
145 chuvas na região, associado às temperaturas mais elevadas (Figura 2), condições
146 favoráveis para patógenos habitantes do solo, como *F. solani* (Bergamin Filho *et al.*,
147 2002). Segundo Bedendo (2005) a temperatura ideal para o patógeno em questão varia
148 de 25 a 35C°, temperatura esta alcançada nos meses de novembro a abril no município
149 de instalação do experimento. E ainda, Ikeda (2010) avaliando a dispersão de *Nectria*
150 *haematococca* f. sp. *piperis*, verificou o maior número de peritécios em plantas de
151 pimenta-do-reino no período da estação chuvosa.

152 As colheitas da pimenta-do-reino foram realizadas no final do ano, após outubro, visto
153 isso, o maior crescimento da doença se deu posterior ao período de colheita, fato esse
154 que pode estar ligado à disseminação do patógeno nas áreas. Na colheita da pimenta-do-
155 reino é um período de estresse fisiológico e mecânico para as plantas, o que pode deixá-
156 las mais suscetível à entrada de patógenos. E ainda, no momento da colheita é utilizada
157 escada para a retirada dos cachos mais altos na planta, essa movimentação do objeto na
158 área pode ser o principal fator de disseminação no solo nesse período.

159 Os parâmetros avaliados pelo semivariogramas estão presentes na tabela 1. Os
160 semivariogramas de todas as áreas obtiveram ajuste para o modelo esférico, sendo que o
161 semivariograma das três últimas avaliações da área 4 ajustaram-se melhor no modelo
162 gaussiano. Observa-se que nas áreas 1, 2 e 4 não houve ajuste do modelo nas primeiras
163 avaliações, ou seja, não foi observada a dependência espacial da fusariose em plantas de
164 pimenta-do-reino, caracterizando uma distribuição ao acaso da doença.

165 O alcance obtido nos semivariogramas das áreas variou de 2,58 a 8,61 metros,
166 destacando a predominância dos valores de 3,00 a 4,00 metros nas áreas 2 e 4.

167 Houve variação da dependência espacial entre as áreas avaliadas, de acordo com a
168 classificação de Cambardella *et al.*, (1994). Os dados das áreas 1 e 2 apresentaram
169 moderada dependência espacial em todas as avaliações que houve ajuste de modelo; na

170 área 3 observou-se uma dependência fraca da primeira a quinta avaliação, e moderada
171 na última avaliação, enquanto que a área 4 obteve uma dependência espacial moderada
172 na quarta avaliação e forte na terceira, quinta e sexta avaliações (Tabela 2).

173 A dependência espacial juntamente com o alcance calculado no semivariograma é
174 importante para a interpretação dos semivariograma que irá estimar a distância máxima
175 em que os pontos amostrais estão correlacionados entre si (Vieira *et al.*, 2010; Leal *et*
176 *al.*, 2010).

177 Na figura 3 estão apresentados os mapas de krigagem com os dados da doença das
178 lavouras avaliadas. É possível perceber a evolução temporal de plantas saudas para
179 mortas em algumas áreas. Os mapas das áreas 1, 2, e 4 que apresentam uma só cor,
180 representam as avaliações que não obtiveram ajuste de modelo.

181 Nas áreas 1, 2 e 4 se torna evidente que a doença começa em pequenos focos de plantas
182 doentes distribuídos na lavoura, e, posteriormente esses focos evoluem e passam a
183 apresentar em seu centro plantas mortas e nas bordas plantas doentes. Esse padrão de
184 evolução é observado a partir da segunda avaliação (Figura 3). Esse fato poderia ser
185 melhor visualizado se houvesse avaliado as plantas com maior número de notas
186 (gradientes), no caso foi usado somente à distinção de plantas saudas, doentes e mortas.

187 Os focos da fusariose observados nos mapas de krigagem respeitam um padrão de
188 alongamento, ou seja, a doença está sendo disseminada por um fator de curta distância
189 na linha de plantio, podendo afirmar que essa distribuição espacial esta ocorrendo de
190 forma agregada. Nesse trabalho não pode ser observado se há anisotropia, isso devido à
191 forma das áreas serem retangular.

192 Segundo Journel & Huijbregts (1978) os valores da relação $Co/(Co+C1)$ abaixo de 0,8
193 (ou 80%) indicam distribuição agregada da variável. No presente estudo, os valores
194 obtidos em todas as áreas respeitaram esse padrão. Na área 4, as duas últimas avaliações
195 apresentaram valores acima de 0,8 na relação $Co/(Co+C1)$, pois como a incidência de
196 plantas doentes é maior, tende a uniformidade de plantas doentes, devido a junção de
197 focos.

198 Por meio das informações geradas pelo semivariograma (efeito pepita, patamar,
199 alcance), dados calculados para dependência espacial, informações sobre o patógeno e
200 manejo da área, é possível entender como a doença está sendo distribuída e disseminada
201 no cultivo, e ainda, traçar estratégias de diferentes manejos que minimizem a
202 disseminação da doença na área total.

203 A fusariose apresenta duas formas de infecção em plantios de pimenta-do-reino.
204 Infecção de plantas pelo sistema radicular, na forma anamórfica, formando
205 macroconídios e microconídios; e na parte aérea, na forma teleomórfica, com a
206 formação de peritécios com ascósporos (Trindade & Poltronieri, 1997). Segundo Ikeda
207 (2010), em um estudo de caso, os peritécios produzidos na fase teleomórfica contém
208 ascósporos que contribuem para a disseminação da fusariose nas lavouras de pimenta-
209 do-reino, porém essa não é a principal forma de disseminação do patógeno.

210 Por se tratar que a maior evolução da doença está sendo evidenciada após as colheitas e
211 a sua distribuição está se dando em forma de focos alongados na linha de plantio, pode-
212 se afirmar que tratos culturais realizados na lavoura podem contribuir para a
213 disseminação da fusariose.

214 O uso de escadas para a colheita dos cachos da pimenta-do-reino causa um carregamento
215 de partículas de solo em sua base, contribuindo assim para a disseminação da fusariose.
216 E ainda, o revolvimento do solo e controle de plantas daninhas por meio da capina faz
217 parte dos tratos culturais que interferem na disseminação da fusariose via solo.

218 Nos mapas de krigagem das áreas 2 e 4 é possível notar maior número de focos nas
219 extremidades superiores das áreas, que é onde está localizada as estradas, utilizadas
220 como carregadores. No momento da colheita os sacos cheios com a pimenta-do-reino já
221 colhida são arrastados entre as linhas de plantio até os carregadores, essa movimentação
222 pode também influenciar na disseminação da fusariose no solo.

223 Produtos para o controle da fusariose em lavouras de pimenta-do-reino já infectadas
224 ainda não se encontram registrados no país. Visto isso é importante à realização de
225 medidas culturais que minimizem a dispersão da doença, assim ocasionando a
226 diminuição de plantas mortas na lavoura.

227 A realização dos tratos culturais de forma diferenciada das áreas seria uma das
228 principais medidas para minimizar os danos ocasionados pela fusariose em pimenta-do-
229 reino, ou seja, a criação de zonas de manejo, que consiste na delimitação de áreas
230 compatíveis para realização de manejo (Molin, 2002).

231 As colheitas respeitando o princípio da criação de zonas de manejo seria a principal
232 medida cultural que minimizaria a disseminação de inoculo da fusariose. A colheita
233 inicia em áreas de plantas sadias, ou de menor incidência da doença e depois em áreas
234 mais infestadas pela doença.

235 A minimização do revolvimento do solo e o controle de erosão se apresenta como
236 medidas culturais importantes para prevenir a disseminação da doença. O controle de
237 erosão evita o microclima favorável ao patógeno e reduz a lixiviação do solo,
238 principalmente em áreas de declive.

239 Diante do contexto foi possível notar que a fusariose esta sendo disseminada a curta
240 distância, no qual os focos respeitam um padrão de alongamento, propondo uma
241 disseminação na linha de plantio.

242

243 **AGRADECIMENTOS**

244 A agência financiadora, Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível
245 Superior, Capes, e ao produtor Elizeu Bonomo por ter concedido a realização da
246 pesquisa em sua propriedade.

247

248 **REFERÊNCIAS**

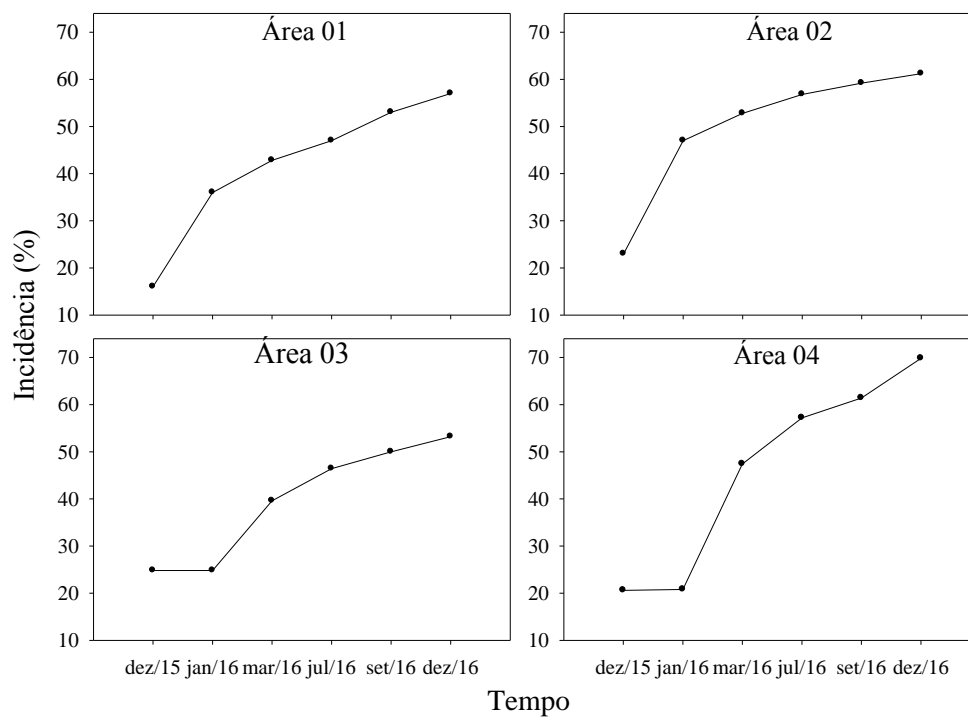
249 ALVARES CA, STAPE JL, SENTELHAS PC, GONÇALVES JLM. 2013. Sparovek
250 G. Koppen's climate classification map for Brazil. *Meteorol Zeitschrift* 22:711-28.
251 <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>

252 ALVES M; POZZA EA; SILVA FM; MORAES JC; OLIVEIRA MS; SOUZA ZM;
253 FIGUEIREDO CAP. 2005. Análise geoestatística da variabilidade espacial da broca-do-

