



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

**ARTUR VINÍCIUS FERREIRA DOS SANTOS**

**ESTUDO GEOESTATÍSTICO E ALTIMÉTRICO DO AMARELECIMENTO  
FATAL EM PLANTIO ORGÂNICO DE PALMA DE ÓLEO NA AMAZÔNIA  
ORIENTAL**

**BELÉM  
2018**

**ARTUR VINÍCIUS FERREIRA DOS SANTOS**

**ESTUDO GEOESTATÍSTICO E ALTIMÉTRICO DO AMARELECIMENTO  
FATAL EM PLANTIO ORGÂNICO DE PALMA DE ÓLEO NA AMAZÔNIA  
ORIENTAL**

Dissertação apresentado para obtenção do grau de Mestre em Agronomia. Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Federal Rural da Amazônia.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Roberto Silva Farias

Coorientador: Prof. Dr. Fábio Júnior de Oliveira

**BELÉM  
2018**

---

Santos, Artur Vinícius Ferreira dos  
Estudo geostatístico e altimétrico do amarelecimento fatal em  
plantio orgânico de palma de óleo na Amazônia Oriental / Artur Vinícius  
Ferreira dos Santos. – Belém, PA, 2018.  
72 f.

Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal Rural da  
Amazônia, 2018.

Orientador: Paulo Roberto Silva Farias.

1. Palma de Óleo - Variabilidade espacial. 2. Amarelecimento Fatal. 3.  
Krigagem. 4. Altimetria. 5. *Elaeis guineenses*. I. Farias, Paulo Roberto Silva  
(orient.) II. Título.

---

CDD – 633.851

---

**ARTUR VINÍCIUS FERREIRA DOS SANTOS**

**ESTUDO GEOESTATÍSTICO E ALTIMÉTRICO DO AMARELECIMENTO  
FATAL EM PLANTIO ORGÂNICO DE PALMA DE ÓLEO NA AMAZÔNIA  
ORIENTAL**

Dissertação apresentada a Universidade Federal Rural da Amazônia, como parte das exigências do Curso de Mestrado em Agronomia: Área de Concentração Agronomia, para obtenção do título de Mestre.

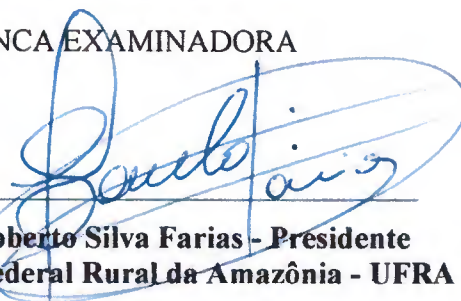
Orientador: Prof. Dr. Paulo Roberto Silva Farias

Coorientador: Prof. Dr. Fábio Júnior de Oliveira

31/07/2018

Data da Aprovação

BANCA EXAMINADORA



**Dr. Paulo Roberto Silva Farias - Presidente  
Universidade Federal Rural da Amazônia - UFRA**



**Dr. Tiago de Melo Sales - 1º Examinador  
Instituto Federal do Pará - IFPA**



**Dr. Vicente Savonitti Miranda - 2º Examinador  
Universidade Federal Rural da Amazônia - UFRA**



**Dr. Ricardo Salles Tinoco - 3º Examinador  
AGROPALMA S.A.**

## SUMÁRIO

RESUMO .....	9
ABSTRACT .....	10
<b>1 CONTEXTUALIZAÇÃO .....</b>	<b>11</b>
REFERÊNCIAS .....	12
<b>2 CARACTERIZAÇÃO GEOESTATÍSTICA DO RAIOS DE INCIDÊNCIA DO AMARELECIMENTO FATAL EM PALMA DE ÓLEO NA AMAZÔNIA ORIENTAL</b>	<b>14</b>
RESUMO .....	14
ABSTRACT .....	14
<b>2.1 Introdução .....</b>	<b>15</b>
<b>2.2 Material e Métodos .....</b>	<b>16</b>
<b>2.2.1 Área Experimental .....</b>	<b>16</b>
<b>2.2.2 Georreferenciamento das Parcelas .....</b>	<b>20</b>
<b>2.2.3 Amostragem do amarelecimento fatal e construção do banco de dados .....</b>	<b>21</b>
<b>2.2.4 Análise Geoestatística .....</b>	<b>22</b>
<b>2.2.4.1 O semivariograma experimental .....</b>	<b>22</b>
<b>2.2.4.2 O cálculo do modelo matemático .....</b>	<b>24</b>
<b>2.2.4.3 Modelos .....</b>	<b>24</b>
<b>2.2.4.4 Modelo Esférico .....</b>	<b>25</b>
<b>2.2.4.5 Modelo Exponencial .....</b>	<b>26</b>
<b>2.2.4.6 Modelo Gaussiano .....</b>	<b>26</b>
<b>2.2.4.7 Modelo Pepita Puro .....</b>	<b>26</b>
<b>2.2.4.8 Índice de dependência espacial .....</b>	<b>27</b>
<b>2.2.4.9 Krigagem .....</b>	<b>27</b>
<b>2.2.5 Softwares utilizados nas análises .....</b>	<b>28</b>
<b>2.3 Resultados e Discussão .....</b>	<b>28</b>
<b>2.4 Conclusões .....</b>	<b>47</b>
<b>2.5 Referências .....</b>	<b>47</b>
<b>3 MONITORAMENTO DO AMARELECIMENTO FATAL EM PLANTIO ORGÂNICO DE PALMA DE ÓLEO ATRAVÉS DE LEVANTAMENTO PLANIALTIMÉTRICO .....</b>	<b>52</b>
RESUMO .....	52
ABSTRACT .....	52
<b>3.1 Introdução .....</b>	<b>53</b>
<b>3.2 Material e Métodos .....</b>	<b>54</b>
<b>3.2.1 Descrição da área de estudo .....</b>	<b>54</b>
<b>3.2.2 Georreferenciamento das Parcelas .....</b>	<b>55</b>

3.2.3	Amostragem do amarelecimento fatal e construção do banco de dados.....	56
3.2.4	Modelo Digital de Terreno e Vetorização .....	57
3.2.5	Amostragem de Dados Climáticos .....	58
3.2.6	Softwares utilizados nas análises.....	58
3.3	<b>Resultados e Discussão</b> .....	59
3.4	<b>Conclusão</b> .....	70
3.5	<b>Referências</b> .....	70

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Mapa da Fazenda Companhia dos Palmares da Amazônia, localizada no município do Acará-PA.....	17
Figura 2: Mapa da área de plantio orgânico de palma de óleo na Fazenda Companhia dos Palmares da Amazônia, localizada no município do Acará-PA. ....	18
Figura 3: Mapa Georreferenciado da área experimental, com numeração das parcelas de estudo de plantio de palma de óleo.....	19
Figura 4: Mapa Digitalizado da área experimental utilizando SIG, com ruas de acesso, áreas de APP e plantas de palma de óleo orgânica.....	21
Figura 5: Esquema do semivariograma experimental. ....	23
Figura 6: Semivariogramas experimentais com patamar. ....	25
Figura 7: Semivariogramas do Amarelecimento Fatal em plantio orgânico de palma de óleo no município do Acará referentes aos anos de 2001 (A), 2002 (B), 2003 (C), 2004 (D), 2005 (E), 2006 (F).....	33
Figura 8: Semivariogramas do Amarelecimento Fatal em plantio orgânico de palma de óleo no município do Acará referentes aos anos de 2007 (G), 2008 (H), 2009 (I), 2010 (J), 2011 (K), 2012 (L).....	34
Figura 9: Semivariogramas do Amarelecimento Fatal em plantio orgânico de palma de óleo no município do Acará referentes aos anos de 2013 (M), 2014 (N). ....	35
Figura 10: Mapa de Krigagem da distribuição espacial do Amarelecimento Fatal no ano de 2010, em 15 parcelas de plantio de palma de óleo orgânica. ....	36
Figura 11: Mapa de Krigagem da distribuição espacial do Amarelecimento Fatal no ano de 2011, em 15 parcelas de plantio de palma de óleo orgânica. ....	36
Figura 12: Mapa de Krigagem da distribuição espacial do Amarelecimento Fatal no ano de 2012, em 15 parcelas de plantio de palma de óleo orgânica. ....	37
Figura 13: Mapa de Krigagem da distribuição espacial do Amarelecimento Fatal no ano de 2013, em 15 parcelas de plantio de palma de óleo orgânica. ....	37
Figura 14: Mapa de Krigagem da distribuição espacial do Amarelecimento Fatal no ano de 2014, em 15 parcelas de plantio de palma de óleo orgânica. ....	38
Figura 15: Gráfico da evolução da taxa de plantas com os sintomas do AF e da produtividade da parcela E15 em plantio de palma de óleo no período de 2001 a 2014, no município do Acará..	40
Figura 16: Gráfico da evolução da taxa de plantas com os sintomas do AF e da produtividade da parcela F16 em plantio de palma de óleo no período de 2001 a 2014, no município do Acará..	41
Figura 17: Semivariogramas do Amarelecimento Fatal na parcela E15 em plantio orgânico de palma de óleo no município do Acará referentes as observações no ano de 2013 (O), 1º Semestre de 2009 (P), 2º Semestre de 2009 (Q), 1º Semestre de 2010 (R), 2º Semestre de 2010 (S) e 1º Semestre de 2011 (T). ....	44
Figura 18: Mapa de Krigagem da distribuição espacial do Amarelecimento Fatal na parcela E15, no final do 2º semestre do no ano de 2009, em plantio de palma de óleo orgânica.....	45
Figura 19: Mapa de Krigagem da distribuição espacial do Amarelecimento Fatal na parcela E15, no final do 1º semestre do no ano de 2010, em plantio de palma de óleo orgânica.....	45
Figura 20: Mapa de Krigagem da distribuição espacial do Amarelecimento Fatal na parcela E15, no final do 2º semestre do no ano de 2010, em plantio de palma de óleo orgânica.....	46
Figura 21: Mapa de Krigagem da distribuição espacial do Amarelecimento Fatal na parcela E15, no final do 1º semestre do no ano de 2011, em plantio de palma de óleo orgânica.....	46
Figura 22: Mapa Georreferenciado da área experimental, com numeração das parcelas de estudo de plantio de palma de óleo.....	55

Figura 23: Mapa Digitalizado da área experimental utilizando SIG, com ruas de acesso, áreas de APP e plantas de palma de óleo orgânica.....	56
Figura 24: Mapa Planialtimétrico da área experimental com vetorização, em plantio de palma de óleo orgânica, no município do Acará. ....	57
Figura 25: Gráfico com a evolução dos casos acumulados de AF nas plantas de palma de óleo orgânica, valores de precipitação pluviométrica (mm), valores de umidade relativa (%), no período de 2001 a 2014, no município do Acará. ....	59
Figura 26: Mapa de Incidência do Amarelecimento Fatal nas 15 parcelas da área experimental, no ano de 2001, em plantio de palma de óleo orgânica, no município do Acará.....	63
Figura 27: Mapa de Incidência do Amarelecimento Fatal nas 15 parcelas da área experimental, no ano de 2002, em plantio de palma de óleo orgânica, no município do Acará.....	64
Figura 28: Mapa de Incidência do Amarelecimento Fatal nas 15 parcelas da área experimental, no ano de 2003, em plantio de palma de óleo orgânica, no município do Acará.....	64
Figura 29: Mapa de Incidência do Amarelecimento Fatal nas 15 parcelas da área experimental, no ano de 2004, em plantio de palma de óleo orgânica, no município do Acará.....	65
Figura 30: Mapa de Incidência do Amarelecimento Fatal nas 15 parcelas da área experimental, no ano de 2005, em plantio de palma de óleo orgânica, no município do Acará.....	65
Figura 31: Mapa de Incidência do Amarelecimento Fatal nas 15 parcelas da área experimental, no ano de 2006, em plantio de palma de óleo orgânica, no município do Acará.....	66
Figura 32: Mapa de Incidência do Amarelecimento Fatal nas 15 parcelas da área experimental, no ano de 2007, em plantio de palma de óleo orgânica, no município do Acará.....	66
Figura 33: Mapa de Incidência do Amarelecimento Fatal nas 15 parcelas da área experimental, no ano de 2008, em plantio de palma de óleo orgânica, no município do Acará.....	67
Figura 34: Mapa de Incidência do Amarelecimento Fatal nas 15 parcelas da área experimental, no ano de 2009, em plantio de palma de óleo orgânica, no município do Acará.....	67
Figura 35: Mapa de Incidência do Amarelecimento Fatal nas 15 parcelas da área experimental, no ano de 2010, em plantio de palma de óleo orgânica, no município do Acará.....	68
Figura 36: Mapa de Incidência do Amarelecimento Fatal nas 15 parcelas da área experimental, no ano de 2011, em plantio de palma de óleo orgânica, no município do Acará.....	68
Figura 37: Mapa de Incidência do Amarelecimento Fatal nas 15 parcelas da área experimental, no ano de 2012, em plantio de palma de óleo orgânica, no município do Acará.....	69
Figura 38: Mapa de Incidência do Amarelecimento Fatal nas 15 parcelas da área experimental, no ano de 2013, em plantio de palma de óleo orgânica, no município do Acará.....	69
Figura 39: Mapa de Incidência do Amarelecimento Fatal nas 15 parcelas da área experimental, no ano de 2014, em plantio de palma de óleo orgânica, no município do Acará.....	70



