

Análise geoestatística da distribuição espacial do Amarelecimento Fatal do dendezeiro no nordeste paraense

Tiago de Melo Sales

Resumo - O amarelecimento fatal do dendezeiro (AF) é a doença que mais traz riscos ao cultivo dessa palmeira no Brasil. Apesar dos estudos acerca do AF serem realizados há décadas, os resultados obtidos até o momento não são conclusivos acerca de sua etiologia. A caracterização da distribuição espacial de determinada doença pode dar indícios de seu agente causal e proporcionar conhecimento que colabore com o desenvolvimento de formas de controle. O objetivo deste estudo foi elucidar como o AF se distribui em plantios no nordeste paraense e estabelecer um modelo geoestatístico que melhor descreva como a doença se comporta no campo, bem como auxiliar na definição de sua natureza etiológica. Métodos geoestatísticos foram utilizados na análise da distribuição espacial do Amarelecimento Fatal em plantações no município de Moju, Estado do Pará. Foram analisadas oito parcelas com diferentes níveis de plantas afetadas pela doença, cujos dados de presença e ausência foram utilizados na confecção de semivariogramas ajustados aos modelos esférico e linear. Sete parcelas tiveram melhor ajuste ao modelo esférico e uma se adequou ao modelo linear. Os variogramas demonstraram comportamento de agregação, sendo melhor ajustado ao modelo esférico e ocorrência de anisotropia em alguns casos, indicando direção preferencial de disseminação da doença. Os resultados indicaram moderada dependência espacial em plantios com ocorrência menor que 20% de plantas afetadas. O raio de influência de cada planta doente variou de 18 a 50 m. O comportamento da doença no campo reforçou a hipótese de origem biótica.

Termos para indexação: Dendê, semivariograma, podridão-da-flecha, Krigagem, *Elaeis guineensis*.

1. Introdução

Hoje há uma tendência mundial de se buscar fontes combustíveis mais limpas e renováveis, em substituição ao modelo baseado unicamente no petróleo. Nesse contexto os chamados biocombustíveis, entre eles o biodiesel, ganham cada vez mais destaque e se tornam o centro das atenções mundiais, pela proposta de eficiência econômica e ambiental. No Brasil essa tendência pela agroenergia se mostra bastante avançada com o sucesso do etanol combustível e mais recentemente a discussão sobre o biodiesel.

Se por um lado a cadeia do etanol já se mostra bastante evoluída e consolidada, por

31 outro a do biodiesel ainda aparenta ser incipiente. Entre os motivos para isso está a falta de
32 uma matéria-prima mais adequada para a produção do biocombustível. Uma alternativa
33 bastante apropriada para a Amazônia reside numa cultura existente há várias décadas na
34 região, o dendê (*Elaeis guineensis* Jacq.), que encontra na região amazônica um ambiente
35 bastante adequado para seu desenvolvimento.

36 Apesar de ser um grande consumidor dos óleos derivados do dendê, o Brasil ainda não
37 figura como um grande produtor do fruto dessa palmeira no cenário mundial. Em 2008 o país
38 tinha um déficit na produção de óleo de palma da ordem de 120.000 toneladas anuais e o
39 consumo apresenta tendência de crescimento (FNP, 2009). Hoje, como há tempos, existe uma
40 alta demanda pelo óleo de palma para fins alimentícios, entretanto a demanda nos próximos
41 anos deve ser grandemente aumentada em função da crescente importância que a cultura
42 detém para o mercado de biodiesel.

43 Como qualquer cultivo em larga escala, o dendê enfrenta diversos problemas
44 fitossanitários seja de origem patológica ou pelo ataque de insetos praga. Entretanto, um
45 desses problemas, aquele que tem potencial para frear a expansão da cultura na região, ainda
46 não teve sua etiologia desvendada, o Amarelecimento Fatal (AF). Esta doença é de ocorrência
47 exclusivamente latino-americana e passou a trazer enormes prejuízos para o cultivo de dendê
48 no Pará a partir da década de 1980, quando foi responsável pela erradicação de mais de dois
49 mil hectares de dendezaís.

50 Mesmo com mais de 30 anos de pesquisa acerca das causas da doença, o AF continua
51 sem causa esclarecida. Existem estudos em diversas áreas como entomologia, fitopatologia,
52 solos e genética, entre outras. Apesar disso, a doença continua sem etiologia definida e isso
53 torna as ações de combate ineficientes. Essa incerteza acerca da causa representa um entrave a
54 expansão da cultura no estado do Pará e pode por em risco todo o investimento que vem
55 sendo feito na cadeia produtiva do dendê.

56 Um fator que tem dificultado estudos conclusivos acerca das causas do AF é grande
57 variabilidade de sintomas que ocorrem nos plantios da América Latina, pois ainda não se sabe
58 se as enfermidades que atingem o dendezeiro tem a mesma causa ou se são doenças de
59 natureza etiológica diferentes. De fato, desordens que variam regionalmente em sintomas
60 podem ter as mesmas causas, ou seja, os sintomas diferentes podem ser decorrentes da ação
61 de patógenos oportunistas sobre plantas debilitadas pela mesma causa (Chinchilla, 2008). Por
62 isso é importante que sejam realizados estudos levando em consideração as particularidades
63 regionais.