- 254 café (*Hypothenemus hampei*) (Coleoptera: Scolytidae) e da cercosporiose (*Cercospora*
255 *coffeicola* Berk e Cke.) do cafeeiro (*Coffea arabica* L.). In: 5º CONGRESSO
256 BRASILEIRO DE AGROINFORMÁTICA. *Resumos...*Londrina: SBI-AGRO. p. 8.
- 257 ALVES MC, POZZA EA, MACHADO JC, ARAÚJO DV, TALAMINI V, OLIVEIRA
258 MS. 2006. Geoestatística como metodologia para estudar a dinâmica espaço-temporal
259 de doenças associadas a *Colletotrichum* spp. transmitidos por sementes. *Fitopatologia*
260 *Brasileira* 31:557-563.
- 261 AMADO TJC, PONTELLI CB, SANTI AL, VIANA JHM, SULZBACH LAS. 2007.
262 Variabilidade espacial e temporal da produtividade de culturas sob sistema de plantio
263 direto. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 42:1101-10. doi: 10.1590/S0100-
264 204X2007000800006
- 265 BEDENDO, IP. 2005. Ambiente e doença. In: BERGAMIN FILHO A; KIMATI H;
266 AMORIM L (Ed). *Manual de fitopatologia: Princípios e conceitos*. São Paulo:
267 Agronômica Ceres. p. 331-342.
- 268 BERGAMIN FILHO A, HAU B, AMORIM L, JESUS JUNIOR WC. 2004. Análise
269 espacial de epidemias. In: VALE FXR; JESUS JUNIOR WC; ZAMBOLIM L
270 (Eds.) *Epidemiologia aplicada ao manejo de doenças de plantas*. Belo Horizonte:
271 Editora Perffil. p. 193-240.
- 272 BERGAMIN FILHO A, HAU B, AMORIM L, LARANJEIRA FF. 2002. Análise
273 espacial de epidemias. *Revisão Anual de Patologia de Plantas* 10:155-218.
- 274 BURROUGH PA, MC DONNELL RA. 2006. *Principles of geographical systems*.
275 New York: Oxford University Press. 333p.
- 276 CAMBARDELLA CA, MOORMAN TB, NOVAK JM, PARKIN TB, KARLEN DL,
277 TURCO RF, KONOPKA AE. 1994. Field-scale variability of soil properties in Central
278 Iowa Soils. *Soil Science Society of American Journal* 58:1501-1511.
- 279 CARNAÚBA JP, SOBRAL MF, AMORIM EPR, SILVA IO. 2007. Ocorrência de
280 *Fusarium solani* sp. *piperis* em *Pipper nigrum* no estado de Alagoas. *Summa*
281 *Phytopathologica* 33: 96-97.

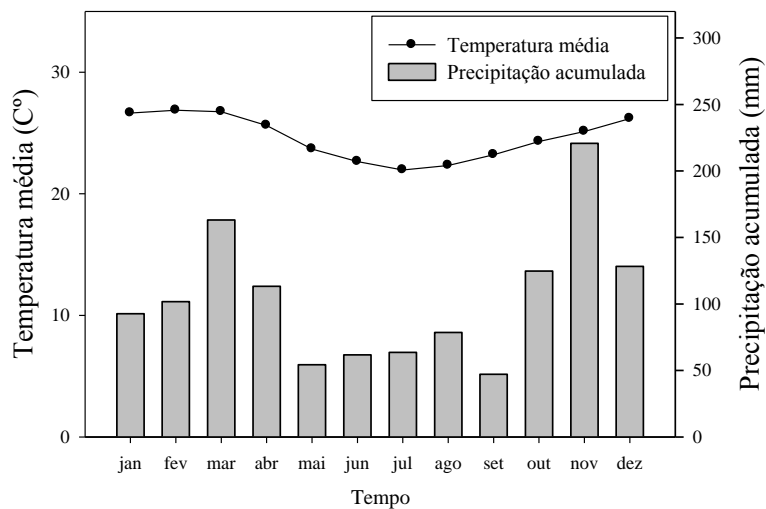
- 282 HAMADA M, UCHIDA T, TSUDA M. 1988. Ascospore Dispersion of the Causal
283 Agent of Nectria Blight of *Piper nigrum*. *Annals of the Phytopathological Society of*
284 *Japan* 54: 303-308.
- 285 IKEDA K. 2010. Role of perithecia as an inoculum source for stem rot type of pepper
286 root rot caused by *Fusarium solani* f. sp. *piperis* (teleomorph: *Nectria haematococca* f.
287 sp. *piperis*). *Journal of General Plant Pathology* 76:241–246.
- 288 JOURNAL AG, HUIJBREBTS CJ. 1978. *Mining geostatistics*. London: Academic
289 Press. 600p.
- 290 KIMATI H, AMORIM L, BERGAMIN FILHO A, CAMARGO LEA, REZENDE
291 JAM. 1997. *Manual de Fitopatologia: Doenças das plantas cultivadas*. 3.ed. São Paulo:
292 Agronômica Ceres Ltda. 725p.
- 293 LEAL RM, BARBOSA JC, COSTA MG, BELASQUE JUNIOR J, YAMAMOTO P T,
294 DRAGONE J. 2010. Distribuição espacial de huanglongbing (greening) em citrus
295 utilizando a geoestatística. *Revista Brasileira de Fruticultura* 32: 808-818.
- 296 Köppen, W. 1948. *Climatologia: con un estudio de los climas de la tierra*. Fondo de
297 Cultura Econômica. México. 479p.
- 298 MAFFIA LA, MIZUBUTI ESG. 2005. Epidemiologia de doenças radiculares. In:
299 MICHEREFF SJ; DOMINGOS EGT; ANDRADE MM. *Ecologia e manejo de*
300 *patógenos radiculares em solos tropicais*. Recife: UFRPE, Imprensa Universitária. p.
301 207-246.
- 302 MOLIN JP. 2002. Definição de unidades de manejo a partir de mapas de
303 produtividade. *Engenharia Agrícola* 22: 83-92.
- 304 TREMACOLDI CR. 2010. *Principais doenças fúngicas da pimenteira-do-reino no*
305 *Estado do Pará e recomendações de controle*. Belém: Embrapa Amazônia Oriental.
306 23p. (Documentos, 367).
- 307 TRINDADE DR, POLTRONIERI LS. 1997. Doenças da pimenta-do-reino. In:
308 KIMATI H; AMORIM L; BERGAMIN FILHO A; CAMARGO LEA; REZENDE JA
309 M. *Manual de fitopatologia*. 3 ed. São Paulo: Agronômica Ceres. 537- 539p.

- 310 SHAHNAZI S, MEON S, VADAMALAI G, AHMAD K, NEJAT N. 2012.
311 Morphological and molecular characterization of *Fusarium* spp. associated with
312 yellowing disease of black pepper (*Piper nigrum* L.) in Malaysia. *Journal of General*
313 *Plant Pathology* 78: 160-169.
- 314 VIEIRA SR, GUEDES OF, CHIBA MK, MELLIS EV, DECHEN SCF, MARIA IC.
315 2010. Variabilidade espacial dos teores foliares de nutrientes e da produtividade da soja
316 em dois anos de cultivo em um Latossolo Vermelho. *Revista Brasileira de Ciência do*
317 *Solo* 34: 1503-1514.
- 318 VIEIRA SR, HATFIELD JL, NIELSEN DR, BIGGAR JW. 1983. Geostatistical theory
319 and application to variability of some agronomical properties. *Hilgardia* 51:1-75
- 320 ZACCARDELLI M, VITALE S, LUONGO L, MERIGHI M, CORAZZA L. 2008.
321 Morphological and molecular characterization of *Fusarium solani* Isolates. *J.*
322 *Phytopathology* 156:534-541
- 323 ZIMBACK, CRL. 2001. *Análise espacial de atributos químicos de solos para fins de*
324 *mapeamento da fertilidade do solo*. Botucatu: Faculdade de Ciências Agronômicas,
325 Universidade Estadual Paulista. 144p. (Tese livre-docência).
- 326



327

328 Figura 1. Progresso temporal da fusariose, definidas pela incidência de plantas doentes,
 329 em quatro áreas de plantio de pimenta-do-reino. Temporal evolution of fusariosis,
 330 defined by the incidence of diseased plants, in four areas of pepper planting. São
 331 Mateus, UFES, 2018.



332 Figura 2. Média histórica mensal (2005 a 2015) de temperatura média e precipitação
 333 acumulada da estação meteorológica do município de São Mateus, ES, Brasil. Historical
 334 average monthly (2005 to 2015) of mean temperature and accumulated precipitation of
 335 the meteorological station of the municipality of São Mateus, ES, Brazil. São Mateus,
 336 UFES, 2018.

337 Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia (Inmet).

338

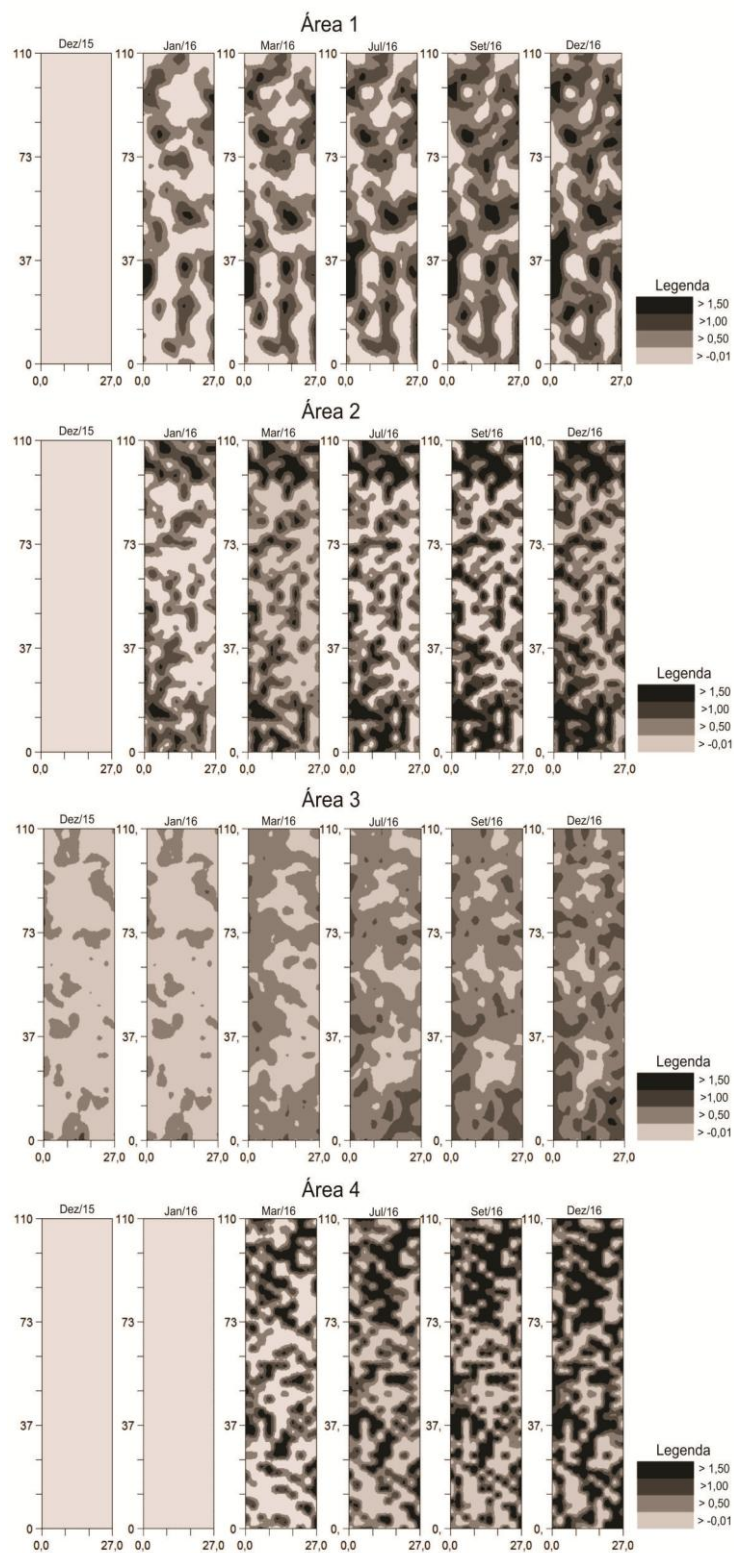
339 Tabela 1. Parâmetros dos semivariogramas a intensidade de fusariose em quatro
 340 cultivos de pimenta-do-reino. Parameters of semivariograms the intensity of fusariosis
 341 in four pepper crops. São Mateus, UFES, 2018.