**LISTA DE TABELAS**

Tabela 1: Características das 15 parcelas selecionadas para estudo.....	20
Tabela 2: Contagem de plantas sintomáticas com Amarelecimento Fatal em uma área experimental de plantio orgânico, no período de 2001 a 2014.....	29
Tabela 3: Estatística descritiva das variáveis anos de ocorrências de casos de plantas com AF nas 15 parcelas da área experimental de plantio orgânico de palma de óleo.....	30
Tabela 4: Parâmetros dos semivariogramas ajustados ao modelo teórico, coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e parâmetro $k$ para análise de dependência espacial nas parcelas de estudo em plantio de palma de óleo no município do Acará, Pará.....	31
Tabela 5: Parâmetros dos semivariogramas ajustados ao modelo teórico, coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e parâmetro $k$ para análise de dependência espacial na parcela de estudo E15 com plantio de palma de óleo no município do Acará, Pará.....	42
Tabela 6: Coeficientes de correlação linear de Pearson ( $r$ ), entre as ocorrências mensais de plantas com AF os valores médios mensais da precipitação (mm) e umidade relativa (%) no 2001 a 2014 no município do Acará.....	61

## RESUMO

A palma de óleo é uma importante fonte de óleo vegetal para a indústria mundial sendo a mais produzida atualmente no mundo todo. Os plantios de palma de óleo no Brasil, principalmente os maiores plantios localizados no estado do Pará, sofrem com a incidência do amarelecimento fatal (AF). O presente trabalho tem por objetivo determinar o raio de incidência e disseminação do AF, e a influência da altimetria, precipitação e umidade relativa no AF em plantio de palma de óleo orgânica na Amazônia Oriental. A área experimental se localiza no município do Acará (PA), em plantio de palma de óleo pertencente à empresa do Grupo AGROPALMA S.A. Para realização do estudo selecionou-se 15 parcelas de palma de óleo. As amostragens das plantas foram realizadas por funcionários da empresa, cada planta da área de estudo era visitada, todo mês, pelo menos uma vez, no período de 2001 a 2014. Cada uma destas plantas foi considerada um ponto amostral, no qual se obteve o valor da variável binária, 1 (um) para planta com sintomas do AF com o Amarelecimento Fatal e 0 (zero) para ausência dessa doença. Por meio do georreferenciamento (latitude e longitude) das plantas foram geradas as variáveis regionalizadas utilizadas na geoestatística e utilizando gps geodésico de alta precisão para coleta dos valores de altitude dentro da área experimental, a partir desses dados foi gerado um mapa planialtimétrico para relacionar a altitude e incidência do AF ao longo do tempo. A variabilidade espacial foi analisada por meio de técnicas de modelagem geoestatística construídas a partir de semivariogramas experimentais, testados por meio de modelos matemáticos, esférico, gaussiano, exponencial, linear e aleatório (efeito pepita puro). Os resultados indicam que as plantas com sintomas de AF tem provável influência de áreas de baixa altitude. Por meio dos semivariogramas observou-se que os modelos que melhor se ajustaram à distribuição espacial do AF foram: efeito pepita puro, gaussiano, esférico e exponencial. Com valores de alcance para a área experimental variando de 200 a 570 metros, com formação de áreas de agregação para plantas com sintomas do AF. A geoestatística se mostrou promissora para avaliar a dispersão da incidência do Amarelecimento Fatal em áreas de plantio de palma. Os resultados do alcance da incidência e do monitoramento do através da altimetria indicam que a partir de áreas de foco de incidência da doença pode ocorrer aumento nos casos de incidência em plantas e/ou talhões próximos de palma de óleo, principalmente nas áreas de menor altitude.

**Palavras Chave:** variabilidade espacial, *Elaeis guineenses*, krigagem e altimetria.

**ABSTRACT**

The oil palm is an important source of vegetable oil for the world industry being the most produced currently worldwide. Oil palm plantations in Brazil, mainly the largest plantations located in the state of Pará, suffer from the incidence of fatal yellowing (FA). The objective of this work is to determine the incidence and spread of FA, and the influence of altimetry, precipitation and relative humidity in the AF on organic palm oil planting in the Eastern Amazon. The experimental area is located in the municipality of Acará (PA), in oil palm plantation belonging to the AGROPALMA S.A Group company. For the study, 15 oil palm plots were selected. Plant samples were taken by company employees, each plant in the study area was visited every month at least once in the period from 2001 to 2014. Each of these plants was considered a sampling point, in which the value of the binary variable, 1 (one) for plant with FA symptoms with Fatal Yellowing and 0 (zero) for absence of this disease. Through the georeferencing (latitude and longitude) of the plants were generated the regionalized variables used in the geostatistics and using high precision geodesic gps to collect the altitude values within the experimental area, from these data was generated a planialtimetric map to relate the altitude and incidence of AF over time. The spatial variability was analyzed by means of geostatistical modeling techniques constructed from experimental semivariograms, tested using mathematical, spherical, Gaussian, exponential, linear and random models (pure nugget effect). The results indicate that plants with FA symptoms are likely to influence low altitude areas. By means of semivariograms it was observed that the models that best fit the spatial distribution of the FA were: pure, gaussian, spherical and exponential pepita effect. With range values for the experimental area varying from 200 to 570 meters, with formation of areas of aggregation for plants with symptoms of FA. Geostatistics showed promise to evaluate the dispersion of the Fatal Yellowing incidence in areas of palm plantations. The results of reaching the incidence and monitoring of altimetry indicate that, from areas of focus of incidence of the disease, there may be an increase in cases of incidence in plants and / or nearby stands of oil palm, especially in areas of lower altitude.

**Keywords:** spatial variability, *Elaeis guineenses*, kriging and altimetry.

## 1 CONTEXTUALIZAÇÃO

A palma de óleo (*Elaeis guineenses* Jacq) é uma das palmeiras oleaginosas de maior importância mundial, devido sua alta relevância como fonte de óleo vegetal (ABDALLA et al., 2008). Atualmente, mais de 80% da sua produção é destinada para a indústria de alimentos (MPOC, 2012). Segundo Alves et al., (2013) essa atividade é uma importante fonte de emprego e renda na Amazônia.

Na região de estudo o fator climático de maior variabilidade na região é a precipitação pluvial, destacando o período de dezembro a maio com os maiores valores encontrado, que se torna um sério risco ao Programa de Expansão da Palma de Óleo (MORAES et al., 2011).

O Amarelecimento Fatal da palma de óleo (AF) é um dos principais fatores que limitam a expansão da cultura, porém sua etiologia ainda é desconhecida. Um dos primeiros sintomas visíveis é o aparecimento de um verde ligeiramente pálido nas folhas mais jovens. Logo após as folhas apresentam um tom amarelado em alguns folíolos basais, das folhas mais jovens, culminando posteriormente no secamento da folha flecha, podendo ocasionar a morte da palmeira (LAING, 2012; SOUZA et al., 2000).

Diversos estudos foram realizados com objetivo de compreender a causa do AF, por fatores bióticos (CELESTINO FILHO et al., 1993; SILVA et al., 1996; VAN DE LANDE e ZADOKS, 1999; SILVA et al. 2016); fatores abióticos (BERGAMIN FILHO et al., 1998; LARANJEIRA et al., 1998; BERNARDES, 2001; VENTURIERE et al. 2009; MORAES et al., 2011), e atualmente há uma tendência em aceitar que alterações em componentes abióticos propiciadas pelas condições locais de solo e/ou clima favoreçam o desenvolvimento do problema (ARAÚJO, 2016; AMARAL, 2016; NASCIMENTO, 2018).

As ferramentas de representação geográfica e análise espacial de dados podem identificar o local inicial da transmissão e aumentar a compreensão da influência dos fatores ambientais na distribuição de diversas doenças, como o AF. Favorecendo a criação e execução de medidas preventivas e/ou de controle (VENTURIERE et al., 2009). Nesse contexto, surgem os métodos que compõem o Sistema de Informação Geográfica, que pode ser definido como um poderoso conjunto de ferramentas para a coleta, armazenagem, correção, transformação e apresentação de dados especializados no globo

terrestre (georreferenciados) ou em uma área específica, quando somente referenciado (Burrough e McDonnell, 1998).

Portanto, estudos sobre a análise espacial e temporal sobre as plantas com a presença e ausência do Amarelecimento Fatal, se faz necessário para melhor entender as incidências nos plantios de palma de óleo no Brasil. Baseado em ponto de vista científico o estudo tem dois objetivos, (i) analisar a distribuição espacial e temporal da incidência do AF em parcelas de plantio de palma de óleo no município do Acará/PA; (ii) realizar o monitoramento através do SIG da incidência do AF relacionado com os fatores de altimetria, umidade relativa e a precipitação pluviométrica em plantio de palma de óleo orgânico no município do Acará.

## REFERÊNCIAS

- ABDALLA, A. L.; SILVA FILHO, J. C.; GODÓI, A. R.; CARMO, C.; EDUARDO J. L. P. Utilização de subprodutos da indústria de biodiesel na alimentação de ruminantes. **Revista Brasileira Zootecnia**, Viçosa, v. 37, p. 260-258, 2008.
- ALVES, S.A. de O.; AMARAL, W.A.N. do; HORBACH, M.A.; ANTIQUEIRA, L.M.O.R.; BRAGA, L.P.P.; DIAS, I.F. da S.A. Dendeicultura no Estado do Pará: cenário atual, entraves e perspectivas. **Bioenergia em revista: diálogos**, ano 3, n. 2, p. 18-28, jul./dez. 2013.
- AMARAL, A. P. M. **Distribuição espacial e temporal do amarelecimento fatal em plantio orgânico de palma de óleo (*Elaeis guineensis* Jacq.) na amazônia oriental**. 2016. 81f. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, 2016.
- ARAÚJO, F. C. B. **Influência dos fatores climáticos na incidência do Amarelecimento Fatal em palma de óleo no município de Tailândia**. 2016. 50 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, 2016.
- BERGAMIN FILHO, A., AMORIM, L., LARANJEIRA, F.F., BERGER, R.D., HAU, B. Análise temporal do Amarelecimento Fatal do dendezeiro como ferramenta para elucidar sua etiologia. **Fitopatologia Brasileira**, v.23, p. 391-396, 1998.
- BERNARDES, M. S. R. Relatório de visita à plantações de Paricatuba, na Denpasa, visando à identificação das causas do AF (1999). In: **DENPASA. Pesquisa sobre amarelecimento fatal em dendezeiro**. Belém, PA, 2001.
- BURROUGH, P.A.; MCDONNELL, R.A. **Principles of Geographical Information Systems**, Oxford University Press, Nova York, 333p., 1998.
- CELESTINO FILHO, P.; LOUISE, C.; LUCCHINI, F. Estudos de transmissão do amarelecimento fatal do dendezeiro (*Elaeis guineensis*, Jacq) com insetos suspeitos. In:

- Congresso brasileiro fatal do dendezeiro**, 14, 1993, Piracicaba. Anais. Piracicaba [s/n], 1993, p. 194.
- LAING, D. **Deficiência temporária de cálcio como causa primária do amarelecimento fatal do dendezeiro**. International Plant Nutrition Institute, Piracicaba, n.137, p.1-17, mar. 2012.
- MORAES, J. R. DA S. C. DE; MARTORANO, L. M.; BOARI, A. DE J. MONTEIRO, D. C. A. M. Condições térmicas e pluvias associadas às ocorrências do Amarelecimento Fatal (AF) em palma de óleo em Moju, Pará. **15º Seminário de Iniciação Científica da EMBRAPA**, Belém, Brasil, 24-25 agosto 2011, Embrapa Amazônia Oriental.
- MPOC. **Malasian Palm Oil Council**. Oil palm: a versatile ingredient for food and nonfood applications. 2012. Disponível em: <[http://www.mpoc.org.my/upload/POTS\\_INDIA2012\\_DatukDrChoo.pdf](http://www.mpoc.org.my/upload/POTS_INDIA2012_DatukDrChoo.pdf)>. Acesso em: 12 mai. 2018.
- NASCIMENTO, S. V.; MAGALHÃES, M. M.; CUNHA, R. L.; COSTA, P. H. O.; ALVES, R. C. O.; OLIVEIRA, G. C.; VALADARES, R. B. S. Differential accumulation of proteins in oil palms affected by fatal yellowing disease. **PLOS One**. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0195538>, 13(4), 2018.
- SILVA, H. M.; CELESTINO FILHO, P.; TRINDADE, D. R.; CONCEIÇÃO, H. E. O.; MULLE, A. A.; ALVES, R. M. Estado atual dos conhecimentos sobre a doença amarelecimento fatal (af) do dendezeiro (*Elaeis guineensis* Jacq) no Estado do Pará. In: **WORKSHOP SOBRE A CULTURA DE DENDÊ**, 1995, Manaus: {s.n}, 1996, p.87-98.
- SILVA, J. N.; FARIAS, P.R.S.; SILVA, A. G.; OLIVEIRA, F. J.; TINÔCO, R. S. Spatial distribution of cases of fatal yellowing on organic oil palm Plantation. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 37, n. 5, p. 3047-3054, set./out. 2016.
- SOUZA, L. A.; CELESTINHO FILHO, P.; SILVA, A. B. Principais pragas do dendezeiro e seu controle. In: VIÉGAS, I. J. M.; MÜLLER, A. A. (Eds.). **A cultura do dendezeiro na Amazônia brasileira**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2000. 374p.
- SOUZA, R. L. R.; VEIGA, A. S.; RAMOS, E. J. A. **Amarelecimento fatal em dendezeiro: identificação prática**. Belém, PA: Denpasa, 27p, 2000.
- VAN DE LANDE, H. L.; ZADOKS, J. C. Spatial patterns of spear rot in oil palm plantations in Suriname. **Plant Pathology**, v. 48, n. 2, p. 189-201, 1999.
- VENTURIERI, A. et al. Relação entre Ocorrência do Amarelecimento Fatal do Dendezeiro (*Elaeis guineensis* Jacq.) e Variáveis Ambientais no Estado do Pará. In: **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Natal-RN. Anais XIV, Natal: INPE, 25-30 abril, p. 523-530, 2009.

## 2 CARACTERIZAÇÃO GEOESTATÍSTICA DO RAIOS DE INCIDÊNCIA DO AMARELECIMENTO FATAL EM PALMA DE ÓLEO NA AMAZÔNIA ORIENTAL

### RESUMO

Os plantios de palma de óleo no Brasil, principalmente os maiores plantios localizados no estado do Pará, sofrem com a incidência do amarelecimento fatal (AF). O presente trabalho tem por objetivo determinar o raio de incidência e disseminação do AF em plantio de palma de óleo orgânica na Amazônia Oriental. A área experimental se localiza no município do Acará (PA), em plantio de palma de óleo pertencente à empresa do Grupo AGROPALMA S.A. Para realização do estudo selecionou-se 15 parcelas de palma de óleo, com tamanho em média 30 ha cada. As amostragens das plantas foram realizadas por funcionários da empresa, que mensalmente cada planta da área de estudo era visitada pelo menos uma vez. Cada uma destas plantas foi considerada um ponto amostral, no qual se obteve o valor da variável binária, 1 (um) para planta afetada com o Amarelecimento Fatal e 0 (zero) para ausência do AF. Por meio do georreferenciamento (latitude e longitude) das plantas foram geradas as variáveis regionalizadas utilizadas na geoestatística. Assim, a variabilidade espacial foi analisada por meio de técnicas de modelagem geoestatística construídas a partir de semivariogramas experimentais, testados por meio de modelos matemáticos, esférico, gaussiano, exponencial, linear e aleatório (efeito pepita puro). Por meio dos semivariogramas observou-se que os modelos que melhor se ajustaram à distribuição espacial do AF foram: efeito pepita puro, gaussiano, esférico e exponencial. Com valores de alcance para a área experimental variando de 200 a 570 metros, com formação de reboleiras para a doença. A geoestatística se mostrou promissora para avaliar a dispersão da incidência do Amarelecimento Fatal em áreas de plantio de palma. Os resultados do alcance da incidência indicam que a partir de áreas de foco de plantas com sintoma de AF pode aumentar a incidência da mesma para outras plantas e/ou talhões de palma de óleo.

**Palavras Chave:** variabilidade espacial, *Elaeis guineenses*, krigagem e raio de propagação.

### ABSTRACT

Oil palm plantations in Brazil, mainly the largest plantations located in the state of Pará, suffer from the incidence of Fatal Yellowing (FY). The present work has the objective of determining the incidence and spread of FA in organic palm oil planting in the Eastern Amazon. The experimental area is located in the municipality of Acará (PA), in oil palm plantation belonging to the company of the AGROPALMA S.A. Group. For the study, 15 oil palm plots with an average size of 30 ha each were selected. Samplings of the plants were performed by company officials, who each plant in the study area was visited on a monthly basis at least once. Each of these plants was considered a sampling point, in which the value of the binary variable was obtained, 1 (one) for plant affected with FY and 0 (zero) for absence of this FY. Through the georeferencing (latitude and longitude) of the plants, the regionalized variables used in the geostatistics were generated. Thus, spatial variability was analyzed using geostatistical modeling techniques constructed from experimental semivariograms, tested using mathematical, spherical, Gaussian,

exponential, linear and random models (pure nugget effect). By means of semivariograms it was observed that the models that best fit the spatial distribution of the FA were: pure, gaussian, spherical and exponential pepita effect. With range values for the experimental area varying from 200 to 570 meters, with formation of reefs for the disease. Geostatistics showed promise to evaluate the dispersion of the FY incidence in areas of palm plantations. The results of the incidence range indicate that from areas of focus of plants with AF symptom can increase the incidence of the same to other plants and / or palm oil fields.

**Keywords:** spatial variability, Guinean *Elaeis guineenses*, kriging and propagation ray.

## 2.1 Introdução

A Palma de Óleo (*Elaeis guineensis* Jacq.), ou popularmente conhecida como dendezeiro, é uma palmeira de origem africana e no Brasil as maiores áreas cultivadas encontram-se na região amazônica (BRAZILIO et al., 2012). A área cultivada no Brasil é de aproximadamente de 170 mil hectares, onde o Estado do Pará é o maior produtor nacional de palma de óleo com mais de 90% de área plantada (SAGRI, 2013). De acordo com Santos (2010), esta palmeira representa a segunda mais importante fonte de óleo vegetal.

Segundo dados da ABRAPALMA (2018) a produção de palma de óleo é liderada pela Indonésia e Malásia representando 48,90 % (25,4 milhões de toneladas de óleo de palma) e 35,60 % (18,5 milhões de toneladas de óleo de palma) da produção mundial, respectivamente, já a produção brasileira representa menos que 1% dessa produção (300 mil toneladas de óleo de palma). Em 2016, a área plantada de palma de óleo representada pelo Pará foi de 70% (99.402 ha) do total plantado no Brasil e a produção em cacho de coco representa cerca de 90 % (1.486.082 toneladas) (IBGE-SIDRA, 2018).

Entretanto, os problemas fitossanitários são um dos fatores limitantes da exploração do cultivo da Palma de Óleo, que é de relevante expressão econômica (DUARTE et al., 2008). O Amarelecimento Fatal da palma de óleo (AF) é um dos principais fatores que limitam a expansão da cultura, porém sua etiologia ainda é desconhecida (BOARI et al., 2012)

Diversos estudos foram realizados com objetivo de compreender a causa do AF, por fatores bióticos (CELESTINO FILHO et al., 1993; SILVA et al., 1996; VAN DE LANDE e ZADOKS, 1999; SILVA et al. 2016); fatores abióticos (BERGAMIN FILHO et al., 1998; LARANJEIRA et al., 1998; BERNARDES, 2001; VENTURIERE et al.



2009; MORAES et al., 2011), e atualmente há uma tendência em aceitar que alterações em componentes abióticos propiciadas pelas condições locais de solo e/ou clima favoreçam o desenvolvimento do problema (ARAÚJO, 2016; AMARAL, 2016; NASCIMENTO, 2018).

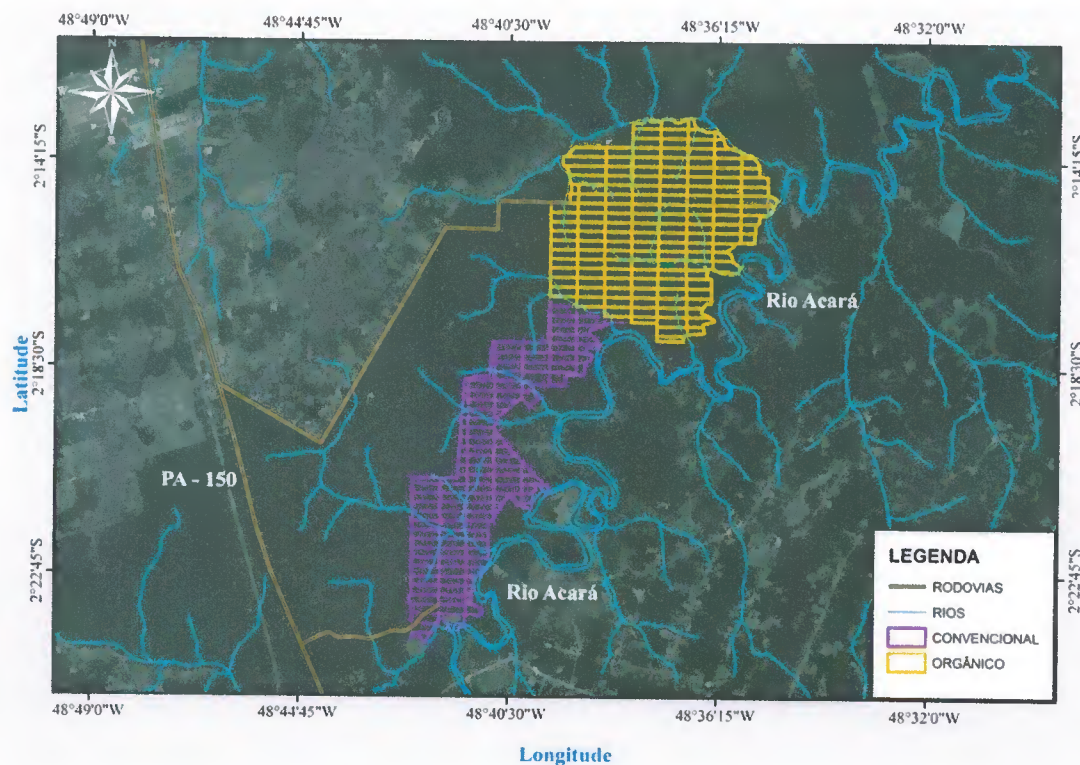
Caracterizar a distribuição espacial de um plantio atacado por uma anomalia torna mais fácil entender a causa do problema (SALES, 2011). O esclarecimento da forma de disseminação do AF é de fundamental importância para o desenvolvimento de estratégias para futuras pesquisas. A partir dessas informações o presente trabalho tem por objetivo analisar a distribuição espacial e temporal da incidência do AF em parcelas de plantio de palma de óleo no município do Acará-PA.