64 Em relação ao AF, algumas pesquisas foram realizadas envolvendo a análise espacial
65 ou temporal e chegaram a conclusões distintas, tanto alegando que a causa estaria ligada a
66 fatores abióticos, como em estudos realizados por Bergamin Filho et al. (1998) e Laranjeira et
67 al. (1998), quanto chegando a conclusões que indicam a causa como sendo biótica, segundo
68 Van de Lande & Zadoks (1999).

69 A caracterização da posição espacial de uma população de organismos sejam
70 patógenos ou plantas doentes pode facilitar o entendimento das relações, por exemplo, entre
71 densidade de inóculo e incidência da doença (Chellemi et al., 1988). Assim, a partir do
72 momento em que se caracteriza a distribuição espacial dos membros de uma população
73 doente, torna-se mais fácil entender o que pode estar causando tal doença. Nesse sentido o
74 estudo da distribuição espacial de doenças tem sido ferramenta bastante utilizada no
75 entendimento da epidemiologia de certas injúrias.

76 O esclarecimento da forma de disseminação do AF é de fundamental importância para
77 o desenvolvimento de estratégias eficientes de combate a doença. Paralelamente, pode dar
78 indicações importantes para o direcionamento das pesquisas para determinar a causa da
79 doença.

80 No presente estudo, a caracterização da distribuição espacial do AF do dendezeiro foi

81 estudada a fim de corroborar com os conhecimentos gerados por pesquisas anteriores e tentar
82 chegar a uma conclusão mais precisa a cerca de como o AF se dissemina no plantio. Além
83 disso, objetivou-se fazer uma análise do comportamento do AF em campo para que se possa
84 chegar a uma conclusão sobre sua natureza etiológica.

85 **2.1 Material e Métodos**

86 **2.1.1 Localização da área de estudo e amostragem das plantas doentes**

87 A área na qual foi realizado o estudo pertence à empresa Marborges S.A, com
88 coordenadas de latitude 1°59'31,57" Sul e longitude 48°36'23,92" Oeste, estando localizada
89 no município de Moju, estado do Pará. O clima do local é do tipo Ami, de acordo com a
90 classificação de Köppen, com precipitação pluviométrica oscilando entre 2.000 e 3.000 mm
91 anuais, mais concentrada entre janeiro e junho. O plantio estudado foi estabelecido no ano de
92 2000, conta com 24 parcelas com cerca de 4825 plantas cada, totalizando 36 ha, em sua
93 maioria. As plantas foram plantadas em triangulo equilátero com espaçamento de 8,75 m.

94 Foram selecionadas oito parcelas para se realizar as análises, baseando-se na
95 localização e quantidade de plantas doentes. As parcelas selecionadas contavam com níveis de
96 incidência da doença distintos para que fosse facilitada a comparação de resultados. As
97 parcelas selecionadas foram A2, A3, B3, B4, C3, C4, D2 e E2. As parcelas A2 e A3 contam
98 com 154 linhas e 36 plantas por linha, enquanto que nos demais existem 36 plantas em cada
99 uma das 134 linhas de plantio. As primeiras plantas doentes foram registradas no ano de 2006,
100 tendo sido usados dados de incidência da doença desta data até Julho de 2010. Foram
101 utilizados planilhas de amostragem da própria empresa para constituir o banco de dados. A
102 amostragem do amarelecimento fatal foi realizada em todas as plantas de cada parcela,
103 seguindo o método de presença (1) e ausência (0).

104 As plantas das parcelas foram georreferenciadas com a utilização de GPS geodésico, e
105 digitalizadas com a utilização do software SURFER 8.0, que foi utilizado também na

106 confecção de mapas de infestação, utilizando parâmetros dos semivariogramas gerados na
 107 análise geoestatística dos dados com o programa R.

108 2.1.2 Análise geoestatística

109 O estudo baseou-se na análise do semi-variograma experimental, descrito por:

$$110 \quad \gamma^*(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(X_i) - (X_i + h)]^2 \quad (1)$$

111 Onde $N(h)$ é o número total de pares de plantas doentes, separados por uma distância
 112 h . O gráfico de $\gamma^*(h)$ versus os valores correspondentes de h , chamado semi-variograma, é
 113 função da distância (h), sendo, portanto, dependente na magnitude e direção da distância. Em
 114 casos de variáveis espacialmente dependentes, espera-se que os incrementos $[Z(x_i)-Z(x_i+h)]$
 115 aumentem com a distância até um ponto de estabilização, um limiar simbolizado por C , que
 116 se aproxima numericamente da variância dos dados. No limiar onde ocorre a estabilização dos
 117 incrementos tem-se o alcance (a) O valor do intercepto do eixo Y é conhecido como efeito
 118 pepita, representado por C_0 , que indica a variabilidade em distâncias menores do que aquelas
 119 utilizadas na amostragem, representando muitas vezes o erro da amostragem (Farias et al.
 120 2002). Utilizando-se os parâmetros definidos no ajuste do semi-variograma (C_0 e C_1) foi
 121 calculada a porção da variabilidade decorrente da dependência espacial, representado por k ,
 122 pela relação de $C_0/(C_0+C_1)$. Os valores obtidos foram classificados em forte dependência
 123 espacial se $k < 25$, moderada dependência espacial se $25 \leq k \leq 75$ e fraca dependência espacial
 124 se $k > 75$ (Cambardella et al., 1994).