Área	Avaliação	Modelo	Co	Co+C	Ao (m)	R ²	RD (%)	Classe
	Dez/15	-	-	-	-	-	-	-
1	Jan/16	Esférico	0,4436	0,8136	7,1500	0,8800	45,48	Moderada
	Mar/16	Esférico	0,5333	0,8836	8,6112	0,8150	39,64	Moderada
	Jul/16	Esférico	0,4435	0,8955	7,1500	0,8410	50,47	Moderada
	Set/16	Esférico	0,4985	0,9240	6,9000	0,7650	46,05	Moderada
	Dez/16	Esférico	0,4700	0,9230	6,3000	0,7570	49,08	Moderada
	Dez/15	-	-	-	-	-	-	-
2	Jan/16	Esférico	0,3848	0,7730	4,3000	0,9820	50,22	Moderada
	Mar/16	Esférico	0,3057	0,7990	4,0000	0,9980	61,74	Moderada
	Jul/16	Esférico	0,2700	0,8100	3,9000	0,9630	66,67	Moderada
	Set/16	Esférico	0,2526	0,8370	3,8100	0,9760	69,82	Moderada
	Dez/16	Esférico	0,3143	0,8350	3,9000	0,9780	62,36	Moderada
3	Dez/15	Esférico	0,4000	0,5145	4,6000	0,9690	22,26	Fraca
	Jan/16	Esférico	0,3958	0,5170	4,9000	0,9810	23,45	Fraca
	Mar/16	Esférico	0,5710	0,7120	4,5000	0,9330	19,80	Fraca
	Jul/16	Esférico	0,5921	0,7740	5,0000	0,9760	23,51	Fraca
	Set/16	Esférico	0,6100	0,8070	5,2000	0,9640	24,41	Fraca
	Dez/16	Esférico	0,6018	0,8680	4,8000	0,9840	30,67	Moderada
	Dez/15	-	-	-	-	-	-	-
	Jan/16	-	-	-	-	-	-	-
4	Mar/16	Esférico	0,1721	0,8120	3,6173	0,7430	78,80	Forte
	Jul/16	Gaussiano	0,2151	0,8540	3,3429	0,9790	74,81	Moderada
	Set/16	Gaussiano	0,1367	0,8600	2,5808	0,9010	84,10	Forte
	Dez/16	Gaussiano	0,1220	0,8630	3,0831	0,9730	85,86	Forte

342 Co: efeito pepita; Co+C: patamar; Ao: alcance; R²: coeficiente de determinação; RD:
 343 razão de dependência espacial [Co/(Co+C) 100].

344

345



346

347 Figura 3. Mapa de isolinhas da intensidade de fusariose em quatro áreas de pimenta-do-
 348 reino. Map of isolinhas of intensity of fusariose in four areas of pepper. São Mateus,
 349 UFES, 2018.

1.3 METODOLOGIAS PARA AVALIAÇÃO DO PADRÃO ESPACIAL DA FUSARIOSE EM PIMENTA-DO-REINO

Methodologies for evaluation of space pattern of fusariosis in pepper-kingdom

Resumo - Objetivou-se como esse trabalho comparar o uso da geoestatística com métodos tradicionais utilizados no estudo da dinâmica espacial da fusariose em pimenta-do-reino. O experimento foi instalado em uma lavoura de pimenta-do-reino localizada em São Mateus, ES, Brasil, entre dezembro de 2015 e dezembro de 2016, na qual fez-se seis avaliações do progresso da fusariose. A incidência da fusariose foi quantificada em duas áreas da lavoura com 560 plantas cada, registrando a presença ou ausência da doença em cada planta. A posição de cada planta na lavoura foi anotada, e utilizada para obtenção do mapa da ocorrência da doença na área amostrada em planilhas obtendo-se o mapeamento da evolução da doença dentro das áreas. Com os dados coletados foi possível estabelecer o Índice de Dispersão (ID) da doença, determinar sua distribuição com base na Lei de Taylor modificada. Foi feita também a análise de dinâmica e estrutura de focos (ADEF) e geoestatística. Observou-se que os resultados obtidos pela geoestatística oferecem informações que se correlacionam com aquelas obtidas pelos métodos tradicionais e estudos de comportamento espacial de doenças como o ID, Lei de Taylor modificada e ADEF. Como vantagem adicional, a geoestatística possibilita a criação de mapas mais elaborados e com a facilidade de ter à disposição vários programas estatísticos disponíveis para suas análises.

Palavras-chave: epidemiologia, índice de dispersão, lei de Taylor modificada, análise de dinâmica e estrutura de focos, geoestatística.

Abstract - The objective of this study was to compare the use of geostatistics with traditional methods used in the study of the spatio-temporal dynamics on fusariosis in black pepper. The experiment was carried out in a black papper crop in São Mateus, ES, Brazil from December 2016 to December 2017, in total of six evaluations. The incidence of fusariosis was monitored in two areas of the crop with 560 plants each. From the visual inspection of the plant was awarded notes. A presence or absence of symptoms, as well as a position of each plant, were recorded in spreadsheets obtaining mapping of the development of the disease within the areas. For the spatial study, the data were analyzed by conventional methodologies: Dispersion Index (ID), modified Taylor's Law, dynamics and foci structure analysis (ADEF), and kriging. Comparing the results, it can be observed the results obtained with kriging are in harmony with those found by conventional methodologies, and that it has the potential to be used in without spatial study of plant diseases. The geostatistical techniques have the advantage of having several statistical programs available for their analyzes.

Keywords: epidemiology, dispersion index, modified Taylor's law, dynamics analysis and foci structure, geostatistics.

INTRODUÇÃO

O conhecimento do progresso de uma doença ao longo do tempo e do espaço, a partir de sua fonte de inóculo, permite conhecer a dinâmica da interação de patógenos com hospedeiros e o ambiente (BERGAMIN FILHO et al., 2004). Essas informações servirão para avaliação das estratégias de controle, previsão da evolução da doença, quantificação de perdas e danos, aperfeiçoamento de estratégias para a proteção de plantas.

A distribuição espacial da doença é dependente do arranjo das plantas, da intensidade da doença e da sua forma de disseminação (CAMPBELL; MADDEN, 1990). Os métodos clássicos para caracterizar padrões espaciais, são as análises estatísticas descritivas de 'quadrats', testes de 'run' e 'doublet', índice de dispersão e lei de Taylor modificada entre outras (BERGAMIN FILHO et al., 2004; CAMPBELL; MADDEN, 1990).

Novas ferramentas decorrentes da popularização do Sistema de Posicionamento Global (GPS) e do Sistema de Informações Geográficas (SIG) estão sendo utilizadas em estudos que procuram relacionar levantamentos de doenças e mapas de fatores abióticos e bióticos, bem como para definir com precisão as zonas de gerenciamento de prescrição (NUTTER et al., 1995).

Os métodos clássicos de análise espaço-temporal utilizados nos estudos fitopatológicos não possuem software específico para se analisar o conjunto de dados, o que torna o trabalho lento e mais suscetível a erros. As metodologias tradicionais comparam distribuição estatística da doença sem considerar a localização das plantas na lavoura e a relação entre elas. Já a geoestatística faz uso de métodos que consideram a distância entre amostras para quantificar e representar a dependência espacial, conforme é indicado na teoria das variáveis regionalizadas, bases do fundamento da geoestatística (SILVA et al., 2000).

Uma vantagem da geoestatística é que existem à disposição softwares capazes de confeccionar mapas didáticos, relacionar duas ou mais variáveis, trabalhar com diferentes tamanhos de amostras e fazer previsões de evolução de epidemias.

A geoestatística vem sendo constantemente aplicada em estudos para verificar a distribuição das propriedades do solo (SILVA NETO et al., 2011), mas ainda são poucas as aplicações da ferramenta na epidemiologia de doença de plantas.

Oliveira et al. (2008) comparou método tradicional de amostragem de solo com a teoria das variáveis regionalizadas, onde pode mostrar a dependência espacial de macronutrientes no solo, e ainda identificar áreas de déficit e excesso de calagem e adubação, que não poderiam ser definidas pelo método de amostragem em ziguezague. Gontijo et al. (2016) trabalhando com calagem em uma área de pimenta-do-reino verificaram variabilidade espacial no solo e definiram zonas homogêneas na área para evitar o excesso e a deficiência de calagem.

Nesse contexto objetivou-se com esse trabalho comparar o uso da geoestatística com métodos tradicionais utilizados no estudo da dinâmica espaço-temporal da fusariose em pimenta-do-reino.

MATERIAIS E MÉTODOS

Os estudos foram realizados considerando a ocorrência da fusariose (*Fusarium solani* f. sp. *piperis*) em uma lavoura de pimenta-do-reino (*Piper nigrum* L.) localizada no município de São Mateus, ES, Brasil. As plantas cultivadas eram da variedade Bragantina com oito anos de idade, espaçamento 3,0 x 2,0 metros e irrigadas por um sistema de microaspersão.

A lavoura foi dividida em duas áreas, onde avaliou a incidência da fusariose por meio da inspeção visual da parte aérea das plantas em busca de sintomas típicos da doença (queda de folhas, ramos e internódios no terço superior; morte de ramos superiores; planta seca ou morta). As avaliações foram realizadas de dez/2015 a dez/2016, compondo no total de seis avaliações, com intervalo médio de dois meses. Foi atribuído notas para as plantas, onde que, plantas saudáveis, sem a presença de sintomas da doença, receberam nota zero; e, plantas doentes ou mortas pela fusariose receberam nota um.