## **2.2 Material e Métodos**

### **2.2.1 Área Experimental**

A área de estudo está localizada na Fazenda Companhia Palmares da Amazônia (Figura 1) no município do Acará, Pará, sendo esta pertencente ao Grupo AGROPALMA S.A., sendo sua localização pelas coordenadas de latitude: 2° 16' 26,16"S e longitude: 48° 39' 7,41"O. O clima é classificado como Ami, de acordo com Köppen, com estação chuvosa, de dezembro a junho e estação seca, de julho a novembro. A média de precipitação anual é de 2.400 mm. A temperatura média anual é 26,5°C e a umidade relativa do ar é de 80%. Solo altamente intemperizados com predomínio de Latossolo (EMBRAPA, 2006).

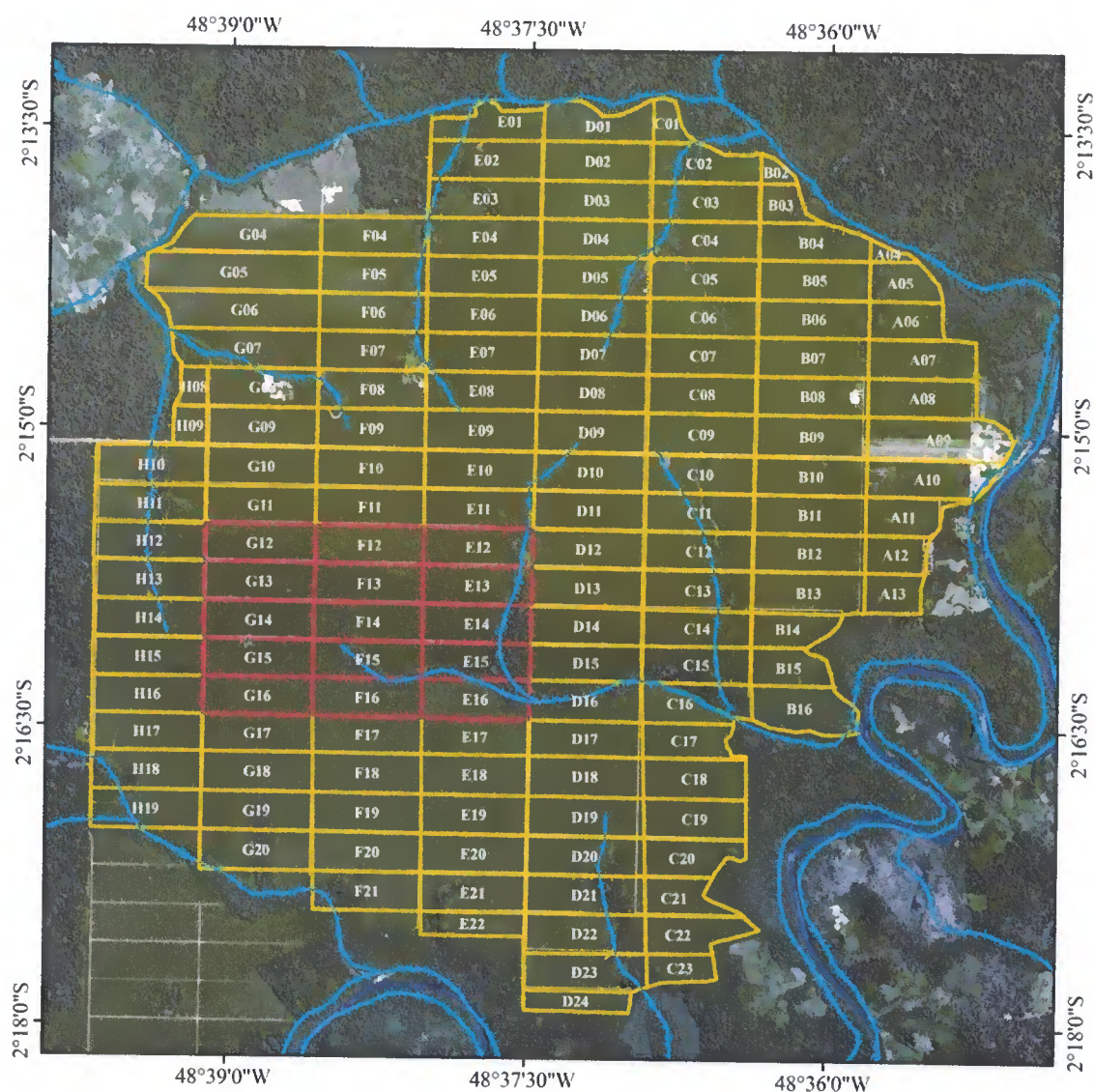
**Figura 1:** Mapa da Fazenda Companhia dos Palmares da Amazônia, localizada no município do Acará-PA.



**Fonte:** Autor (2018).

O plantio da palma de óleo é feito pela empresa em triângulo equilátero para maior aproveitamento da densidade de plantas por hectares, o espaçamento era escolhido com base no material genético que era utilizado, a empresa adota o sistema de ruas limpas e ruas sujas intercaladas. Ao realizar o manejo das plantas através da poda das folhas senescentes, estas são deixadas na “rua” formada entre duas fileiras de plantas e deixa-se a outra limpa, sem ocorrência de plantas nas ruas com a finalidade de facilitar o acesso de funcionários e máquinas agrícolas para realização das atividades agrícolas.

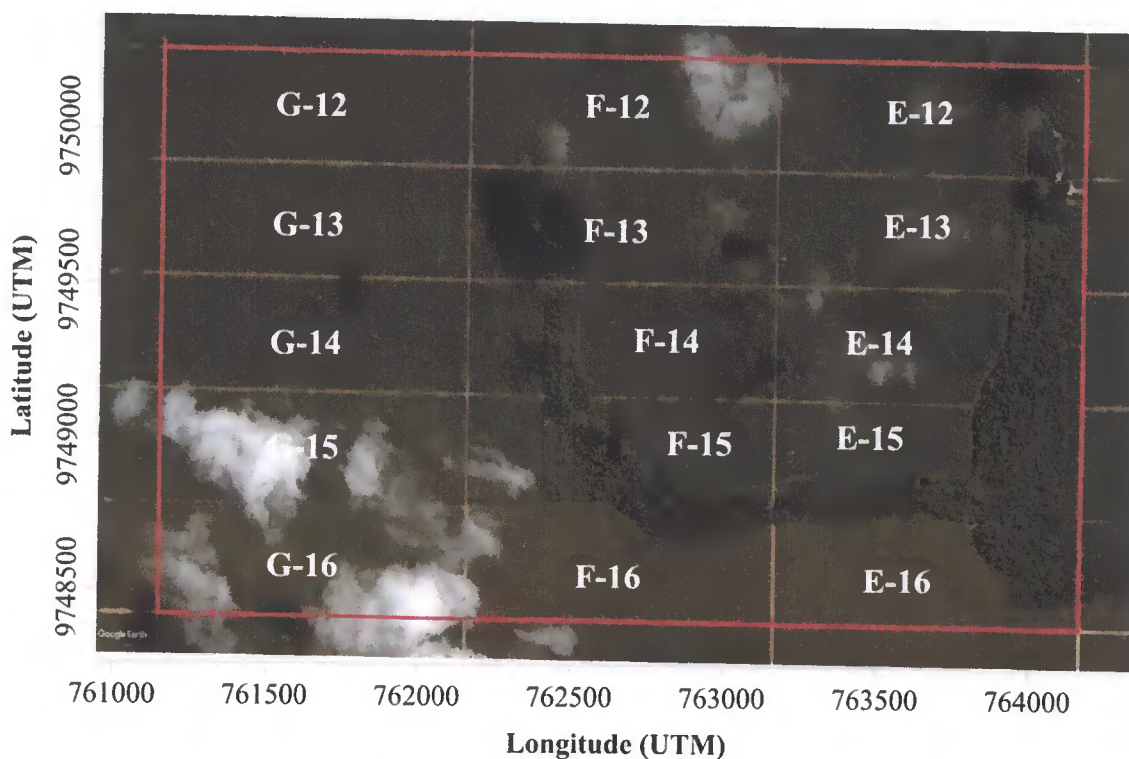
**Figura 2:** Mapa da área de plantio orgânico de palma de óleo na Fazenda Companhia dos Palmares da Amazônia, localizada no município do Acará-PA.



**Fonte:** Autor, 2018.

Na propriedade de estudo encontramos plantio orgânico e convencional, a área de plantio orgânico apresenta 140 parcelas de plantio de palma de óleo (Figura 2), dentre destas foram selecionadas 15 parcelas que apresentaram maior quantidade de plantas afetadas pelo Amarelecimento Fatal, sendo algumas parcelas localizadas em áreas de preservação permanente (APP) e outras apenas o plantio de palma de óleo.

**Figura 3:** Mapa Georreferenciado da área experimental, com numeração das parcelas de estudo de plantio de palma de óleo.



**Fonte:** Autor (2018).

As parcelas selecionadas foram: G12, G13, G14, G15, G16, F12, F13, F14, F15, F16, E12, E13, E14, E15, E16, sendo que algumas destas apresentam algumas características diferentes umas das outras, totalizando na área experimental 62.914 plantas. As informações sobre os talhões foram fornecidas pela empresa do Grupo AGROPALMA S.A. e outras como, tamanho da área, mensurados através de polígonos criados no software ArcGIS 10.1, utilizando como base o mapa georreferenciado (Figura 3), para assim gerar uma tabela com as características de cada parcela (Tabela 1).

**Tabela 1:** Características das 15 parcelas selecionadas para estudo, na área experimental, em plantio de palma de óleo, no município do Acará/Pa.

Parcela	Plantas	Área (ha)	Densidade*	Material Genético	Ano de Plantio
G12	4.864	35,0	139	Deli x Lamé	1990
G13	4.864	35,0	139	Deli x Lamé	1990
G14	4.864	35,0	139	Deli x Lamé	1990
G15	4.864	35,0	139	Deli x Lamé	1996
G16	4.864	35,0	139	Deli x Lamé (EMBRAPA)	2001
F12	4.864	35,0	139	Deli x Lamé	1990
F13	4.864	35,0	139	Deli x Lamé	1990
F14	4.168	30,0	139	Deli x Lamé	1990
F15	3.162	22,8	139	Deli x Lamé	1990
F16	4.964	31,8	156	Deli x Lamé	2000
E12	3.795	27,3	139	Deli x Lamé	1989
E13	3.805	27,7	137	Deli x Lamé	1990
E14	3.504	25,2	139	Deli x Lamé	1990
E15	1.901	13,7	139	Deli x Lamé	1990
E16	3.567	25,5	140	Deli x Lamé (EMBRAPA)	2000

\*Total de Plantas/Área da Parcela (ha)