125 Dois tipos de modelos de semi-variograma foram ajustados, seguindo a metodologia
 126 utilizada por Van de Lande & Zadoks (1999):

127 1. Linear, indicando aumento da semi-variância linearmente com a distância, dado por

$$128 \quad \gamma(h) = C + b \times h \quad (2)$$

129 onde C é o ponto onde o semi-variograma intercepta o eixo Y , b a inclinação da reta e

130 h a distância do par do semi-variograma calculado (Van de Lande & Zadoks, 1999).

131 2. Modelo esférico no qual a semi-variância aumenta até determinado ponto de
132 estabilização, denominado alcance da dependência espacial, definido por:

$$133 \quad \gamma(h) = C_0 + C_1 \left[\frac{3}{2} \left(\frac{h}{a} \right) - \frac{1}{2} \left(\frac{h}{a} \right)^3 \right], 0 < h < a \quad (3)$$

$$\gamma(h) = C_0 + C_1, h \geq a$$

134 onde h é a distância do par do semi-variograma calculado (Carvalho et al., 2002).

135 Os semi-variogramas foram calculados em diversas direções para que fosse verificada
136 a ocorrência de anisotropia. Desse modo, os cálculos foram feitos em direções
137 perpendiculares as linhas de plantio e paralelos a essas, com o objetivo de identificar a
138 existência de uma direção preferencial para disseminação da doença. O semi-variograma que
139 apresentou o maior alcance, no caso de modelos esféricos, e a menor inclinação, nos modelos
140 lineares, foi escolhido como indicador da direção preferencial (Van de Lande & Zadoks,
141 1999).

142 Na confecção dos mapas de infestação foi utilizado o método de krigagem, que
143 consiste num interpolador para se realizar a estimação de valores de pontos não amostrados.
144 Para estimar valores Z^* num local qualquer não amostrado, x_0 , a estimativa

$$145 \quad Z^*(x_0) = \sum_{i=1}^N \lambda_i Z(x_i), \quad [4]$$

146 Onde N é o número de vizinhos medidos, $Z(x_i)$, utilizados na estimativa da propriedade e λ_i
147 são os ponderadores aplicados a cada $Z(x_i)$, que são selecionados de modo que a estimativa
148 não seja tendenciosa (Farias et al., 2003).

149 A verificação do ajuste aos modelos testado foi feita por meio de validação cruzada,
150 que consiste na comparação de valores estimados e amostrados, utilizando-se a informação
151 contida nos dados amostrados. Neste tipo de análise, o valor da amostra de um determinado
152 ponto de valor conhecido é descartado temporariamente e estimado por meio da krigagem. O

153 valor obtido por meio de estimativa é, então, comparado ao real. Este processo é repetido por
 154 muitas vezes, para os vários pontos amostrados. Dessa forma, é possível verificar-se o quanto
 155 o modelo escolhido se aproxima de representar a distribuição real que ocorre no campo. Após
 156 a análise utilizando validação cruzada, obtiveram-se os valores dos resíduos, que representam
 157 a diferença entre os valores reais e os estimados pelo modelo. O modelo geoestatístico que
 158 apresentou seus resíduos mais próximos de uma distribuição normal foi escolhido como o que
 159 melhor representa o padrão de distribuição espacial da doença (Faraco, 2006; Castro et al.,
 160 2010).

161 2.2 Resultados e discussão

162 A maioria das parcelas teve melhor adequação ao modelo esférico, o qual apresentou
 163 análise de resíduos mais próxima de uma distribuição normal em relação aos outros modelos
 164 testados. A única parcela que não se adequou ao modelo esférico foi A3, tendo melhor ajuste
 165 ao modelo linear (Tabela 1).

166 **Tabela 1.** Modelos e parâmetros dos semi-variogramas melhor ajustados aos dados de plantas afetadas pelo AF
 167 das parcelas do plantio 2000, no município de Moju, PA/2010.

Nível de Infestação		Parâmetros							
Parcela	(%)	C/C_0	C_1	a	Modelo	Dir. ⁽¹⁾	R ²	$K^{(2)}$	Dep. espacial
A2	48,06	0,114	0,044	24	Esférico	Omni	0,79	71,97	Moderada
		0,200	0,390	44	Esférico	30	-	-	Fraca
A3	43,17	0,212	-	-	Linear	Omni	0,92	-	
		0,210	-	-	Linear	-30	0,96	-	
B3	26,76	0,150	0,030	36	Esférico	0	0,60	83,33	Fraca
		0,150	0,030	22	Esférico	Omni	0,53	83,33	Fraca
B4	26,60	0,160	0,032	50	Esférico	0	0,71	83,33	Fraca
		0,160	0,032	32	Esférico	Omni	0,63	83,33	Fraca

C3	17,22	0,110	0,030	40	Esférico	-30	0,69	78,57	Fraca
		0,120	0,020	40	Esférico	Omni	0,59	85,71	Fraca
C4	18,66	0,112	0,045	24	Esférico	-30	0,67	71,33	Moderada
		0,116	0,041	24	Esférico	Omni	0,82	73,88	Moderada
D2	15,44	0,101	0,044	30	Esférico	-30	0,91	69,65	Moderada
		0,100	0,045	24	Esférico	Omni	0,88	68,96	Moderada
E2	10,13	0,067	0,037	18	Esférico	-30	0,86	64,42	Moderada
		0,100	0,045	25	Esférico	Omni	0,88	68,96	Moderada