Os dados de incidência da fusariose foram utilizados para calcular o Índice de Dispersão (ID), análise da lei de Taylor modificada e Análise da Dinâmica e Estrutura de Focos (ADEF).

Para a análise do ID e da lei de Taylor modificada subdividiu-se a lavoura em quadrats 2x2. Em cada quadrat calculou a proporção de plantas sintomáticas e a incidência (p) da doença, pela fórmula $p = \sum X_i / n \cdot N$, onde $\sum X_i$ = somatório do número de plantas doentes em cada quadrat; n = número de plantas em cada quadrat e N = número total de quadrat em cada mapa.

Para o cálculo do índice de dispersão utilizou-se da equação $ID = V_{obs} / V_{bin}$, onde $V_{bin} = p(1-p)/n$, sendo p = incidência da doença na parcela e n = número de plantas no quadrat; $V_{obs} = \sum (X_i - n \cdot p)^2 / n^2(N-1)$, onde X_i = número de plantas doentes no quadrat e N = número total de quadrats. O afastamento da aleatoriedade foi determinado pelo teste do qui-quadrado (χ^2) a 5% de significância. Valores de ID estatisticamente iguais a 1 indicam que plantas sintomáticas estão distribuídas ao acaso dentro das áreas, e valores de ID diferentes de 1 indicam agregação das plantas doentes nas áreas analisadas.

Calculou-se a lei de Taylor modificada através da análise de regressão do logaritmo das variâncias binária (V_{bin}) e observada (V_{obs}). O teste F foi utilizado a fim de verificar a significância entre logaritmo de V_{bin} e V_{obs} . O ajuste do modelo foi baseado nos valores dos coeficientes de determinação (R^2) e dos padrões de distribuição dos resíduos. Observou-se a distribuição espacial da doença através dos valores de A e b, sendo que: valor de A=0 e b=1 a doença ocorre de forma ao acaso; Se o valor de A>0 e b=1 a distribuição espacial da fusariose ocorre de forma agregada; e se o valor de A>0 e b>1 o nível de agregação aumenta com o aumento da incidência. A equação de regressão foi avaliada para área, através do teste t a 5% de significância.

A ADEF foi realizada conforme descrito Nelson (1996); Laranjeira (2002); Jesus Júnior; Bassanezi (2004). Calculou-se número de focos unitários (NFU), composto por uma planta sintomática; o número total de focos (NF) na área; o número de plantas por focos (NPF), e ainda, quantificou-se o número de linhas (lf) e de colunas (lc) ocupadas por cada foco, afim de estimar o índice médio de forma de focos (IFF), onde $IFF = [(lf/lc)/NF]$; e, o índice médio de compactação de focos (ICF), onde $ICF =$

[(NPF/lc*lf)/NF]. Para interpretação dos resultados, os valores de: IFF = 1,0 indicam focos isodiamétricos; valores de IFF > 1,0 indicam focos com maior comprimento na direção entre as linhas de plantio; e, valores de IFF < 1,0 indicam focos com maior comprimento na direção da linha de plantio. Para valores de ICF próximos a 1,0 indica focos mais compactos, ou seja, maior agregação e proximidade entre as plantas do foco.

Para a análise geoestatística classificou-se as plantas por meio de notas, em que para a planta sadia, atribuiu-se nota zero; plantas que apresentavam sintomas típicos da doença atribui-se nota um; e plantas mortas receberam nota dois. Foram gerados mapas numéricos de cada avaliação e suas respectivas áreas onde que cada planta era avaliada representava um ponto georreferenciado.

A análise geoestatística foi realizada no programa GS+®, afim de gerar informações referentes ao semivariograma, escolha do melhor modelo ajustado e a construção do mapa de krigagem (VIEIRA et al., 1983). A dependência espacial foi obtida por meio do ajuste do semivariograma, estimado a partir da equação (BURROUGH; MCDONNELL, 2006):

$$\hat{\gamma}(h) = \frac{\sum_{i=1}^{n(h)} [z(x_i) - z(x_i + h)]^2}{2n(h)}$$

Sendo: n (h) é o número de pares de amostras [z (x_i); Z (x_i + h)] separados pelo vetor h, z (x_i) e z (x_i + h) são valores numéricos observados no atributo analisado para dois pontos x_i e x_i + h separados pelo vetor h. O semivariograma γ foi representado pelo gráfico γ (h) versus h.

Foi testado os modelos esférico, gaussiano, exponencial, em que a escolha do modelo foi em função de

menor valor do quadrado médio do resíduo e maior valor do coeficiente de determinação (R²).

A dependência espacial foi estimada a partir de parâmetros descritos por Cambardella et al. (1994), onde que, calculou-se a razão entre o efeito pepita (Co) e o patamar (Co + C): d = (Co/(Co+ C))* 100, sendo considerada fraca para valor superior a 75%, moderada entre 25 e 75% e forte para valor inferior a 25%.

Após ser constatado a dependência espacial e a escolha do melhor modelo realizou-se a krigagem para a confecção dos 12 mapas em suas respectivas áreas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com os dados de incidência utilizados para as análises pode-se observar que a área 2 foi que apresentou maior número de plantas doentes, cerca de 70% no final das avaliações, enquanto que a área 1 obteve incidência de plantas doentes de 52%. A incidência inicial das plantas na área 1 e 2 foram de 25 e 21%, respectivamente.

O Índice de Dispersão da fusariose variou de 1,00, em março/16 na área 1, a 1,37 em dezembro/16 (Tabela 1). A área 1 apresentou o padrão de distribuição de plantas doentes ao acaso em todas as avaliações, no entanto a área 2 esse mesmo padrão de distribuição ocorreu somente nas duas primeiras avaliações, passando-se posteriormente para o padrão de distribuição agregado. Vale ressaltar que a área 1 obteve menor incidência de plantas doentes ao final das avaliações (52%), enquanto que a área 2 obteve 70% de plantas infectadas com fusariose, fato esse que pode ter influenciado a distribuição de plantas doentes nas duas áreas.

Tabela 1. Valores dos Índices de Dispersão (ID) calculados para a fusariose em pimenta-do-reino em duas áreas em plantio de pimenta-do-reino em São Mateus-ES.

Área de plantio	Data das Avaliações					
	Dez/15	Jan/16	Mar/16	Jul/16	Set/16	Dez/16
01	1,0450	1,0450	1,0084	1,0913	1,0948	1,1323
02	1,0747	1,0612	1,2952*	1,3513*	1,3637*	1,3710*

(*) Indica valores significativamente superiores a 1 pelo teste qui quadrado. Onde, ID=1 significa distribuição ao acaso de plantas sintomáticas na área, e, ID≠1 distribuição em agregação de plantas sintomáticas na área.

A mudança do padrão de distribuição da fusariose na área 2, de ao acaso para agregada, é um indicativo da ausência de um foco inicial da doença. Com a rápida disseminação da doença ocorrida na área, que variou de 21 para 70%, provavelmente, ocorreu à disseminação do patógeno ao redor das plantas doentes, o que é esperado para doenças de patógenos habitantes do solo (BERGAMIN FILHO et al., 2002). Prováveis formas de introdução aleatória da doença, neste patossistema, seriam decorrentes do uso de mudas contaminadas ou estacas utilizadas como tutores originadas de áreas infestadas (DUARTE et al., 2005). Como as estacas empregadas nesta

lavoura são de eucalipto tratado de primeiro uso, a fonte mais provável de inóculo seriam mudas contaminadas. Até o momento, no Espírito Santo, não existe controle sanitário das mudas com foco na fusariose, e várias mudas infectadas tem sido detectadas em viveiros.

A mudança no padrão de distribuição da doença ao longo do tempo foi melhor evidenciada pela lei de Taylor modificada, que mostra pontos na base da reta mais distante da linha central e outras mais próximas à linha central ao final (Figura 1) demonstrando tendência à agregação. Este tipo de comportamento não foi observado na área 1 (Figura 1).

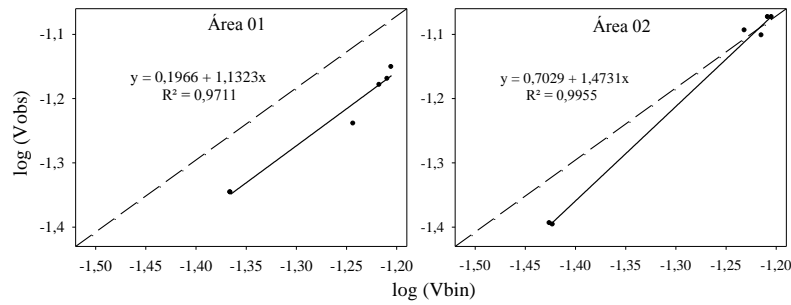


Figura 1. Relação do logaritmo da variância observada (log Vobs) com logaritmo da variância binomial (log Vbin) para incidência da fusariose em pimenta-do-reino em duas áreas em plantio de pimenta-do-reino em São Mateus-ES. Cada ponto representa uma avaliação da doença, a linha pontilhada representa a linha binomial (Vobs = Vbin).

A ADEF foi realizada com a finalidade de auxiliar as outras análises, caracterizando os focos de plantas doentes presentes na lavoura de pimenta-do-reino. Conforme apresentado na Tabela 2 pode-se observar que ambas as áreas obtiveram o padrão de plantas doentes iguais. O número de focos e números de focos unitários diminuiu conforme a doença progredia ao longo do tempo, enquanto que o número de plantas por focos aumentou. Este comportamento indica que a disseminação da doença se deu preferencialmente a curta distância fazendo com que o incremento da doença ocorresse envolvendo plantas mais próximas àquelas inicialmente doentes. Este tipo de disseminação faz com que ocorra uma expansão do foco

inicial pelo aumento do número de planta doentes dentro dos mesmos, caracterizando assim um fator de disseminação da doença de curta distância. Este comportamento é confirmada a partir do cálculo do ICF e do IFF.

Os valores de ICF diminuíram com o passar do tempo em ambas áreas. Esse fato se deve à coalescência de focos de acordo com a evolução da doença e pode estar relacionado a uma possível disseminação mais lenta da fusariose. O IFF nas duas áreas de cultivo avaliadas indicou a disseminação maior da fusariose ao longo das linhas do plantio.

Tabela 2. Análise da dinâmica e estrutura de focos (ADEF) da fusariose em duas áreas em plantio de pimenta-do-reino em São Mateus-ES.

ÁREA	Avaliações	NF ^a	NPF ^b	FU ^c	Lf ^d	Lc ^e	ICF ^f	IFF ^g
1	dez/15	39	3,15	12	2,05	2,38	0,74	0,93
	jan/16	39	3,15	12	2,05	2,38	0,74	0,93
	mar/16	34	5,79	6	3,03	3,35	0,63	1,04
	jul/16	27	8,59	3	3,37	4,15	0,64	1,02
	set/16	24	10,42	2	3,50	4,75	0,62	0,97
	dez/16	21	12,71	2	3,81	5,43	0,60	0,88
	Média	30,67	7,30	6,17	2,97	3,74	0,66	0,96
2	dez/15	44	2,34	15	1,75	1,82	0,82	1,14
	jan/16	44	2,34	15	1,75	1,82	0,82	1,14
	mar/16	29	8,14	4	3,52	4,10	0,61	1,01
	jul/16	24	11,88	4	3,96	5,04	0,60	0,84
	set/16	18	17,00	4	4,61	6,50	0,60	0,82
	dez/16	14	24,93	3	4,64	8,50	0,64	0,71
	Média	28,83	11,10	7,5	3,37	4,63	0,68	0,94

^a Números de focos; ^b Número de plantas por foco; ^c Focos unitários; ^d Número máximo de linhas; ^e Número máximo de colunas; ^f Índice médio de compactação de focos; ^g Índice médio de forma de focos.