**Fonte:** Autor, 2018.

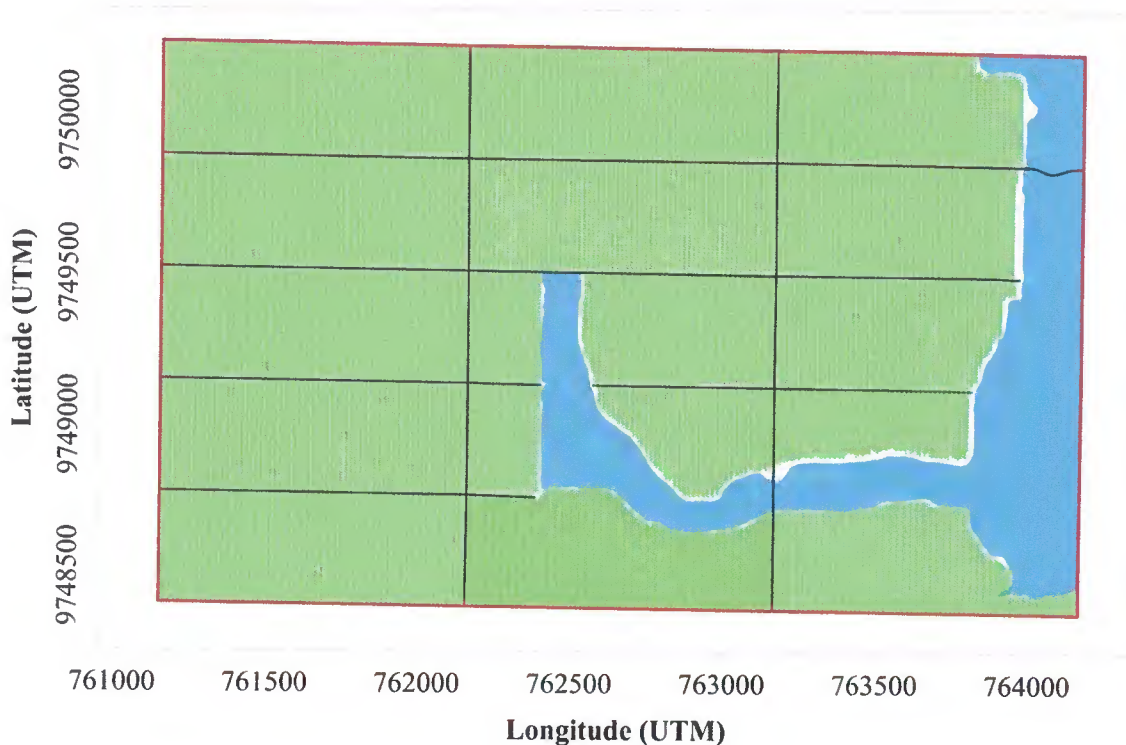
### 2.2.2 Georreferenciamento das Parcelas

Dentro do Sistema de Informação Geográfica (SIG), o ponto é uma “posição virtual” baseada no cruzamento de coordenadas (latitude e longitude) podendo ser criado de várias maneiras, entretanto, originando sempre uma posição com coordenadas específicas podendo ou não ser enriquecido com comentários e símbolos (MAIA, 2008). Para o presente estudo as coordenadas do ponto utilizadas foram transformadas para o sistema UTM (Universal Transversa de Marcator), seguindo o sistema de coordenadas retangulares.

A partir da imagem georreferenciada (Figura 3), com a utilização do software SURFER 14.0, foi possível realizar as digitalizações em pontos de cada planta presente na área experimental, sendo obtidas as coordenadas (latitude e longitude) e as representações de cada planta (linha e número da planta) presentes nas parcelas (FARIAS, 2004; MAIA, 2008; SILVA et al., 2011; SILVA, 2015; OLIVEIRA et al. 2016) totalizando 62.914 plantas de palma de óleo georreferenciadas, as estradas de acesso e a área de preservação permanente também foram digitalizadas para auxiliar na pesquisa.

Foi confeccionado um mapa digitalizado (Figura 4), com todas as informações georreferenciadas da área experimental, sendo os pontos em verdes referentes a uma planta de palma de óleo, a área em azul área de preservação permanente e a linha em preto as estradas de acesso.

**Figura 4:** Mapa Digitalizado da área experimental utilizando SIG, com ruas de acesso, áreas de APP e plantas de palma de óleo orgânica.



**Fonte:** Autor (2018).

### 2.2.3 Amostragem do amarelecimento fatal e construção do banco de dados

O Grupo AGROPALMA S.A. apresenta internamente um setor de Fitossanidade responsável pela amostragem de todas as injúrias ou doenças que a palma de óleo apresenta. Os funcionários responsáveis pela amostragem da doença são constantemente treinados para apresentar uma boa apuração de plantas afetadas. Os plantios foram vistoriados diariamente, sendo que ao final de cada mês todas as plantas eram visitadas. De tal forma, o banco de dados apresenta informações bem detalhadas sobre o avanço do amarelecimento fatal nas parcelas de estudo.

A partir das amostragens mensais de cada parcela foi possível determinar as plantas doentes e registrar o período de obtenção da doença. Cada uma dessas plantas avaliadas foi considerada um ponto amostral, no qual se obteve o valor da variável binária, 1(um)

para planta infectada com o Amarelecimento Fatal e 0 (zero) para a planta com ausência da doença (FARIAS, 2003; MAIA, 2008; SILVA et al., 2011; SILVA, 2015; AMARAL, 2016; OLIVEIRA et al. 2016).

## 2.2.4 Análise Geoestatística

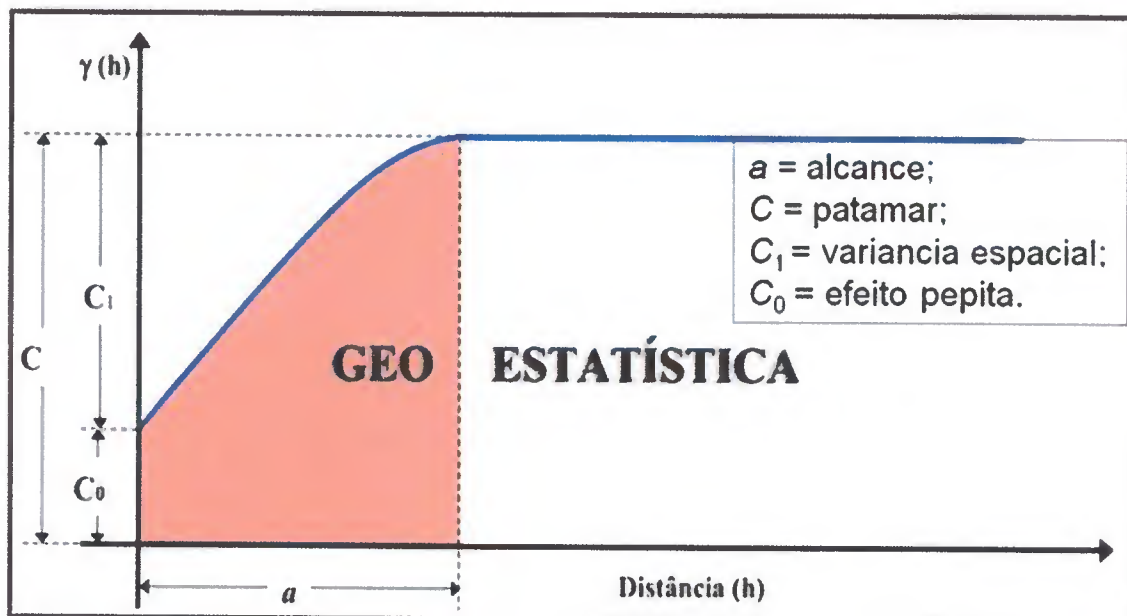
### 2.2.4.1 O semivariograma experimental

A análise geoestatística da distribuição espacial do Amarelecimento Fatal foi realizada, inicialmente, por meio da modelagem dos semivariogramas para cada época de avaliação e, posteriormente, da confecção dos mapas de Krigagem. Todas as plantas das parcelas com presença ou ausência do amarelecimento fatal nos diferentes anos avaliados foram consideradas as variáveis regionalizadas  $Z$ , que variam continuamente no espaço geográfico, a partir da longitude ( $X$ ) e latitude ( $Y$ ) que se tem de cada ponto amostral.

Foram obtidos semivariogramas experimentais para cada ano de amostragem, e então foram testados os ajustes dos seguintes modelos matemáticos: linear, esférico, exponencial e gaussiano. Em seguida, foram obtidos os mapas de superfície por meio da krigagem, e nestes estão representadas as reboleiras da praga no campo.

A etapa mais importante da geoestatística é a construção do semivariograma que informa o tipo e a forma da dependência espacial e, segundo Vieira et al. (1983) fornece dados para construção dos mapas. É um gráfico da semivariância em função da distância, ou seja, é uma função que relaciona a semivariância com o vetor distância (Figura 5).

**Figura 5:** Esquema do semivariograma experimental.



Fonte: Adaptado de Guerra (1988).

Esquemáticamente a Figura 5 representa:

**Alcance (a):** À medida que a distância entre os pares aumenta, a variabilidade tenderá a aumentar até atingir um determinado nível. A distância onde o variograma atinge este nível é denominado de alcance ou “range”.

**Patamar (C):** Representa o nível de variabilidade onde o variograma se estabiliza. Este patamar deve ser teoricamente igual à variância amostral. Este parâmetro é também denominado “Sill”.

**Variância Espacial (C<sub>1</sub>):** Representa as diferenças espaciais entre os valores de uma variável tomada em dois pontos separados por distâncias cada vez maiores.

**Efeito Pepita (C<sub>0</sub>):** Para distância igual a zero ( $h=0$ ), o variograma deveria apresentar variabilidade nula. Entretanto, vários fatores como erros de amostragens, erros de medidas ou ainda microregionalizações da variável em análise, causam uma descontinuidade na origem do variograma, denominado de efeito pepita ou *nugget effect*.



#### 2.2.4.2 O cálculo do modelo matemático

A construção do semivariograma calcula-se, pela equação:

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

No qual  $N(h)$  é o número total de pares de plantas doentes, separados por uma distância  $h$ . O gráfico de  $\gamma^*(h)$  versus os valores correspondentes de  $h$ , chamado semivariograma, é função da distância ( $h$ ), sendo, portanto, dependente na magnitude e direção da distância. Em casos de variáveis espacialmente dependentes, espera-se que os incrementos  $[Z(x_i) - Z(x_i+h)]$  aumentem com a distância até um ponto de estabilização, um limiar simbolizado por  $C$ , que se aproxima numericamente da variância dos dados (FARIAS et al., 2002).

#### 2.2.4.3 Modelos

O ajuste de modelo apropriado para estimar as estatísticas espaciais é vital na geoestatística, tendo em vista que cada modelo produz diferentes valores para a semivariância, patamar, efeito pepita e alcances, os quais são fundamentais na interpolação por krigagem (TRANGMAR et al., 1985).

Dependendo do comportamento de  $\gamma^*(h)$  para os altos valores de  $h$ , os modelos podem ser classificados em modelos com patamar (“Sill”) e modelos sem patamar. Os modelos que apresentam patamar são normalmente ajustes que representam a estacionaridade de segunda ordem.

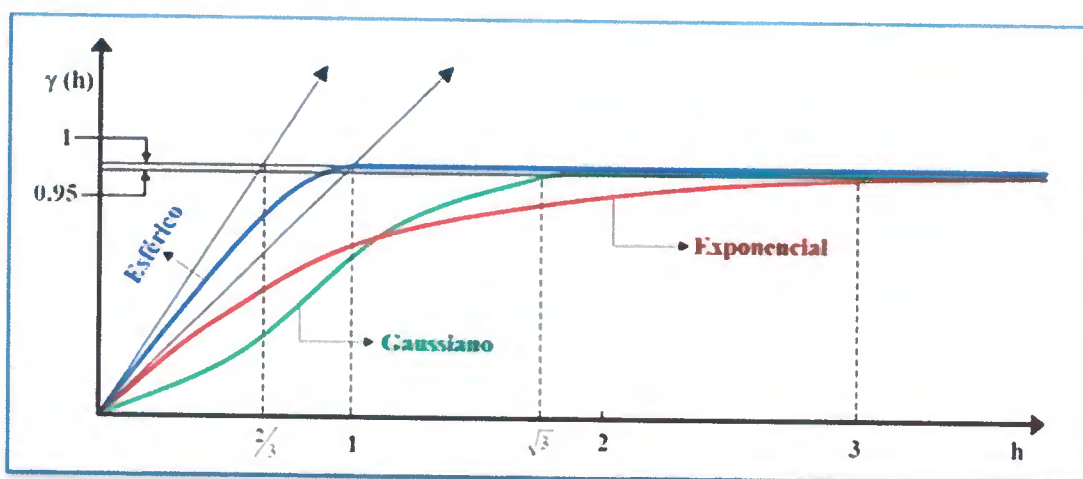
A semivariância aumenta à medida que aumenta a distância entre as amostras, até atingir um patamar (“Sill”), onde se estabiliza. Este patamar deve ser teoricamente igual à variância amostral. A distância em que o semivariograma atinge o patamar é denominado de alcance (“range”), que corresponde ao raio de dependência da variável. Os modelos utilizados dentro deste grupo, que são utilizados em estudos bióticos, estão representados na Figura 8.

O modelo do semivariograma revela muitas características da variação espacial do atributo em estudo. Um variograma errático sugere que poucas amostras foram usadas

para calcular a semivariância. Para se obter um variograma estável, é necessário de 50 a 100 pontos (BURROUGH e McDONNELL, 1998).