168 (1)Dir = direção preferencial em graus relativos ao Norte. (2)K = dependência espacial em porcentagem

169

170 *Modelo de Efeito Pepita Puro*

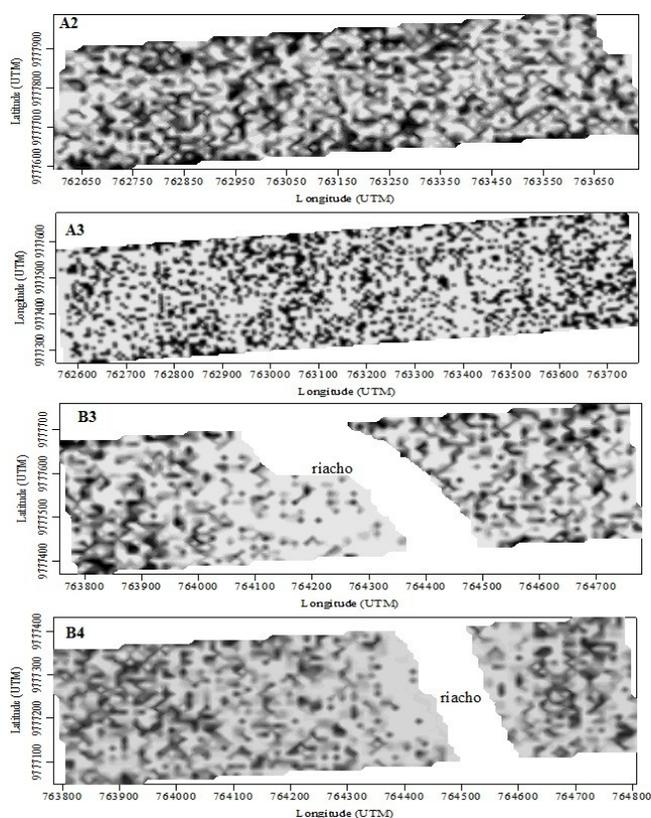
171 Em nenhum dos casos foi possível conseguir um bom ajuste dos dados ao modelo de
 172 efeito pepita puro. Este fato por si só, já é um indicativo da existência de uma relação espacial
 173 entre as plantas doentes.

174 Segundo observações de Van de Lande & Zadoks (1999), a ocorrência de
 175 independência espacial, caracterizada por um variograma do tipo efeito pepita puro, indicaria
 176 início de uma infecção (considerando origem biótica) com o inóculo vindo de áreas
 177 adjacentes as áreas afetadas, não formando, portanto, padrão agregado no campo.

178 Neste caso uma explicação para a não adequação de nenhuma das parcelas ao modelo
 179 de efeito pepita puro é a quantidade já grande de plantas afetadas em todos os casos (< 10%
 180 das plantas). Portanto, se a doença tiver mesmo origem infecciosa, a infecção primária já deu
 181 lugar a secundária, caracterizada pela infecção de planta a planta, resultando na formação de
 182 focos.

183 *Modelo Linear*

184 Apenas a parcela A3 apresentou melhor ajuste ao modelo linear. O padrão assumido
 185 pelas plantas doentes nesta parcela parece estar ligado à alta incidência do AF (> 43%), o que
 186 dificulta a identificação dos focos de plantas doentes. Neste caso, a sobreposição de áreas com
 187 incidência de sintomas de AF pode ter causado influência na variabilidade de um ponto sobre
 188 aqueles vizinhos a este (Figura 1). Isto dificultou a definição da área real de cada foco na
 189 parcela e impossibilitou a identificação do patamar do semivariograma, ou seja, uma distância
 190 na qual cessa o aumento de semivariância.

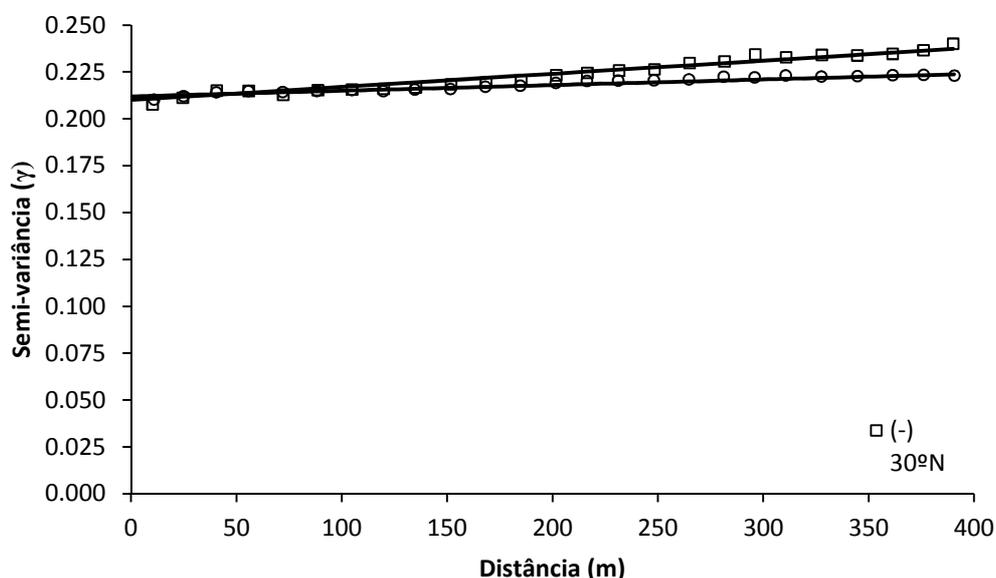


191
 192 **Figura 1.** Mapa de infestação das parcelas A2, A3, B3 e B4 pelo amarelecimento fatal, no município de
 193 Moju - PA, 2010. Áreas em vermelho presença da doença e em verde ausência