Valores de IFF = 1,0 indicam focos isodiamétricos; IFF > 1,0 indicam focos com maior comprimento na direção entre as linhas de plantio; e, IFF < 1,0 indicam focos com maior comprimento na direção da linha de plantio. Valores de ICF próximos a 1,0 indica focos mais compactos.

A criação de semivariogramas e ajuste de modelo não foi possível nas duas primeiras avaliações da área 2 (Tabela 3). Pode-se afirmar que o padrão da doença nessas

avaliações ocorreu ao acaso, indicando não haver dependência espacial entre plantas doentes.

O modelo esférico foi o que melhor se ajustou para as áreas e suas respectivas avaliações, exceto para a

área 2, que nas três últimas avaliações, o modelo gaussiano foi o que obteve melhor ajuste (Tabela 3). No trabalho realizado por Silva et al. (2013), onde avaliou a dinâmica espacial da fusariose em pimenta-do-reino, também observou-se o ajuste do modelo gaussiano para a lavoura avaliada.

Observou-se um maior alcance nos semivariograma calculado da área 1, variando de 5,2 a 4,6 m, enquanto que na área 2 obteve um alcance variando de 3,6 a 2,5 m.

Tabela 3. Parâmetros dos semivariogramas a intensidade de fusariose em duas áreas em lavoura pimenta-do-reino em São Mateus-ES.

Área	Avaliação	Modelo	Co	Co+C	Ao (m)	R ²	RD (%)	Classe
1	Dez/15	Esférico	0,4000	0,5145	4,6000	0,9690	22,26	fraca
	Jan/16	Esférico	0,3958	0,5170	4,9000	0,9810	23,45	fraca
	Mar/16	Esférico	0,5710	0,7120	4,5000	0,9330	19,80	fraca
	Jul/16	Esférico	0,5921	0,7740	5,0000	0,9760	23,51	fraca
	Set/16	Esférico	0,6100	0,8070	5,2000	0,9640	24,41	fraca
	Dez/16	Esférico	0,6018	0,8680	4,8000	0,9840	30,67	moderada
2	Dez/15	-	-	-	-	-	-	-
	Jan/16	-	-	-	-	-	-	-
	Mar/16	Esférico	0,1721	0,8120	3,6173	0,7430	78,80	forte
	Jul/16	Gaussiano	0,2151	0,8540	3,3429	0,9790	74,81	moderada
	Set/16	Gaussiano	0,1367	0,8600	2,5808	0,9010	84,10	forte
	Dez/16	Gaussiano	0,1220	0,8630	3,0831	0,9730	85,86	forte

Co: efeito pepita; Co+C: patamar; Ao: alcance; R²: coeficiente de determinação; RD: razão de dependência espacial [Co/(Co+C) 100]. Parâmetros seguidos de traço indicam efeito pepita puro da avaliação.

A dependência espacial, segundo a classificação de Cambardella et al. (1994), na área 1, da primeira a quinta avaliação, permaneceu fraca, tornando-se moderada na última avaliação. A área 2 apresentou uma dependência moderada na quarta avaliação e nas demais ajustadas obteve-se forte dependência espacial.

Segundo Journel; Huijbregts (1978) os valores da relação $Co/(Co+C)$ abaixo de 0,8 (ou 80%) indicam distribuição agregada da variável analisada. No presente estudo, os valores encontrados na área 1 e 2 respeitam esse padrão de agregação. Somente na última avaliação da área 2 obteve valor acima de 0,8, isso em virtude de que doença havia se disseminado em 70% da lavoura, o que indica uma tendência de mudança de padrão de agregado para uniforme das plantas doentes da lavoura, assim obteve-se uma uniformidade de plantas doentes.

Nas figuras 2 e 3 observam-se os mapas de krigagem confeccionados a partir dos dados de intensidade

da fusariose nas áreas de cultivo pimenta-do-reino. Na área 2 observa-se que os focos apresentam no centro as plantas mortas e nas bordas as plantas doentes. Com essa análise visual verifica-se que a doença está sendo disseminada por um fator de curta distância, sendo de planta a planta de acordo com os alcances obtidos (Figura 3). Esse fato poderia ser mais bem observado se houvesse uma maior escala de avaliação, visto que no presente estudo optou-se por trabalhar apenas com três, plantas sadias, doentes e mortas.

Os focos observados nos mapas de krigagem da área 2 apresentam um padrão de alongamento, ou seja, a doença está sendo disseminada por um fator em direção da linha de plantio, de acordo também com valores de alcance. No entanto, não foi possível testar a anisotropia devido à forma retangular das áreas avaliadas.

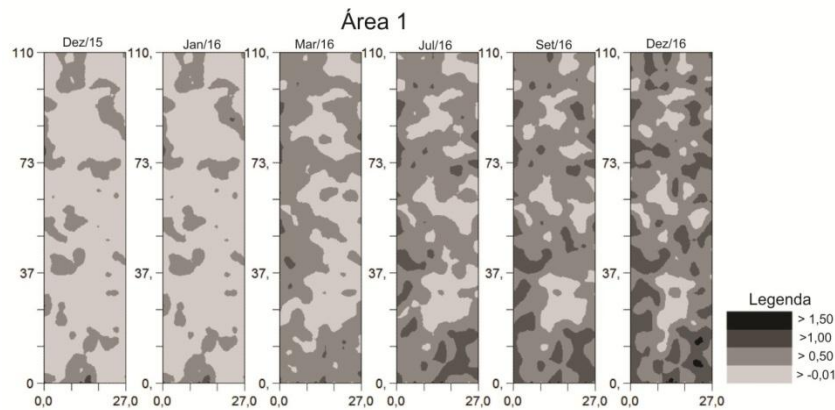


Figura 2. Mapas de isolinhas da área 1 representando a intensidade de fusariose em plantio de pimenta-do-reino em São Mateus, ES.

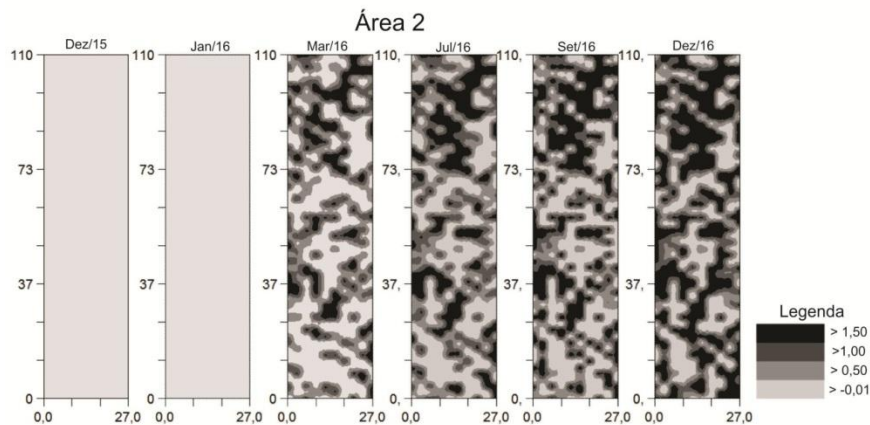


Figura 3. Mapas de isolinhas da área 2 representando a intensidade de fusariose em plantio de pimenta-do-reino em São Mateus, ES.

Quando são contrastadas as metodologias convencionais de estudo espaço-temporal com a geoestatística é possível notar semelhanças dos resultados apresentados e algumas particularidades de cada metodologia analisada.

Na área 1, por meio do índice de dispersão e da análise da lei de Taylor modificada, notou-se que plantas doentes estão distribuídas ao acaso dentro da área de cultivo. Porém pela ADEF observa-se a formação de focos que se coalescem.

Contrastando a área 1 nos resultados da geoestatística observou-se a dependência espacial, ou seja, a formação de focos de plantas doente e mortas, porém uma dependência fraca segundo Cambardella et al. (1994). Semelhante com os resultados observados pela ADEF.

Na área 2 observou-se que o índice de dispersão evoluiu de um padrão de distribuição de plantas doentes ao acaso para agregado, também identificado pela geoestatística. Não foi possível fazer ajuste de modelo na primeira e segunda avaliação, o que mostra a falta de dependência espacial de plantas doentes na área, ou seja, a distribuição ao acaso das mesmas. Na lei de Taylor modificada foi identificada o padrão de distribuição

agregado de plantas doentes, variando de acordo com a incidência. E, por fim, a ADEF indicou os mesmos resultados da área 1. Os resultados obtidos das metodologias convencionais com a geoestatística pode-se fazer as mesmas observações quanto à distribuição espaço-temporal da fusariose em plantas de pimenta-do-reino.

Na análise geoestatística da área 2 foi observado uma dependência espacial constante a partir da segunda avaliação, a qual mostrou-se que os focos são característicos de que a doença está sendo disseminada de planta a planta. A tendência dos focos estarem com maior evidência nas linhas de plantio não foi possível ser evidenciada pela geoestatística devido à conformação da área. Observou-se somente de forma visual nos mapas de krigagem o padrão de alongamento, no qual corroborou com resultados de ADEF.

Confrontando as metodologias já estudadas para a análise espaço-temporal de doenças de plantas com a geoestatística, é possível caracterizar o comportamento espacial da doença. Com auxílio de informações da etiologia do patógeno e hospedeiro, tais informações servirão como base para o manejo da doença na área do plantio, bem como, informações importantes para que seja

possível identificar possíveis fatores de disseminação do patógeno e ainda, propor medidas de prevenção e controle da doença (BLACKSHAW; VERNON, 2006).

A geoestatística ainda oferece algumas informações a mais do que as outras metodologias convencionais, que podem facilitar o entendimento da distribuição da doença e o convívio com o patógeno no cultivo.

Com as metodologias convencionais é possível somente a entrada de dados de incidência de plantas doentes, ou seja, trabalha-se sempre com números binários (planta doente ou sadia). A geoestatística oferece a possibilidade de explorar diferentes classes de números, ou seja, é possível mensurar a severidade de plantas doentes, assim abre-se caminhos para estudar a evolução dos sintomas em alguns patossistemas, podendo quantificar o tempo que o hospedeiro leva desde os primeiros sintomas até a sua morte, por exemplo.