O alcance fornece uma informação a respeito do tamanho do raio de procura que deve ser usado, pois toda amostra, cuja distância ao ponto a ser estimado for menor ou igual ao alcance, fornece informações sobre o ponto. Quando o alcance é menor que a distância entre as amostragens, tem-se o chamado efeito pepita puro e uma distribuição espacial completamente ao acaso, deixando-se de aplicar os princípios da geoestatística. (SOARES, 2006)

**Figura 6:** Semivariogramas experimentais com patamar.



Fonte: Adaptado de Rendu (1978).

#### 2.2.4.4 Modelo Esférico

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

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

O modelo esférico é obtido selecionando-se os valores do efeito pepita,  $C_0$ , e do patamar,  $C_1$ , depois se passando uma reta que intercepte o eixo-y em  $C_0$  e seja tangente

aos primeiros pontos próximos de  $h=0$ . Essa tangente cruzará o patamar à distância,  $a'=2/3 a$ . Assim, o alcance,  $a$ , será  $a=3a'/2$ . O modelo esférico é linear até aproximadamente  $1/3 a$ .

#### 2.2.4.5 Modelo Exponencial

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

No qual  $d$  é a máxima distância na qual o semivariograma é definido. Uma diferença fundamental entre o modelo exponencial e o esférico é que o exponencial atinge o patamar apenas assintoticamente, enquanto que o modelo esférico o atinge no valor do alcance. O parâmetro  $a$  é determinado visualmente como a distância após a qual o semivariograma se estabiliza. Os parâmetros  $C_0$  e  $C_1$  para os modelos exponencial e gaussiano são determinados da mesma maneira que para o esférico.

#### 2.2.4.6 Modelo Gaussiano

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

A função é parabólica próxima à origem. Este modelo apresenta um alcance extenso e o patamar semelhante ao modelo exponencial.

#### 2.2.4.7 Modelo Pepita Puro

$$\gamma(h) = C$$

Para qualquer  $h$ , à medida que aumenta a descontinuidade na origem do semivariograma, mais aleatório é o fenômeno que originou a variável em análise. Esta característica decorre de uma provável regionalização, inferior à escala de trabalho da malha de amostragem e/ou às variações espúrias associadas com a coleta e medição das amostras.

#### 2.2.4.8 Índice de dependência espacial

Utilizando-se os parâmetros definidos no ajuste do semivariograma ( $C_0$  e  $C_1$ ) foi calculada a porção da variabilidade decorrente da dependência espacial ou índice de dependência espacial (IDE), representado por  $k$ , pela relação de  $C_0/(C_0+C_1)$ . Os valores obtidos foram classificados em forte dependência espacial se  $k < 25$ , moderada dependência espacial se  $25 \leq K \leq 75$  e fraca dependência espacial se  $k > 75$  (CAMBARDELLA, 1994; SALES, 2011; PINHO, 2016, DIONÍSIO et al., 2015).

#### 2.2.4.9 Krigagem

É definido como um processo para se estimar valores de variáveis especialmente distribuídas a partir de valores adjacentes considerados dependentes pelo semivariograma. (LANDIM, 1998). A Krigagem é considerada como o melhor estimador porque produz menor variância do erro (VIEIRA, 1994).

Em diversas situações o interesse está principalmente na estimação de valores em pontos não amostrados, seja por um interesse local ou pela intenção de obter um detalhamento da área que vai além do permitido pela amostra. Nesse caso é preciso obter um estimador que forneça informações mais detalhadas.

A proposta de estimação Geoestatística é a Krigagem. As observações são dependentes, ao menos a certas distâncias, utilizam-se os vizinhos de forma que o estimador é, simplesmente, uma média ponderada dos valores observados na vizinhança (OLIVEIRA, 2007).

De posse dos parâmetros, o mapa de krigagem foi confeccionado, a partir da interpolação dos pontos amostrados para a obtenção de uma estimativa, dada pela seguinte equação:

$$Z(x_0) = \sum_{i=1}^N \lambda_i Z(x_i).$$

Onde  $N$  representa o número de vizinhos medidos,  $Z(x_i)$ , utilizados na estimativa da propriedade e  $\lambda_i$  são os ponderadores aplicados a cada  $Z(x_i)$ , que são selecionados de modo que a estimativa não seja tendenciosa (FARIAS et al., 2003).

### **2.2.5 Softwares utilizados nas análises**

Para construção do banco de dados para posteriores análises da distribuição espacial, análise temporal, gráficos e tabelas, utilizou-se o software Microsoft Excel 2016. As análises de estatística descritiva (média, variância, desvio padrão e etc) e as análises de correlação linear foram utilizadas com o software STATISTICA 8.0.

Para confecção dos mapas de localização da área experimental foi utilizado o software ArcGIS 10.1. e para elaboração e ajustes dos semivariogramas aos modelos matemáticos, e a construção dos mapas a partir dos valores estimados por krigagem, foi utilizado o software computacional Surfer 14.0 (Golden Software).

## **2.3 Resultados e Discussão**

A partir de um estudo detalhado da amostragem de AF realizada nessas parcelas, foi possível visualizar a evolução da doença (Tabela 2), durante os 14 anos avaliados, com informações sobre a contagem de plantas com AF e o total de plantas em cada ano com essa doença.

Durante os 14 anos de análise pode-se observar o que no intervalo de 2001 a 2008 as quantidades de plantas com AF eram baixas, visto que não havia dentre as 15 parcelas 10 plantas doentes, entretanto a partir do ano de 2009 ocorre uma modificação nesse panorama, sendo que nos anos seguintes o AF intensificou sua propagação por essas áreas estudadas.

**Tabela 2:** Contagem de plantas sintomáticas com Amarelecimento Fatal em uma área experimental de plantio orgânico, no período de 2001 a 2014.

Época	Plantas com AF	Total de Plantas com AF	Incidência (%) <sup>a</sup>
2001	4	4	0,006%
2002	6	10	0,016%
2003	8	18	0,029%
2004	6	24	0,038%
2005	4	28	0,045%
2006	8	36	0,057%
2007	8	44	0,070%
2008	5	49	0,078%
2009	58	107	0,170%
2010	218	325	0,517%
2011	1.404	1.729	2,748%
2012	1.837	3.566	5,668%
2013	2.464	6.030	9,585%
2014	1.688	7.718	12,268%

<sup>a</sup>(plantas com AF/plantas sadias)

**Fonte:** Autor (2018).

A partir da análise da estatística descritiva (Tabela 3), as médias de ocorrência de casos de AF aumentaram significativamente a partir dos anos de 2011, os valores de variância foram bastante altos a partir desse ano, isso pode ser explicado devido às ocorrências registradas de plantas com AF foram diferentes para cada parcela. Isso pode ser mais bem observado entre os valores de mínimo e máximo indicando que algumas parcelas tiveram maiores predisposição a serem afetadas pelo AF.

No ano de 2011 (Tabela 3) podemos observar que enquanto havia parcela com 513 ocorrências do AF também havia parcelas com nenhum caso registrado, isso foi mudando com o passar dos anos. Os valores altos de Coeficiente de Variação (CV) em cada ano avaliado, com valores de 92,51 % a 263,90 %, indicam que as ocorrências de AF são bastante heterogêneas, então o comportamento da incidência de plantas com sintomas de AF seria melhor explicado por análises espaciais.

Esses resultados altos de CV% (Tabela 3) indicam segundo Pimentel-Gomes (1985), que definiu uma classificação para valores de CV obtidos a partir de estatística descritiva, que valores estes acima de trinta por cento,  $CV > 30\%$ , indicam dispersão muito alta dos dados. Para haver um melhor esclarecimento sobre a propagação do AF nas parcelas da área experimental se faz necessário uma análise espacial e temporal dessas

parcelas, para assim tentar determinar a forma de propagação, com destaque as parcelas F16, E15, G13 e G14, que apresentaram maiores taxas de incidência do AF.

**Tabela 3:** Estatística descritiva dos variáveis anos de incidência de plantas com sintomas do AF, por parcela, da área experimental de plantio orgânico de palma de óleo, no município do Acará/Pa.

Época	Média	Mínimo	Máximo	Curtose	Assimetria	CV(%)
2001	0,27	0	1	1,18	-0,73	171,65
2002	0,40	0	2	1,41	1,26	158,11
2003	0,53	0	2	0,80	-0,13	119,99
2004	0,53	0	2	1,07	-0,11	139,35
2005	0,27	0	2	2,40	4,35	263,90
2006	0,40	0	3	2,54	7,07	207,02
2007	0,53	0	3	1,82	2,90	171,65
2008	0,60	0	5	3,14	10,78	216,39
2009	3,53	0	23	2,39	5,94	181,81
2010	15,13	0	142	3,27	11,29	245,24
2011	96,27	0	513	1,73	1,48	181,83
2012	124,93	1	675	2,63	8,12	137,02
2013	170,33	12	1087	3,19	10,90	158,57
2014	122,47	18	359	1,22	0,02	92,51

**Fonte:** Autor (2018).

A partir das análises geoestatísticas e das quantidades de plantas infectadas nas parcelas estudadas por meio dos modelos ajustados pelos semivariogramas experimentais, as avaliações indicam um comportamento do AF, aos modelos efeito pepita puro, gaussiano, esférico e exponencial (Figuras 7 a 9).

Dentre os 14 anos estudados, observa-se na Tabela 4 que nos primeiros 9 anos do surgimento da doença nos plantios (2001 a 2009), o modelo que melhor se ajustou foi o efeito pepita puro, isso provavelmente foi influenciado devido à baixa incidência de plantas doentes para o tamanho do estudo de 15 parcelas, nesses primeiros anos, com os dados não apresentando dependência espacial, indicando não ser possível se estimar através da krigagem o comportamento da doença nesses anos iniciais.

**Tabela 4:** Parâmetros dos semivariogramas ajustados ao modelo teórico, coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e parâmetro  $k$  para análise de dependência espacial nas parcelas de estudo em plantio de palma de óleo no município do Acará, Pará.

Época	Incidência (%)	Parâmetros			$R^2$	$k^a$	Modelo	Grau de Dependência
		$C_0$	$C_1$	a (m)				
2001	0,006%						Pepita Puro	
2002	0,016%						Pepita Puro	
2003	0,029%						Pepita Puro	
2004	0,038%						Pepita Puro	
2005	0,045%						Pepita Puro	
2006	0,057%						Pepita Puro	
2007	0,070%						Pepita Puro	
2008	0,078%						Pepita Puro	
2009	0,170%						Pepita Puro	
2010	0,517%	0,0044	0,0017	300	0,99	0,721	Gaussiano	Moderado
2011	2,748%	0,0164	0,0160	510	0,99	0,506	Esférico	Moderado
2012	5,668%	0,0400	0,0180	530	0,99	0,690	Esférico	Moderado
2013	9,585%	0,0670	0,0200	570	0,99	0,770	Esférico	Fraco
2014	12,268%	0,0840	0,0220	200	0,99	0,792	Exponencial	Fraco

$$^a C_0 / (C_0 + C_1)$$

**Fonte:** Autor (2018).

Entretanto, a partir do ano de 2010, como se observa na Tabela 4, houve ajuste ao modelo gaussiano no comportamento espacial dessa doença, ano esse no qual houve um aumento significativo com relação ao ano anterior de 2009, indicando que há probabilidade de nas áreas no qual se formarem reboleiras de AF, apresentarem uma alta suscetibilidade a essa doença.

Nos anos de 2011, 2012 e 2013, houve uma mudança no comportamento espacial, passando para um modelo esférico indicando maiores formação de reboleiras e aumento no risco de disseminação da doença no plantio. No último ano avaliado, 2014, os dados se ajustaram ao modelo exponencial essa modificação deve ter ocorrido devido a alta disseminação da doença na área experimental.