194 Na análise dos dados da parcela foi possível identificar a direção preferencial de
 195 disseminação da doença como sendo -30°N . Neste caso o semivariograma teve incremento
 196 maior na semivariância na medida em que a distância aumentou, em comparação ao
 197 semivariograma omnidirecional (Figura 2). O semivariograma apresentou comportamento
 198 quase linear no cálculo para todas as direções (omni), com inclinação da reta (b) com valor de

199 3×10^{-5} e maior inclinação no cálculo direcional (-30° N), apresentando valor de b de 7×10^{-5} .

200



201

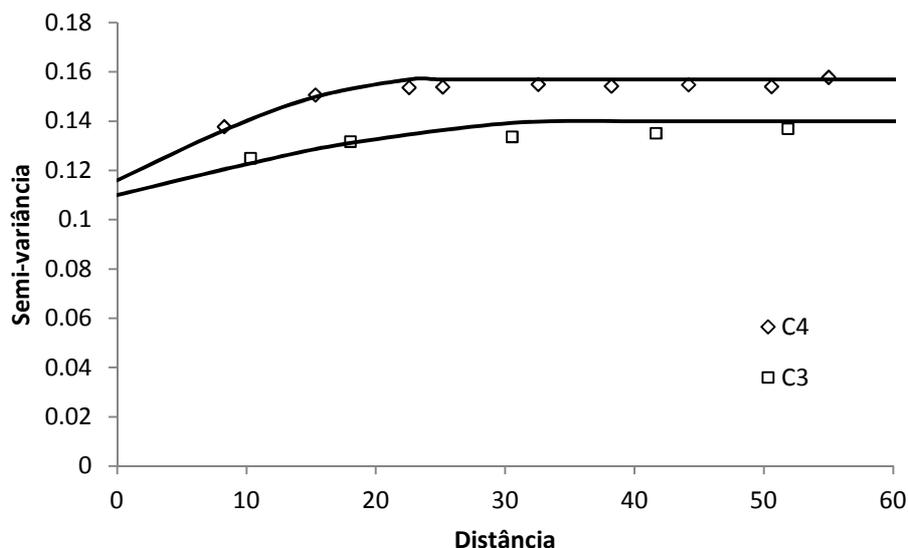
202 **Figura 2.** Semivariograma linear ajustado aos dados de incidência do AF na parcela A3 na direção -
203 30° N e omnidirecional, no município de Mojú-PA/2010.

204 *Modelo Esférico*

205 A parcela A2 apresentava o maior nível de incidência do AF dentre as parcelas
206 analisadas e teve melhor ajuste ao semi-variograma esférico (Figura 3). Apesar da
207 proximidade entre plantas doentes e da possível influência de um foco sobre o outro, foi
208 possível identificar agregação de plantas doentes nesta parcela.

209 As parcelas B3 e B4 apresentaram semivariogramas esféricos com maiores alcances
210 em relação a A2 e baixa dependência espacial (Figura 3). O alcance do semivariograma na
211 parcela B4 foi o maior encontrado dentre todas as parcelas estudadas (50 m). Nas três parcelas
212 houve identificação de direção preferencial de disseminação do AF nas parcelas.

213 No caso da parcela A2, a direção -30° N foi a principal, enquanto que no caso das
214 parcelas B3 e B4, 0° N foi mais representativa, ou seja, a disseminação ocorreu nestas parcelas
215 preferencialmente no sentido Norte/Sul.



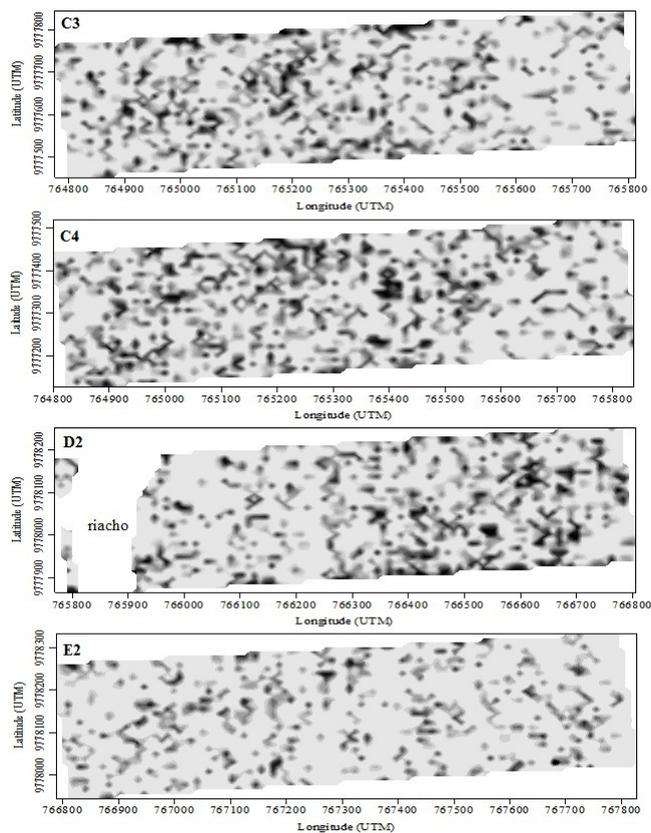
216

217 **Figura 3.** Semivariogramas ajustados ao modelo esférico para dados de incidência do AF nas parcelas
 218 A2 (-30°N), B3 (0°N) e B4 (0°N), no município de Moju – PA/2010.