A definição da dependência espacial, calculada pela geoestatística, permite saber até que distância acontece essa dependência, isso por meio do alcance gerado pelo semivariograma, diferente do ID, que não calcula a dependência espacial em escalas múltiplas (LIEBHOLD et al., 1993). Esses mesmos autores, estudando comportamento espacial de insetos, chegaram à conclusão de que a geoestatística é a ferramenta mais adequada para estudo de população quando existe dependência espacial entre os pontos amostrados. Os dados observados neste trabalho com fusariose evidenciam que esta ferramenta é também adequada para estudos epidemiológicos de patógenos habitantes do solo.

O alcance da dependência espacial é a ferramenta que identifica qual a distância que há possibilidade da doença ser disseminada para uma planta sadia. No presente trabalho identificou alcances pequenos, ou seja, uma disseminação de planta a planta, ocorrendo mais evidente na linha de plantio, onde as plantas estão mais próximas a outras.

O alcance calculado no semivariograma representa a influência dos pontos amostrados sobre sua vizinhança (PRA et al., 2011), assim ele determina a distância adequada entre os pontos de amostragem (VALERIANO; PRADO, 2001; SHAO-KUI et al., 2005) e faz análise do intervalo do tempo em que as avaliações são realizadas (LEAL et al., 2010). No presente trabalho a distância entre pontos mostrou-se suficiente e o intervalo entre as avaliações mostrou-se adequado, pois no decorrer das avaliações não houve diminuição relevante ou acentuada no alcance.

Estudos utilizando a geoestatística permitiu à caracterização da distribuição espacial para diversas doenças do citros, e fundamentaram o estabelecimento de medidas de controle como o tamanho do raio de erradicação de plantas, calculado por meio do alcance da dependência espacial (BERGAMIN FILHO et al., 2002; LEAL et al., 2010; OLIVEIRA et al., 2016).

A geoestatística oferece a vantagem de poder relacionar variáveis. A fusariose da pimenta-do-reino parece estar relacionada com fatores ambientais, umidade e temperatura, o que ocorre na maioria das doenças fúngicas (BERGAMIN FILHO et al., 2002). Por meio da geoestatística é possível relacionar a incidência de doença com uma ou mais variáveis, identificando uma possível

relação, o que não é possível verificar pelas metodologias convencionais estudadas nesse trabalho.

A possibilidade de relacionar a incidência da doença com outras variáveis, como umidade do solo, altitude, fertilidade e física do solo, abre caminhos para estudar a disseminação da doença de uma forma mais precisa. Uchôa et al. (2011) em seu trabalho observaram uma relação positiva da severidade da sigatoka negra com teores de enxofre no solo.

As metodologias convencionais de estudo espacial fazem a obtenção de dados da forma censitária, ou seja, necessita-se a amostragem de todas as plantas da área para se estudar a distribuição espacial. A geoestatística, por meio da interpolação por krigagem de dados, permite trabalhar com malha amostral, sem a necessidade de avaliar todas as plantas da área a ser estudada. No entanto essas malhas amostrais necessitam de estudos prévios que comprovem a acurácia dos dados amostrados (MONTANARI et al., 2012).

A definição de tamanho de malhas amostrais é amplamente estudada para características físicas e químicas do solo. Cherubin e colaboradores (2015), estudaram a dinâmica do fósforo (P) e potássio (K) em latossolo vermelho no qual identificaram que o uso de malhas amostrais menores ou iguais a 100x100 m, com uma ou mais amostras por hectare, é indicado para caracterizar a variabilidade espacial de P e K em áreas sob agricultura de precisão no Estado do Rio Grande do Sul.

Os mapas gerados pela krigagem de dados na geoestatística permite a visualização de uma forma mais dinâmica da doença na área, e ainda, com a possibilidade de avaliação da severidade e a correlação com outras variáveis facilita o estudo de possíveis meios de disseminação da doença na área, o que com as metodologias convencionais se torna mais difícil. Várias análises podem ser realizadas por meio dos mapas de krigagem gerados para beneficiar um agricultor de forma eficaz e abrangente na gestão da doença das plantas (AZAHAR et al., 2011). A Análise de Áreas Isópatas (AAI) é uma metodologia convencional de estudos da epidemiologia que também permite a criação de mapas. Essa análise mostra o padrão geral das plantas sintomáticas, delineamento de focos, fonte primária de inóculo e a direção de disseminação da epidemia (VIDAL et al., 2004).

O uso de softwares específicos para se trabalhar com a geoestatística também são tidos como uma vantagem dessa análise, que ao contrário das metodologias convencionais, não apresentam essa especificidade. No entanto ainda se tem uma discussão quanto à escolha desse software. Alguns softwares utilizados para análise geoestatística calculam o ajuste do semivariograma de forma automática, enquanto que outros softwares é necessário o operador faça o ajuste, o que torna o trabalho as vezes mais demorado.

A geoestatística ainda oferece algumas informações que ajudam no manejo da área após o estudo da dinâmica espaço-temporal da doença. A criação de zonas de manejo é um conceito muito utilizado na agricultura de precisão. De acordo com Molin (2002) a zona de manejo consiste na delimitação de áreas compatíveis para realização de manejo, que resume em dividir a área em talhões homogêneos. Conceito esse

bastante utilizado para a aplicação de defensivos e fertilizantes em taxas variáveis (LÓPEZ-LOZANO et al., 2010).

Para as áreas de cultivo de pimenta-do-reino com a presença de fusariose, a criação de zonas de manejo é primordial para diminuir a disseminação da fusariose. A colheita e as podas que são os momentos de maior ação antrópica na lavoura, devem ser realizadas seguindo os conceitos da zona de manejo. Delimitar talhões conforme a incidência de plantas doentes, começando os tratamentos culturais de talhões menos infestados.

Apesar da geoestatística ser uma ferramenta pouco utilizada nos estudos epidemiológicos e de manejo de doença de plantas, alguns trabalhos já tem mostrado sua eficiência. Almeida et al. (2011) avaliaram a dependência espacial da *Phytophthora nicotianae* em canteiros de cebola, onde o mapa confeccionado proporcionou uma localização entre os canteiros com incidência do fungo diferenciada, podendo assim sugerir estratégias de medidas de controle com maior eficiência.

Byamukama e colaboradores (2014) utilizaram a geoestatística para estudar o padrão de distribuição do mosqueado do feijoeiro (BPMV) no feijão, e ainda, identificar potenciais bióticos e abióticos que estejam relacionados na disseminação da doença.

CONCLUSÕES

Ambas as metodologias estudadas mostraram que a fusariose em pimenta-do-reino tem distribuição em agregado na área, ocorrendo uma disseminação de planta a planta.

A análise da geoestatística está de acordo com os resultados apresentados pelas metodologias convencionais, apresentando potencial para ser utilizada no estudo espacial de doença de plantas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, F.A.; BARRETO, M.; BARBOSA, J.C.; COSTA, F.M. Distribuição espacial de *Phytophthora nicotianae* e reação de cultivares de cebola ao fungo. *Summa Phytopathologica*, v.37, n.1, p.13-17, 2011.

AZAHAR, T. M.; MUSTAPHA, J. C.; MAZLIHAM, S.; BOURSIER, P. Temporal Analysis of Basal Stem Rot Disease in Oil Palm Plantations: An Analysis on Peat Soil. *International Journal of Engineering & Technology*. v. 11 n. 03, p. 96-101. 2011.

BERGAMIN FILHO, A., HAU, B., AMORIM, L. & LARANJEIRA, F. F. Análise espacial de epidemias. Passo Fundo, *Revisão Anual de Patologia de Plantas*, v. 2, n. 1, p. 155-218, 2002.

BERGAMIN FILHO, A., HAU, B., AMORIM, L., & JESUS JUNIOR, W.C. Análise espacial de epidemias. In: VALE, F.X.R., JESUS JUNIOR, W.C. & ZAMBOLIM, L. (Eds.) *Epidemiologia aplicada ao manejo de doenças de plantas*. Belo Horizonte: Editora Perfíl, 2004. pp. 193-240.

BURROUGH, P. A, MC DONNELL R. A. 2006. *Principles of geographical systems*. New York: Oxford University Press. 333p.

BLACKSHAW, R.P.; VERNON, R.S. Spatio temporal stability of two beetle populations in non-farmed habitats in an agricultural landscape. *Journal of Applied Ecology*, v.43, n.4, p.680-689, 2006. doi: 10.1111/j.1365-2664.2006.01167.x.

BYAMUKAMA, E., EGGENBERGER, S. K., COELHO-NETTO, R. A., ROBERTSON, A. E., AND NUTTER, F. W., JR. Geospatial and temporal analyses of Bean pod mottle virus epidemics in soybean at three spatial scales. *Phytopathology*, v. 104, n. 4, p. 365-378, 2014.

CAMBARDELLA, C. A.; MOORMAN, T. B.; NOVAK, J. M.; PARKIN, T. B.; KARLEN, D. L.; TURCO, R. F.; KONOPKA, A. E. Field-scale variability of soil properties in Central Iowa Soils. *Soil Science Society of American Journal*, v.58, n. 5, p.1501-1511, 1994.

CAMPBELL, C.L.; MADDEN, L.V. *Introduction to Plant Disease Epidemiology*. New York. John Wiley & Sons. 1990.

CHERUBIN, M. R.; SANTIL, A. L.; EITELWEIN, M. T.; AMADO, T. J. C.; SIMON, D. H.; DAMIAN, J. M. Dimensão da malha amostral para caracterização da variabilidade espacial de fósforo e potássio em Latossolo Vermelho. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 50, n.2, p.168-177, fev. 2015. DOI: 10.1590/S0100-204X2015000200009

DUARTE, M. L. R.; ALBUQUERQUE, F. C.; ALBUQUERQUE, P. S. B. Doenças da Pimenta-do-reino. In: BERGAMIN FILHO, A.; KIMATI, H.; AMORIM, L. (Ed.). *Manual de Fitopatologia: Doenças das Plantas Cultivadas*. São Paulo: Agronômica Ceres, 2005. cap. 58, p. 507-522.

GONTIJO, I.; SANTOS, E. O. J.; PARTELLI, F. L.; GONTIJO, A. B. P. L.; PIRES, F. R. Determination of homogeneous zones for liming recommendations of black pepper using geostatistics, *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. v.20, n.10, p.918-924, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v20n10p918-924>

JESUS JÚNIOR, W.C.; BASSANEZI, R.B. Análise de dinâmica e estrutura de focos da Morte Súbita dos Citros. *Fitopatologia Brasileira*, Brasília, v.29, n.4, p.399-405, 2004.

JOURNEL, A.G.; HUIJBREBTS, C.J. *Mining geostatistics*. Academic Press, London. 1978.

KIMATI, H.; AMORIM, L.; BERGAMIN FILHO, A.; CAMARGO, L.E.A.; REZENDE, J.A.M. *Manual de Fitopatologia: Doenças das plantas cultivadas*. 3.ed. São Paulo: Agronômica Ceres Ltda, 1997. 725p.

LARANJEIRA, F.F. *Epidemiologia da clorose variegada dos citros no estado de São Paulo*. 2002, 158f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Departamento de Fitopatologia - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.