Os modelos matemáticos obtidos apresentaram altos valores para o coeficiente de determinação ( $R^2$ ), sendo este parâmetro indica a qualidade do modelo do semivariograma, valores próximos de 1 (um) indicam bom ajuste ao modelo (SILVA et al., 2011; DIONÍSIO et al., 2015; OLIVEIRA et al., 2016). Foi observado para o presente estudo (Tabela 4) que esse coeficiente apresentou altos valores, em todas as avaliações



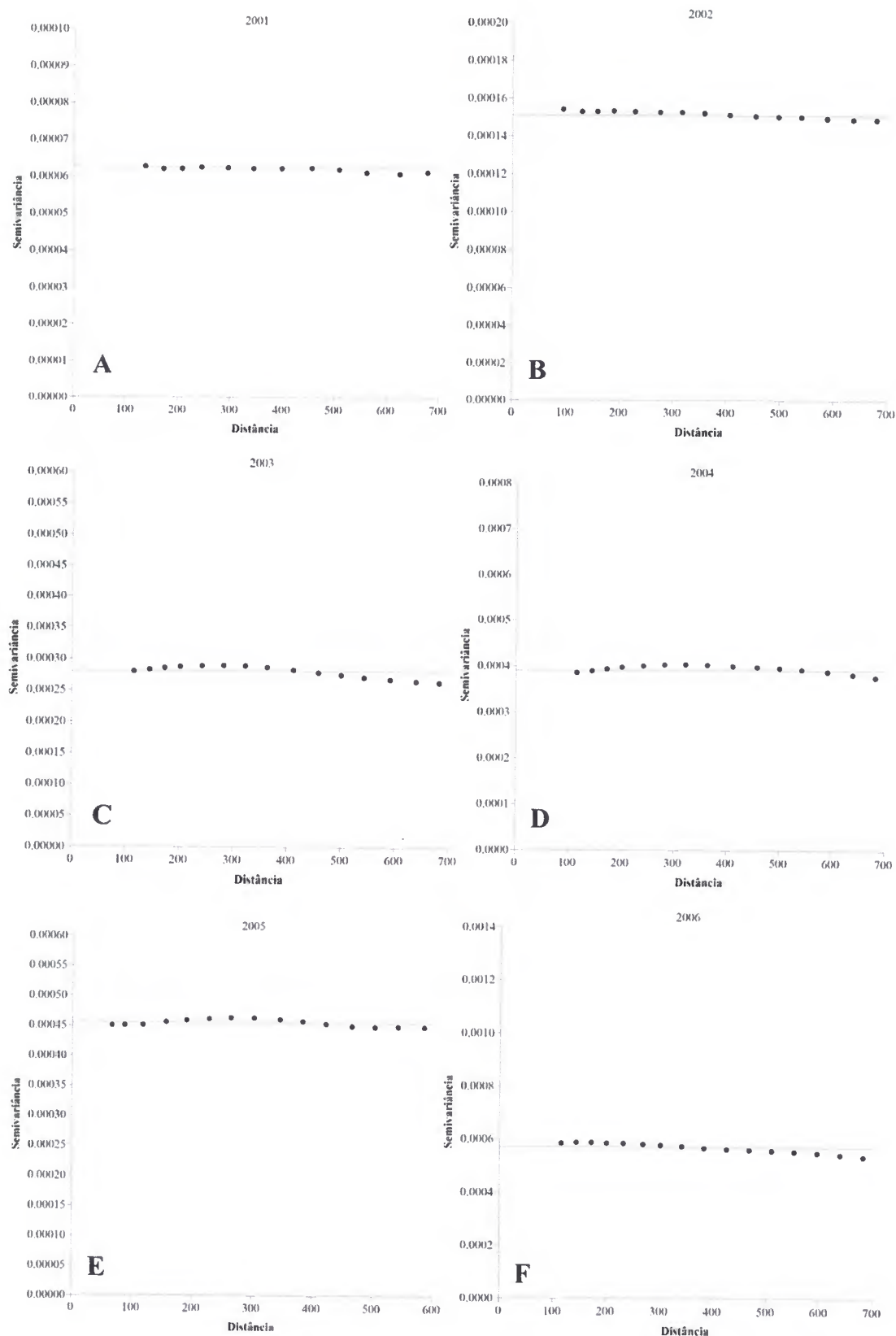
ajustadas, 0,99, indicados os modelos gaussiano, esférico e exponencial estarem bem ajustados.

O valor do alcance (a) da dependência espacial é um importante parâmetro, porque indica o raio de agregação, isto é, a distância na qual ocorre dependência espacial entre as amostras no campo, segundo Grego et al. (2006) o alcance é a distância mínima considerada entre as unidades amostrais para que elas sejam independentes entre si. No presente estudo o raio de agregação encontrado, variou de 300 m a 570 m (Tabela 1). Nota-se que o ano de 2013 apresentou o maior alcance indicando que as plantas afetadas pelo AF podem se disseminar para áreas mais distantes.

Outro parâmetro a ser levado em consideração, obtido a partir dos modelos ajustados é o índice de dependência espacial (parâmetro  $k$ ), estimado segundo Cambardella (1994), dado pela relação  $C_0/(C_0+C_1)$ , que para o presente estudo foram encontrados valores variando de 0,506 a 0,792. A dependência espacial do AF foi moderada nos meses de 2010 a 2012, e nos meses de maior incidência do AF que foram os anos de 2013 e 2014 a dependência espacial foi considerada fraca.

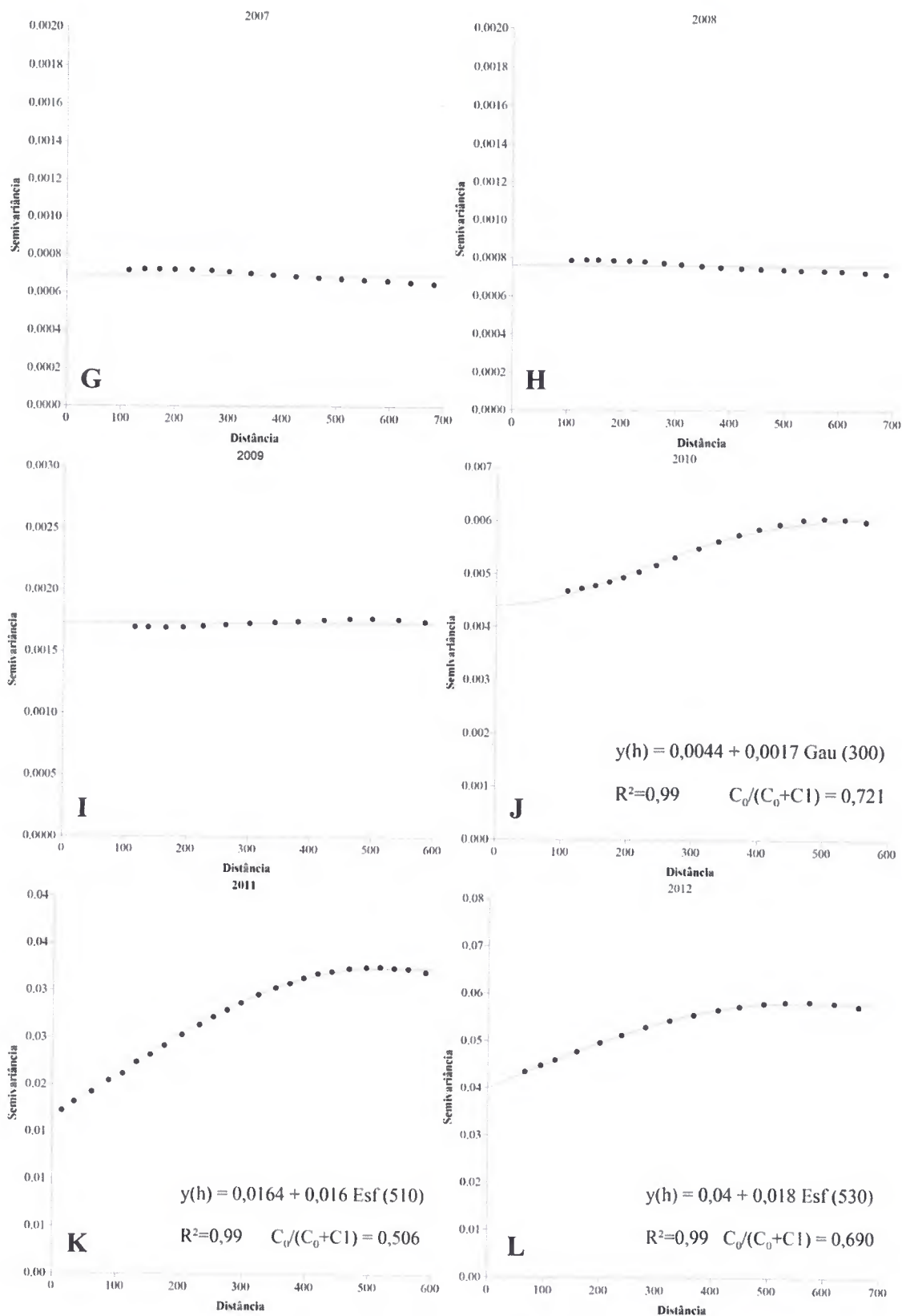
O presente trabalho apresentou resultados próximos aos estudos realizados por Sales (2011), que analisando a distribuição espacial do amarelecimento fatal em 8 parcelas de plantio de palma de óleo, observou que o houve dependência espacial melhor descritas pelo modelo esférico, com formação de reboleiras, obtendo valores de alcance variando de 18 a 50 metros, com dependências espaciais moderadas e fracas. E em outro estudo Amaral (2016) ao analisar 140 parcelas de plantio de palma de óleo orgânico com a presença de AF, obteve melhores ajustes aos modelos exponencial e gaussiano, com dependência espacial forte e valores de alcance variando de 410 a 4.400 metros.

**Figura 7:** Semivariogramas do Amarelecimento Fatal em plantio orgânico de palma de óleo no município do Acará referentes aos anos de 2001 (A), 2002 (B), 2003 (C), 2004 (D), 2005 (E), 2006 (F).



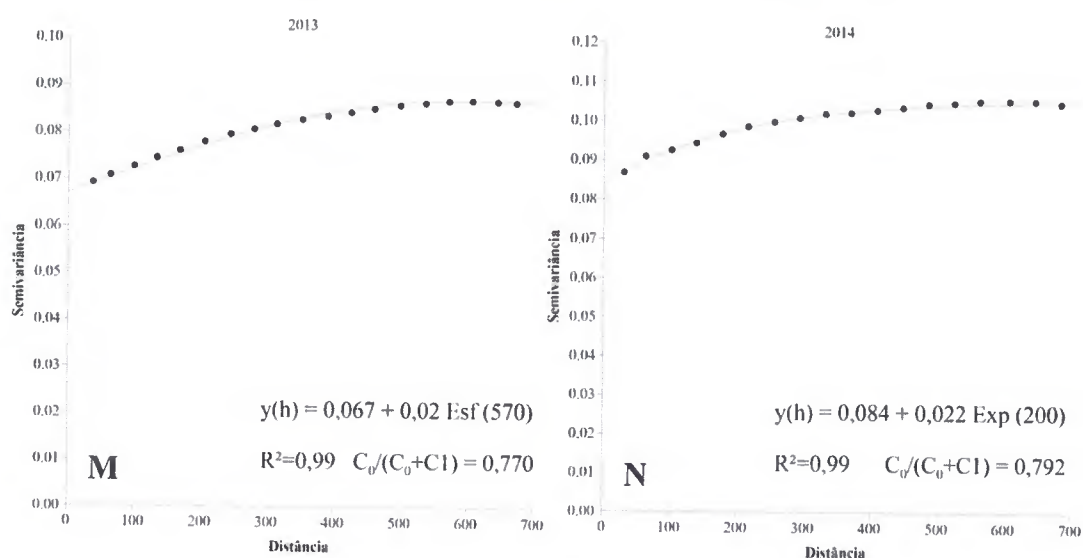
Fonte: Autor (2018).

**Figura 8:** Semivariogramas do Amarelecimento Fatal em plantio orgânico de palma de óleo no município do Acará referentes aos anos de 2007 (G), 2008 (H), 2009 (I), 2010 (J), 2011 (K), 2012 (L).



Fonte: Autor (2018).

**Figura 9:** Semivariogramas do Amarelecimento Fatal em plantio orgânico de palma de óleo no município do Acará referentes aos anos de 2013 (M), 2014 (N).