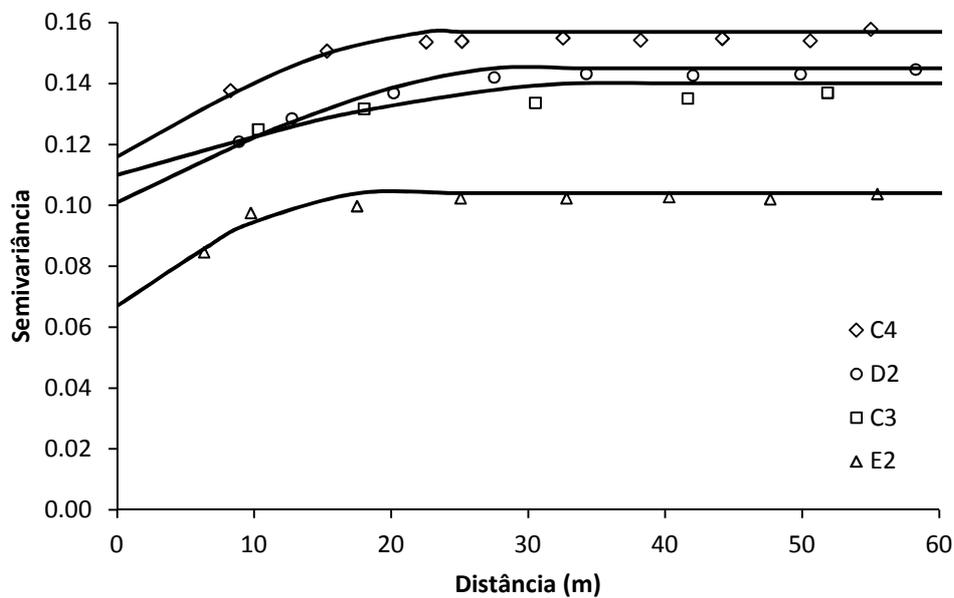
219 As parcelas C3 e C4 apresentaram, também, melhor ajuste ao modelo esférico. No
 220 caso de C3 houve a ocorrência de anisotropia e neste caso a direção preferencial de
 221 disseminação foi -30°N. Na parcela C4 o semivariograma omnidirecional foi o mais
 222 representativo e a dependência espacial foi moderada.

223 A parcela E2 apresentava a menor incidência de plantas afetadas pelo AF (10,13%) e
 224 isso refletiu numa boa adequação ao modelo esférico, com patamar elevado em comparação
 225 as outras parcelas e menor efeito pepita. O semi-variograma omnidirecional foi o mais
 226 representativo para esta parcela.

227 No caso da parcela D2, assim como em E2, a menor incidência da doença
 228 proporcionou a clara identificação do padrão assumido no campo pelo AF (Figura 4). Ao
 229 contrário de E2, na parcela D2 houve melhor ajuste ao semivariograma apresentando
 230 anisotropia, na direção -30°N (Figura 5).



231
 232 **Figura 4.** Mapa de infestação das parcelas C3, C4, D2 e E2 pelo amarelecimento fatal, no município de Moju -
 233 PA, 2010. Áreas em vermelho presença da doença e em verde ausência.



234
 235 **Figura 5.** Semi-variogramas ajustados ao modelo esférico para dados de incidência do AF nas parcelas
 236 C4 (omni), C3 (-30°N), D2 (-30°N) e E2 (omni), no município de Moju – PA/2010.

237 Na parcela E2, devido à incidência do AF ainda em estágio inicial pode-se notar mais
238 claramente a formação de focos de plantas doentes (Figura 5).

239 O melhor ajuste de dados ao modelo esférico denota a ocorrência de um fato
240 observado no campo, a formação de focos de disseminação da doença. Esses resultados são
241 semelhantes aos encontrados por Van de Lande & Zadoks (1999), que identificaram a
242 disseminação da podridão da flecha a partir de focos de plantas doentes em parcelas com
243 níveis de infestação a partir de 2%. Por outro lado Laranjeira et al. (1998), não encontraram
244 evidências da formação de padrões nas plantas de dendê doentes.

245 Os resultados contraditórios acerca da agregação podem estar associados à diferença
246 nos níveis de infestação encontrados nas áreas de estudo. Como foi observado neste estudo,
247 plantios muito afetados, como nas parcelas A3 e B3 tenderam a apresentar maior dificuldade
248 na identificação do padrão de distribuição espacial, ao passo em que houve melhor
249 identificação de focos em parcelas como E2 e D2, onde a incidência do AF era menor.

250 É importante ressaltar, porém, que mesmo nesses plantios em que o padrão de
251 distribuição espacial foi menos evidente, houve melhor adequação ao modelo esférico em
252 comparação aos modelos linear e de efeito pepita puro, o que evidencia a formação de focos
253 de plantas doentes.