LEAL, R. M.; BARBOSA, J. C.; COSTA, M. G.; BELASQUE JUNIOR, J.; YAMAMOTO, P. T.;

- DRAGONE, J. Distribuição espacial de Huanglongbing (Greening) em citros utilizando a geoestatística. *Revista Brasileira de Fruticultura*, v. 32, n. 3, p. 808-818, 2010.
- LIEBHOLD, A. M.; ROSSI, R. E.; KEMP, W. P. Geostatistics and geographic information systems in applied insect ecology. *Annu. Rev. Entomol.* v. 38, n. 1, p. 3003-27, 1993
- LÓPEZ-LOZANO, R.; CASTERAD, M.A.; HERRERO, J. Site-specific management units in a commercial maize plot delineated using very high resolution remote sensing and soil properties mapping. *Computers and Electronics in Agriculture, Amsterdam*. v. 73, p. 219–229, 2010.
- MOLIN, J. P. Definição de unidades de manejo a partir de mapas de produtividade. *Engenharia Agrícola*, v. 22, n. 1, p. 83-92, 2002.
- MONTANARI, R.; SOUZA, G.S.A.; PEREIRA, G.T.; MARQUES JUNIOR, J.; SIQUEIRA, D.S.; SIQUEIRA, G.M. The use of scaled semivariograms to plan soil sampling in sugarcane fields. *Precision Agriculture*, v. 13, p.542-552, 2012. DOI: 10.1007/ s11119-012-9265-6.
- NELSON, S.C. A simple analysis of disease foci. *Phytopathology*, Saint Paul, v.86, n.4, p.332–339, 1996.
- NUTTER F.W.; JR., WEGULO, S.N.; MARTINSON, C.A. Use of geographic information systems to generate disease prevalence, incidence and severity maps for seed corn production in 1992. *Phytopathology*, v. 85, n. 3, p. 1173, 1995.
- OLIVEIRA, F. J.; FARIAS, P. R. S.; SILVA, A. G.; RODRIGUES, K. C. V.; ARAUJO, F. C. B. Distribuição espacial da leprose dos citros na Amazônia Oriental. *Revista Ciência Agronômica*, v. 47, n. 1, p. 56-68, 2016.
- OLIVEIRA, R. B.; LIMA, J. S. S.; XAVIER, A. C.; PASSOS, R. R.; SILVA, S. A.; SILVA, A. F. Comparação entre métodos de amostragem do solo para recomendação de calagem e adubação do cafeeiro conilon. *Engenharia Agrícola. Jaboticabal*. v. 28, n. 1, p. 176-186. 2008.
- PRA, E. D.; GUEDES, J. V. C.; CHERMAN, M. A.; JUNG, A. H.; SILVA, S. J. P.; RIBAS, G. G. Uso da geoestatística para caracterização da distribuição espacial de larvas de *Diloboderus abderus*. *Ciência Rural*, v.41, n.10, p.1689-1694, 2011.
- SHAO-KUI, G. et al. Spatial heterogeneity and population risk analysis of cotton bollworm, *Helicoverpa armigera*, in China. *Insect Science*, v. 12, p. 255-262, 2005. doi: 10.1111/j.1005-295X.2005.00032.x.
- SILVA, B. S. O.; DRUMOND NETO, A. P.; HERZOG, T. T.; CEZANA, D. C.; SILVA, M. B. Distribuição espacial e temporal da fusariose em pimenta-do-reino. III Simpósio de geoestatística aplicada em ciências agrárias. *Anais.. Botucatu-SP*. 08 a 10 de maio de 2013.
- SILVA NETO, S. P.; SANTOS, A. C.; LEITE, R. L. L.; DIM, V. P.; CRUZ, R. S.; PEDRICO, A.; NEVES NETO, D. N. Análise espacial de parâmetros da fertilidade do solo em região de ecótono sob diferentes usos e manejos. *Semina: Ciências agrárias*, v. 32. n. 2. p. 541-552. 2011.
- SILVA, E.A., SILVA, J.F.V., MONICO, J.F.G. & HIROMOTO, D.M. *Perspectivas no manejo e controle localizado de doenças das culturas: uma abordagem no manejo do nematóide de cisto da soja*. In: Borém, A., Giúdice, M.P., Queiroz, D.M., Mantovani, E.C., Ferreira, L.R., Vale, F.X.R. & Gomide, R.L. (Eds.) *Agricultura de Precisão*, 2000. pp. 409-453.
- UCHÔA, C. N.; POZZA, E. A.; POZZA, A. A. A.; MORAES, W. S. Modelagem geoestatística da sigatoka negra e sua relação com a fertilidade do solo. *Bioscience Journal*. v. 27, n. 3, p. 357-362, 2011.
- VALERIANO, M.M.; PRADO, H. Técnicas de geoprocessamento e de amostragem para o mapeamento de atributos anisotrópicos do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.25, p.997-1005, 2001.
- VIDAL, C.A.; LARANJEIRA, F.F.; NASCIMENTO, A.S.; HABIBE, T.C. Distribuição espacial da meleira do mamoeiro em zonas de trópico úmido e trópico semi-árido. *Fitopatologia Brasileira*. Brasília. v. 29, n.3, p. 276-281. 2004.
- VIEIRA, S. R.; HATFIELD, J.L.; NIELSEN, D.R.; BIGGAR, J.W. Geostatistical theory and application to variability of some agronomical properties. *Hilgardia*, v. 51, n. 3, p. 1-75, 1983.

CONCLUSÕES GERAIS

A fusariose em pimenta-do-reino foi introduzida na área por meio de uma disseminação de longa distância, caracterizando uma distribuição ao acaso, e, posteriormente evoluindo para agregado, envolvendo assim fatores de disseminação a curta distância, evidenciados na linha de plantio.

A análise da geoestatística está de acordo com os resultados apresentados pela Lei de Taylor modificada, Índice de dispersão e Análise e dinâmica da estrutura de focos, apresentando potencial para ser utilizada no estudo espacial de doença de plantas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, F.A.; BARRETO, M.; BARBOSA, J.C.; COSTA, F.M. Distribuição espacial de *Phytophthora nicotianae* e reação de cultivares de cebola ao fungo. **Summa Phytopathologica**, v.37, n.1, p.13-17, 2011.

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M. Sparovek G. Koppen's climate classification map for Brazil. **Meteorol Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-28. 2013. DOI: <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>

ALVES, M.; POZZA, E. A.; SILVA, F. M.; MORAES, J. C.; OLIVEIRA, M. S.; SOUZA, Z. M.; FIGUEIREDO, C. A. P. Análise geoestatística da variabilidade espacial da broca-do-café (*Hypothenemus hampei*) (Coleoptera: Scolytidae) e da cercosporiose (*Cercospora coffeicola* Berk e Cke.) do cafeeiro (*Coffea arabica* L.). In: 5º CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROINFORMÁTICA. **Resumos...**Londrina: SBI-AGRO. p. 8. 2005.

ALVES, M. C.; POZZA, E. A.; MACHADO, J. C.; ARAÚJO, D. V.; TALAMINI, V.; OLIVEIRA, M. S. Geoestatística como metodologia para estudar a dinâmica espaço-temporal de doenças associadas a *Colletotrichum* spp. transmitidos por sementes. **Fitopatologia Brasileira**, v. 31, n.6, p. 557-563, 2006.

AMADO, T. J. C.; PONTELLI, C. B.; SANTI, A. L.; VIANA, J. H. M.; SULZBACH, L. A. S. Variabilidade espacial e temporal da produtividade de culturas sob sistema de plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, n. 8, p. 1101-10, 2007. DOI: 10.1590/S0100-204X2007000800006

AZAHAR, T. M.; MUSTAPHA, J. C.; MAZLIHAM, S.; BOURSIER, P. Temporal Analysis of Basal Stem Rot Disease in Oil Palm Plantations: An Analysis on Peat Soil. **International Journal of Engineering & Technology**. v. 11 n. 03, p. 96-101. 2011.

BEDENDO, I. P. Ambiente e doença. In: BERGAMIN FILHO, A., KIMATI, H., AMORIM, L. (Ed.) **Manual de fitopatologia: Princípios e conceitos**. São Paulo. Agronômica Ceres, 2005. pp.331-342.

BERGAMIN FILHO, A., HAU, B., AMORIM, L., LARANJEIRA, F. F. Análise espacial de epidemias. Passo Fundo, *Revisão Anual de Patologia de Plantas*, v. 2, n. 1, p. 155-218, 2002.

BERGAMIN FILHO, A., HAU, B., AMORIM, L., & JESUS JUNIOR, W.C. Análise espacial de epidemias. In: VALE, F.X.R., JESUS JUNIOR, W.C. & ZAMBOLIM, L. (Eds.) *Epidemiologia aplicada ao manejo de doenças de plantas*. Belo Horizonte: Editora Perffil, 2004. pp. 193-240.

BLACKSHAW, R.P.; VERNON, R.S. Spatio temporal stability of two beetle populations in non-farmed habitats in an agricultural landscape. **Journal of Applied Ecology**, v.43, n.4, p.680-689, 2006. DOI: 10.1111/j.1365-2664.2006.01167.x.

BURROUGH, P. A, MC DONNELL R. A. **Principles of geographical systems**. New York: Oxford University Press, 2006. 333p.

BYAMUKAMA, E.; EGGENBERGER, S. K.; COELHO-NETTO, R. A.; ROBERTSON, A. E.; NUTTER, F. W., JR. Geospatial and temporal analyses of Bean pod mottle virus epidemics in soybean at three spatial scales. **Phytopathology**, v. 104, n. 4, p. 365-378, 2014.

CAMBARDELLA, C. A.; MOORMAN, T. B.; NOVAK, J. M.; PARKIN, T. B.; KARLEN, D. L.; TURCO, R. F.; KONOPKA, A. E. Field-scale variability of soil properties in

Central Iowa Soils. **Soil Science Society of American Journal**, v.58, n. 5, p.1501-1511, 1994.

CAMPBELL, C.L.; MADDEN, L.V. **Introduction to Plant Disease Epidemiology**. New York. John Wiley & Sons. 1990.

CARNAÚBA ,J. P.; SOBRAL, M. F.; AMORIM, E. P. R.; SILVA, I. O. Ocorrência de *Fusarium solani* sp. *piperis* em *Pipper nigrum* no estado de Alagoas. **Summa Phytopathologica**, v. 33, n.1, p.96-97, 2007.

CARVALHO, F. I. F.; LORENCETTI, C.; BENIN, G. **Estimativas e implicações da correlação no melhoramento vegetal**. Pelotas: UFPel, 2004. 142p.

CHERUBIN, M. R.; SANTIL, A. L.; EITELWEIN, M. T.; AMADO, T. J. C.; SIMON, D. H.; DAMIAN, J. M. Dimensão da malha amostral para caracterização da variabilidade espacial de fósforo e potássio em Latossolo Vermelho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 50, n.2, p.168-177, fev. 2015. DOI: 10.1590/S0100-204X2015000200009

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Conjuntura pimenta-do-reino no Espírito Santo**, Agosto de 2015. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>> Acesso em: 14 de Abril de 2016.