254 Devido a isso, torna-se interessante notar que os resultados obtidos por Van de Lande
255 & Zadoks (1999) em terrenos acidentados e pantanosos são semelhantes aos obtidos no
256 presente estudo, mesmo que o plantio se encontre em condições diferentes, com adequada
257 condução, terreno relativamente plano e não alagadiço.

258 As parcelas que tiveram bom ajuste ao modelo esférico foram testadas quanto à
259 existência de anisotropia. Apenas a parcela E2 e C4 não apresentaram direção preferencial de
260 disseminação da doença. Van de Lande & Zadoks (1999) obtiveram associação positiva da
261 direção preferencial de disseminação da podridão da flecha com os ventos predominantes em

262 plantios de dendê no Suriname.

263 Em geral, a direção preferencial para disseminação do AF ocorreu nas direções de -
264 30°N a 0°N, ou seja, basicamente numa distribuição de norte para sul. Esta orientação é
265 coincidente com a direção das linhas de plantio. Dessa forma, a disseminação ao longo das
266 linhas de plantio parece ter ocorrido nos casos onde foi identificada a anisotropia.

267 A inexistência de obstáculos ao longo da direção preferencial encontrada pode ser o
268 fator facilitador para qualquer que seja o agente causador da doença. Ao contrário, no sentido
269 perpendicular ao das linhas de plantio há muitas barreiras devido à própria arquitetura do
270 plantio, em triângulo equilátero, o que faz com que sempre haja uma planta no caminho entre
271 linhas.

272 De modo geral, observou-se uma tendência a aleatoriedade maior na distribuição
273 espacial do AF nas parcelas com infestação em nível mais avançado. Esse fato pode estar
274 associado à grande proximidade de focos nas parcelas mais afetadas, dificultando o
275 estabelecimento de um padrão geostático mais preciso. Desse modo, os resultados
276 demonstraram maior dependência espacial nas parcelas em início de disseminação da doença
277 (com menos de 20% de plantas afetadas), podendo servir de indicação para a melhor escolha
278 de parcelas para estudos desse tipo.

279 Nas parcelas C4, D2 e E2 houve dependência espacial moderada ($25\% < k < 75\%$),
280 sendo uma boa indicação da influência das plantas doentes naquelas recém afetadas pela
281 doença. O raio de alcance (a) variou entre 18 e 50m, podendo servir de indicador a possíveis
282 medidas de controle baseadas em erradicação de plantas doentes. Baseando-se nesses valores
283 de a tem-se uma área de influência de uma planta doente variando de aproximadamente 1.018
284 a 7.854 m².

285 Um fato interessante observado na ocorrência do AF no plantio 2000 foi a menor
286 incidência de plantas doentes próximo a margens de corpos d'água. A menor ocorrência de

287 plantas doentes na área mais próxima ao corpos d'água pode ser visualmente notada nos
288 mapas das parcelas B3, B4 e D2 (Figuras 1 e 4). Isso contraria o relatado por Laranjeira et al.
289 (1998), que reportou a maior ocorrência de plantas doentes em locais próximos a rios e
290 córregos. Dessa forma, a hipótese do papel do encharcamento do solo como favorecedor ou
291 fator fundamental ao aparecimento do AF parece menos provável.

292 Em primeira análise, a agregação de plantas doentes no plantio poderia significar tanto
293 origem biótica quanto abiótica. No caso de doenças bióticas, o contágio é a causa da formação
294 de focos, enquanto que para doenças abióticas o microclima é o responsável pela expressão
295 agregada dos sintomas (Laranjeira et al., 1998). As parcelas A2, A3 e E2 são limitadas por
296 mata mais densa em suas faces Oeste, Oeste e Sul/Leste, respectivamente. Apesar disso,
297 visualmente não há diferença na intensidade ou tamanho dos focos entre as regiões limitadas
298 por mata e aquelas limitadas por estradas (Figuras 1 e 4). Desse modo, o microclima não
299 parece ter sido o responsável pelo aparecimento do AF no plantio.

300 A distribuição agregada do AF do dendezeiro pode ser um indicativo da origem
301 biótica, como ocorre em doenças transmitidas por insetos da ordem hemíptera. Doenças como
302 o greening, transmitido pelo psílideo *Diaphorina citri* apresentam a formação de focos no
303 plantio (Costa et al., 2010). Mesmo não havendo um agente microbiano conhecido como
304 causador de determinada doença, não se exclui a origem biótica para a esta. No caso da
305 doença de Finschhafen, que afeta o dendezeiro e o coqueiro e tem sintomas de
306 amarelecimento muito semelhantes aos de doenças causadas por fitoplasmas, não há
307 microorganismo envolvido, mas sim sintoma de toxicidade em decorrência da alimentação da
308 cigarrinha *Zophiuma lobulata* (Hemiptera: Lophopidae) (Gitau et al., 2011).

309 A dificuldade em se definir a causa principal da ocorrência do AF pode estar ligada a
310 possível existência de fatores que predispõe as plantas a serem afetadas pela doença. Segundo
311 Venturieri et al. (2009), a má drenagem do solo em determinada época do ano pode induzir

312 fragilidade das plantas. Desse modo, fatores abióticos, como o encharcamento do solo, podem
313 ser facilitadores ou até mesmo fatores essenciais para fragilizar o dendezeiro e deixá-lo
314 susceptível ao AF.

315 Apesar da natureza epidemiológica ainda desconhecida, para boa parte das pessoas
316 que trabalham diretamente na identificação do AF no campo parece clara a existência de
317 agregação de plantas doentes. Além disso, há algo que se assemelha a um comportamento
318 infeccioso da doença, visto que segundo os relatos destas mesmas pessoas, os plantios
319 efetuados em áreas com histórico da doença tendem a ser afetados de forma ainda mais
320 agressiva, quando comparados com plantios em áreas ainda não utilizadas para o cultivo de
321 dendê.

322 2.3 Conclusões

- 323 1. A distribuição espacial do amarelecimento fatal do dendezeiro é melhor caracterizada
324 pelo modelo esférico, apresentando-se de forma agregada no campo.
- 325 2. A distribuição da doença no campo tem características mais próximas de uma doença
326 de origem biótica.

327 Agradecimentos

328 À empresa Marborges S.A pela cessão da área e dados que possibilitaram viabilização do
329 estudo.

330 Referências

331

332 BERGAMIN FILHO, A.; AMORIM, L.; LARANJEIRA, F.F.; BERGER, R.D.; HAU, B.
333 Análise temporal do amarelecimento fatal do dendezeiro como ferramenta para elucidar sua
334 etiologia. **Fitopatologia Brasileira**, v.23, n. 3, p.391-396, 1998.

335

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

339

340 CARVALHO, J.R.P.; SILVEIRA, P.M.; VIEIRA, S.R. Geoestatística na determinação da
341 variabilidade espacial de características químicas do solo sob diferentes preparos. **Pesquisa**
342 **Agropecuária Brasileira**, v.37, n.8, p.1151-1159, 2002.

343

344 CASTRO, F.S.; PEZZOPANE, J.E.M.; CECÍLIO, R.A.; PEZZOPANE, J.R.M.; XAVIER,
345 A.C. Avaliação do desempenho dos diferentes métodos interpoladores para parâmetros do
346 balanço hídrico climatológico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**
347 v.14, p.817-880, 2010.

348

349 CHELLEMI, D.O.; ROHRBACH, K.G.; YOST, R.S.; SONODA, R.M. Analysis of the spatial
350 pattern of plant pathogens and diseased plants using geostatistics. **Phytopathology** v.78,
351 p.221-226, 1988.

352

353 CHINCHILLA, C. The many faces of spear rots ins Oil Palm: The need for an Integrated
354 Management approach. **ASD Oil Palm Papers**, v.32, p.1-25, 2008.

355

356 COSTA, M.G.; BARBOSA, J.C.; YAMAMOTO, P.T.; LEAL, R.M. Spatial distribution of
357 *Diaphorina citri* Kuwayama (Hemiptera: Psyllidae) in citrus orchards. **Scientia Agricola**,
358 v.67, n. 5, p.546-554, 2010

359

360 FARACO, M.A. **Qualidade do ajuste de modelos geoestatísticos utilizados na agricultura**

- 361 **de precisão**. 2006. 135p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná,
362 Cascavel.
- 363
- 364 FARIAS, P.R.S.; SÁNCHEZ-VILA, X.; BARBOSA, J.C.; VIEIRA, S.R.; FERRAZ,
365 L.C.C.B.; SOLÍS-DELFIN, J. Using geostatistical analysis to evaluate the presence of
366 *Rotylenchulus reniformis* in cotton crops in Brazil: Economic implications. **Journal of**
367 **Nematology**, v.34, n.3, p.232-238, 2002.
- 368
- 369 FARIAS, P.R.S.; NOCITI, L.A.S.; BARBOSA, J.C.; PERECIN, D. Agricultura de precisão:
370 Mapeamento da produtividade em pomares cítricos usando geoestatística. **Revista Brasileira**
371 **de Fruticultura**, v.25, n.2, p.235-241, 2003.
- 372
- 373 FNP. Agriannual: **anúário da agricultura brasileira**. São Paulo: agraFNP Consultoria e
374 Agroinformativos, 2009
- 375
- 376 GITAU, C.W.; GURR, G.M.; DEWHURST, C.F.; MITCHELL, A.; FLECTHER, M.J.;
377 LIEFTING, L.W.; COWLING, A. *Zophiuma lobulata* (Hemiptera: Lophopidae) causes
378 Finschhafen disorder of coconut and oil palms. **Annals of Applied Biology**, v.158, p.139-148,
379 2001.
- 380
- 381 LARANJEIRA, F.F.; BERGAMIN FILHO, A.; AMORIM, L.; BERGER, R.D.; HAU, B.
382 Análise espacial do amarelecimento fatal do dendezeiro como ferramenta para elucidar sua
383 etiologia. **Fitopatologia Brasileira**, v.23, n.3, p.397-403, 1998.
- 384
- 385 VAN DE LANDE, H.L.; ZADOKS, J.C. Spatial patterns of spear rot in oil palm plantations in

386 Suriname. **Plant Pathology**, v.48, n.2, p.189-201, 1999.

387

388 VENTURIERI, A.; FERNANDES, W.R.; BOARI, A.deJ.; VASCONCELOS, M.A. Relação

389 entre ocorrência do amarelecimento fatal do dendezeiro (*Elaeis guineensis* Jacq.) e variáveis

390 ambientais no Estado do Pará. In: XIV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO

391 REMOTO, 2009, Natal. **Anais**. INPE, 2009. p.523-53