DUARTE, M. L. R.; ALBUQUERQUE, F. C.; ALBUQUERQUE, P. S. B. Doenças da Pimenta-do-reino. In: BERGAMIN FILHO, A.; KIMATI, H.; AMORIM, L. (Ed.). **Manual de Fitopatologia: Doenças das Plantas Cultivadas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 2005. cap. 58, p. 507-522.

GONTIJO, I.; SANTOS, E. O. J.; PARTELLI, F. L.; GONTIJO, A. B. P. L.; PIRES, F. R. Determination of homogeneous zones for liming recommendations of black pepper using geostatistics, **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.20, n.10, p.918-924, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v20n10p918-924>

HAMADA, M.; UCHIDA, T.; TSUDA, M. Ascospore Dispersion of the Causal Agent of Nectria Blight of *Piper nigrum*. **Annals of the Phytopathological Society of Japan**, Pará, v. 54, n. 3, p. 303-308. 1998. DOI: <https://doi.org/10.3186/jjphytopath.54.303>

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Banco de dados. Disponível em: < <http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 14 de Abril de 2016.

IKEDA K. Role of perithecia as an inoculum source for stem rot type of pepper root rot caused by *Fusarium solani* f. sp. *piperis* (teleomorph: *Nectria haematococca* f. sp. *piperis*). **Journal of General Plant Pathology**, v. 76, n. 4, p. 241–246, 2010.

JESUS JÚNIOR, W.C.; BASSANEZI, R.B. Análise de dinâmica e estrutura de focos da Morte Súbita dos Citros. **Fitopatologia Brasileira, Brasília**, v.29, n.4, p.399-405, 2004.

JOURNEL, A. G., HUIJBREBTS, C.J. **Mining geostatistics**. London: Academic Press. 1978. 600p.

KIMATI, H.; AMORIM, L.; BERGAMIN, A. FILHO.; CAMARGO, L.E.A.; REZENDE, J.A.M. **Manual de Fitopatologia: Doenças das plantas cultivadas**. 3.ed. São Paulo: Agronômica Ceres Ltda, 1997. 725p.

Köppen, W. 1948. **Climatologia: con un estudio de los climas de la tierra**. México, Fondo de Cultura Econômica, 1948. 479p.

Laranjeira, F.F. **Epidemiologia da clorose variegada dos citros no estado de São Paulo**. 2002, 158f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Departamento de Fitopatologia - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.

LEAL, R. M.; BARBOSA, J. C.; COSTA, M. G.; BELASQUE JUNIOR, J.; YAMAMOTO, P. T.; DRAGONE, J. Distribuição espacial de Huanglongbing (Greening) em citros utilizando a geoestatística. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 32, n. 3, p. 808-818, 2010.

LIBARDI, P.L.; MANFRON, P.A.; MORAES, S.O.; TUON, R.L. Variabilidade da umidade gravimétrica de um solo hidromórfico. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v.20, n.1, p.1-12, 1996.

LIEBHOLD, A. M.; ROSSI, R. E.; KEMP, W. P. Geoestatistics and geographic information systems in applied insect ecology. **Annu. Rev. Entomol.** v. 38, n. 1, p. 3003-27, 1993

LÓPEZ-LOZANO, R.;CASTERAD, M.A.; HERRERO, J. Site-specific management units in a commercial maize plot delineated using very high resolution remote sensing and soil properties mapping. **Computers and Electronics in Agriculture**, *Amsterdam*. v. 73, p. 219–229, 2010.

MAFFIA, L. A.; MIZUBUTI, E. S. G. Epidemiologia de doenças radiculares. In: MICHEREFF SJ; DOMINGOS EGT; ANDRADE MM. **Ecologia e manejo de patógenos radiculares em solos tropicais**. Recife: UFRPE, Imprensa Universitária. 2005, p. 207-246.

MOLIN, J. P. Definição de unidades de manejo a partir de mapas de produtividade. **Engenharia Agrícola**, v.22, n. 1, p. 83-92, 2002.

MONTANARI, R.; SOUZA, G.S.A.; PEREIRA, G.T.; MARQUES JUNIOR, J.; SIQUEIRA, D.S.; SIQUEIRA, G.M. The use of scaled semivariograms to plan soil sampling in sugarcane fields. **Precision Agriculture**, v. 13, p.542-552, 2012. DOI: 10.1007/s11119-012-9265-6.

Nelson, S.C. A simple analysis of disease foci. **Phytopathology**, Saint Paul, v.86, n.4, p.332–339, 1996.

Nutter F.W.,Jr., Wegulo, S.N. & Martinson, C.A. Use of geographic information systems to generate disease prevalence, incidence and severity maps for seed corn production in 1992. **Phytopathology**, v. 85, n. 3, p. 1173, 1995.

OLIVEIRA, F. J.; FARIAS, P. R. S.; SILVA, A. G.; RODRIGUES, K. C. V.; ARAUJO, F. C. B. Distribuição espacial da leprose dos citros na Amazônia Oriental. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 47, n. 1, p. 56-68, 2016.

OLIVEIRA, R. B.; LIMA, J. S. S.; XAVIER, A. C.; PASSOS, R. R.; SILVA, S. A.; SILVA, A. F. Comparação entre métodos de amostragem do solo para recomendação de calagem e adubação do cafeeiro conilon. **Engenharia Agrícola. Jabuticabal**. v. 28, n. 1, p. 176-186. 2008.

PIMENTEL-GOMES F, GARCIA CH. **Estatística aplicada a experimentos agrônômicos e florestais: Exposição com exemplos e orientações para uso de aplicativos**. Piracicaba: FEALQ, v. 11, 2002, 309p.

PRA, E. D.; GUEDES, J. V. C.; CHERMAN, M. A.; JUNG, A. H.; SILVA, S. J. P.; RIBAS, G. G. Uso da geoestatística para caracterização da distribuição espacial de larvas de *Diloboderus abderus*. **Ciência Rural**, v.41, n.10, p.1689-1694, 2011.

ROBERTO, S. R.; FARIAS, P. R. S.; BERGAMIM FILHO, A. Geoestatistical analysis of spatial dynamics of citrus variegated chlorosis. **Fitopatologia Brasileira**, v. 27, n. 6, p. 599-604, 2002.

SHAHNAZI, S.; MEON, S.; VADAMALAI, G.; AHMAD, K.; NEJAT, N. Morphological and molecular characterization of *Fusarium* spp. associated with yellowing disease of black pepper (*Piper nigrum* L.) in Malaysia. **Journal of General Plant Pathology**, v. 78, n. 3, p. 160-169, 2012.

SHAO-KUI, G.; RAYMOND, I. C.; ZU-FEI, M. A.; GUANG-XUE, Z.; DIAN-MO, L. I. Spatial heterogeneity and population risk analysis of cotton bollworm, *Helicoverpa armigera*, in China. **Insect Science**, v. 12, n. 4, p. 255-262, 2005. DOI: 10.1111/j.1005-295X.2005.00032.x.

SILVA NETO, S. P.; SANTOS, A. C.; LEITE, R. L. L.; DIM, V. P.; CRUZ, R. S.; PEDRICO, A.; NEVES NETO, D. N. Análise espacial de parâmetros da fertilidade do solo em região de ecótono sob diferentes usos e manejos. **Ciências agrárias**, v. 32, n. 2, p. 541-552, 2011.

SILVA, B. S. O.; DRUMOND NETO, A. P.; HERZOG, T. T.; CEZANA, D. C.; SILVA, M. B. Distribuição espacial e temporal da fusariose em pimenta-do-reino. III Simpósio de geoestatística aplicada em ciências agrárias. **Anais..** Botucatu-SP. 08 a 10 de maio de 2013.

SILVA, E.A., SILVA, J.F.V., MONICO, J.F.G. & HIROMOTO, D.M. **Perspectivas no manejo e controle localizado de doenças das culturas: uma abordagem no manejo do nematóide de cisto da soja**. In: Borém, A., Giúdice, M.P., Queiroz, D.M., Mantovani, E.C., Ferreira, L.R., Vale, F.X.R. & Gomide, R.L. (Eds.) Agricultura de Precisão, 2000, p. 409-453.

TREMACOLDI, C.R. **Principais doenças fúngicas da pimenteira-do-reino no Estado do Pará e recomendações de controle**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental. 2010. 23p. (Documentos, 367).

TRINDADE, D. R.; POLTRONIERI, L. S. DOENÇAS DA PIMENTA-DO-REINO. IN: KIMATI, H.; AMORIM, L; BERGAMIN FILHO, A.; CAMARGO, L E. A.; REZENDE, J. A. M. **Manual de fitopatologia**. 3 ed. São Paulo: Agronômica ceres. v 2. 1997.537-539p.

UCHÔA, C. N.; POZZA, E. A.; POZZA, A. A. A.; MORAES, W. S. Modelagem geoestatística da sigatoka negra e sua relação com a fertilidade do solo. **Bioscience Journal**, v. 27, n. 3, p. 357-362, 2011.

VALE, F. X. R.; JESUS JUNIOR; W. C., ZAMBOLIM, L. **Epidemiologia aplicada ao manejo de doenças de plantas**. Belo Horizonte: Perfil. 2004. 532p.

VALERIANO, M.M.; PRADO, H. Técnicas de geoprocessamento e de amostragem para o mapeamento de atributos anisotrópicos do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.25, n. 4, p.997-1005, 2001.

VAZ, A. B; ELIZEI, V. G.; COSTA, S. S.; PFENNING, L. H. VENTURA, J. A. First report of sexual reproduction of *Fusarium solani* f. sp. *piperis* in Bahia, Brasil. **APS Journals**, v. 96, n. 10, p. 1581, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1094/PDIS-05-12-0469-PDN>

VIDAL, C.A.; LARANJEIRA, F.F.; NASCIMENTO, A.S.; HABIBE, T.C. Distribuição espacial da meleira do mamoeiro em zonas de trópico úmido e trópico semi-árido. **Fitopatologia Brasileira**. Brasília. v. 29, n.3, p. 276-281. 2004.

VIEIRA, S.R.; GUEDES, O.F.; CHIBA, M. K.; MELLIS, E. V.; DECHEN, S. C. F.; MARIA, I. C. Variabilidade espacial dos teores foliares de nutrientes e da produtividade da soja em dois anos de cultivo em um Latossolo Vermelho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 5, p. 1503-1514, 2010.

VIEIRA, S. R.; HATFIELD, J.L.; NIELSEN, D.R.; BIGGAR, J. W. Geostatistical theory and application to variability of some agronomical properties. **Hilgardia**, v. 51, n. 3, p. 1-75, 1983.

ZACCARDELLI, M.; VITALE, S.; LUONGO, L.; MERIGHI, M.; CORAZZA, L. Morphological and molecular characterization of *Fusarium solani* Isolates. **J. Phytopathology**, v. 156, n. 9, p.534-541, 2008.

ZIMBACK, CRL. 2001. **Análise espacial de atributos químicos de solos para fins de mapeamento da fertilidade do solo.** Botucatu: Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista. 144p. (Tese livre-docência).