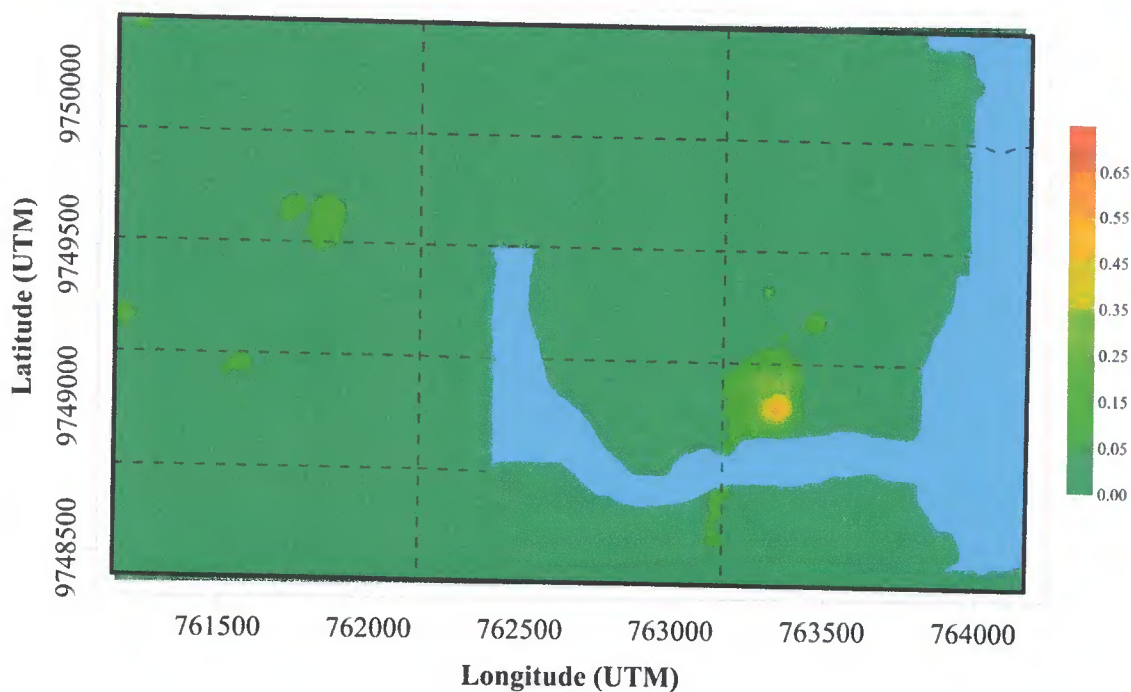


**Fonte:** Autor (2018).

Os mapas de superfície de densidade do AF (Figuras 13 a 17), obtidos pela krigagem, indicam que os níveis de incidência da doença variaram. Estes mapas permitem a visualização de áreas com intensidade na disseminação do AF em algumas parcelas, com destaque as parcelas E15, F16, G13 e G14 que apresentam áreas de agregação da doença, com formação de reboleiras geradas pelos modelos gaussiano, esférico e exponencial. Nota-se que essas áreas com formação de reboleiras (Figura 13), são áreas de risco, pois com o passar dos anos elas demonstram estar propagando a doença dentro de sua parcela para as plantas vizinhas e para os outros talhões, principalmente os localizadas no sentido Norte-Sul.

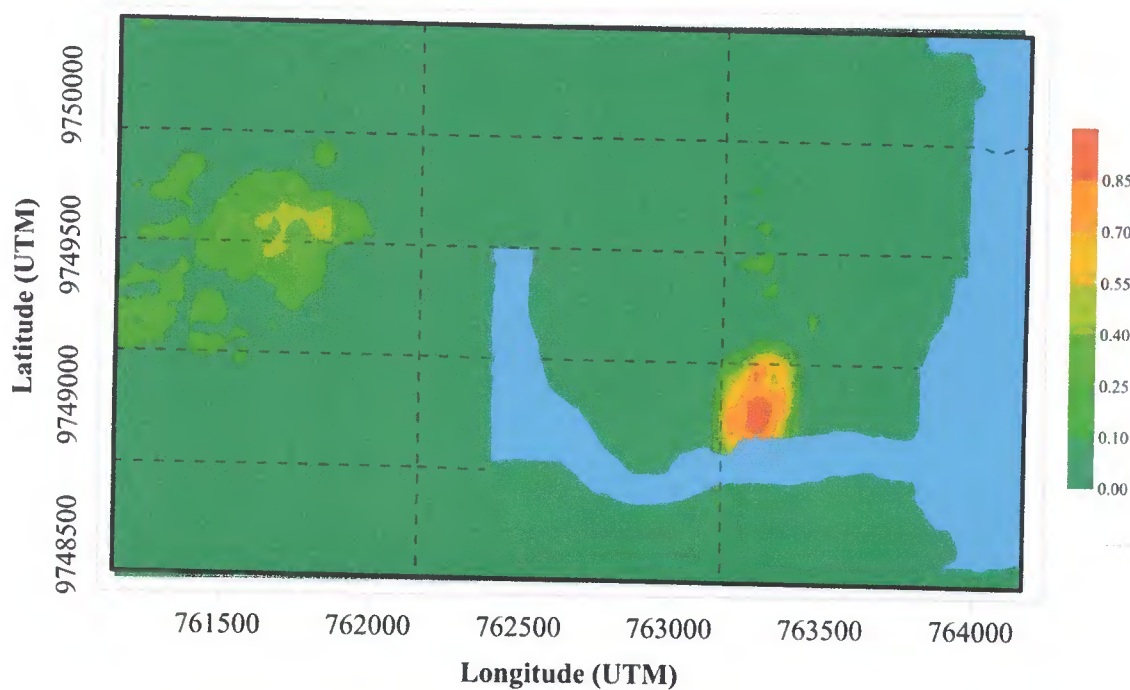
Observando os mapas de krigagem pode se inferir que as parcelas E15 e G13 (Figura 13) no ano de 2010, foram as que tiveram destaque formando reboleiras e com o passar dos anos, pode-se observar que a doença se propagou a partir dessas para outras parcelas, como ocorre com a propagação da parcela E15 para a parcela F16 sendo esta com a presença de mais plantas com AF. Então, pesquisas envolvendo solos, drenagem e raízes de palma de óleo, na área de estudo, principalmente nas áreas de ocorrência das reboleiras, se fazem necessárias para um melhor entendimento dos fatores que causam a disseminação da doença nas plantas. A partir dos resultados obtidos pelas pesquisas os produtores de palma de óleo devem se atentar para talhões afetados com AF, pois são focos para a disseminação da doença, visto que com o passar dos anos a doença pode se propagar para parcelas próximas.

**Figura 10:** Mapa de Krigagem da distribuição espacial do Amarelecimento Fatal no ano de 2010, em 15 parcelas de plantio de palma de óleo orgânica.



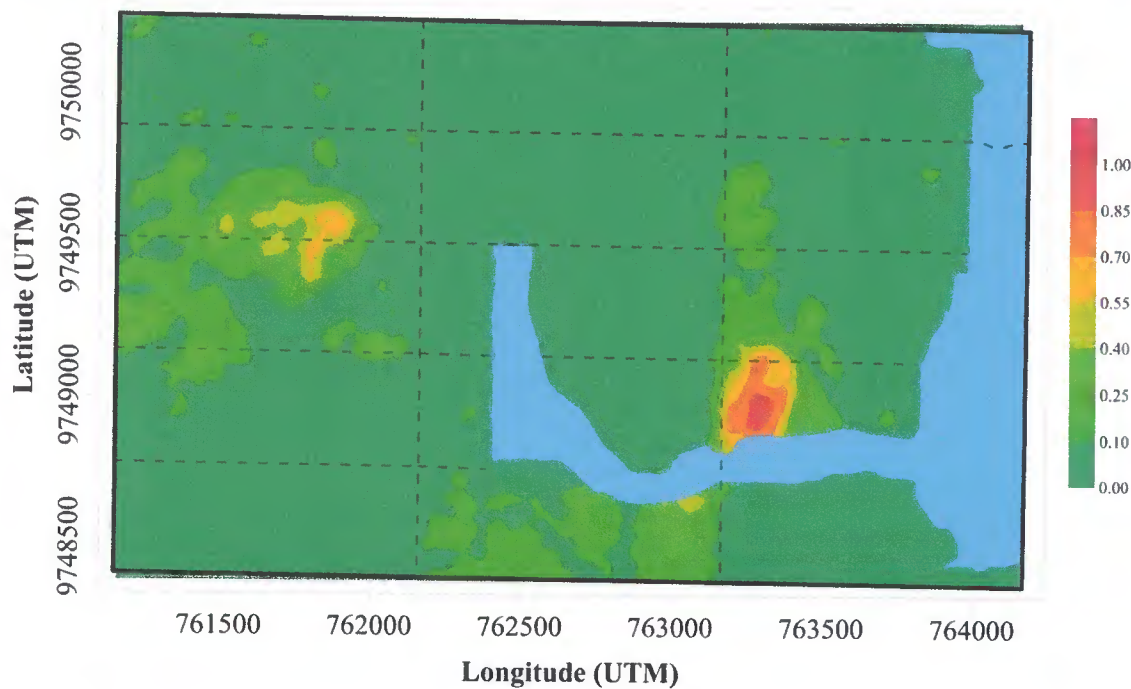
Fonte: Autor (2018).

**Figura 11:** Mapa de Krigagem da distribuição espacial do Amarelecimento Fatal no ano de 2011, em 15 parcelas de plantio de palma de óleo orgânica.



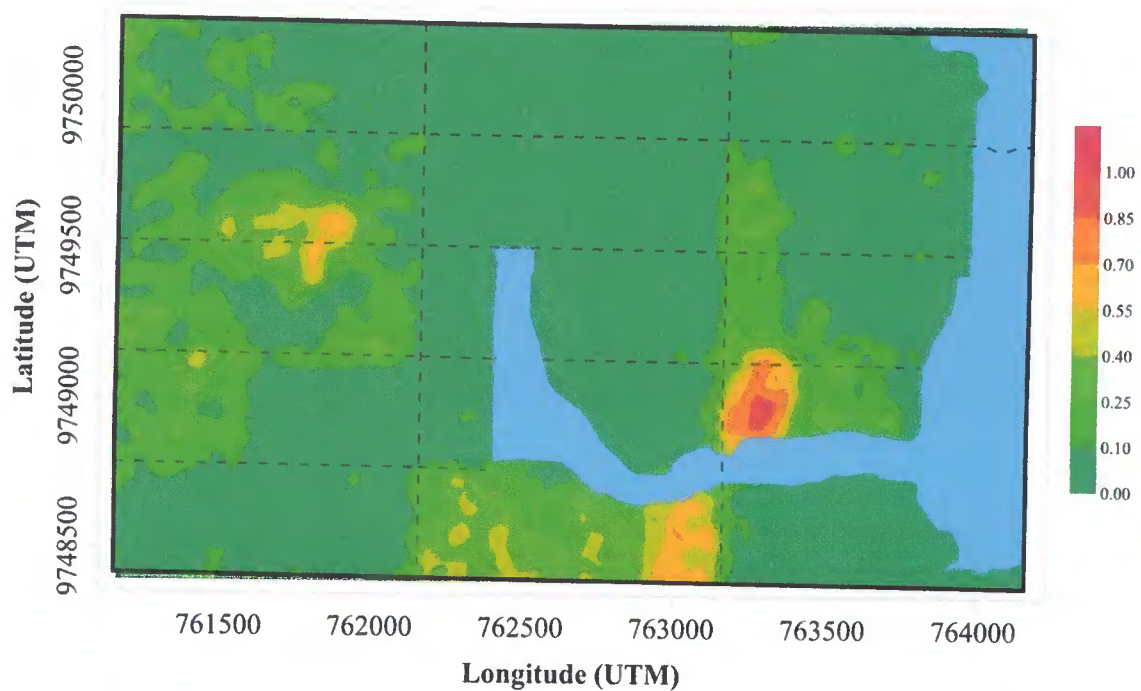
Fonte: Autor (2018).

**Figura 12:** Mapa de Krigagem da distribuição espacial do Amarelecimento Fatal no ano de 2012, em 15 parcelas de plantio de palma de óleo orgânica.



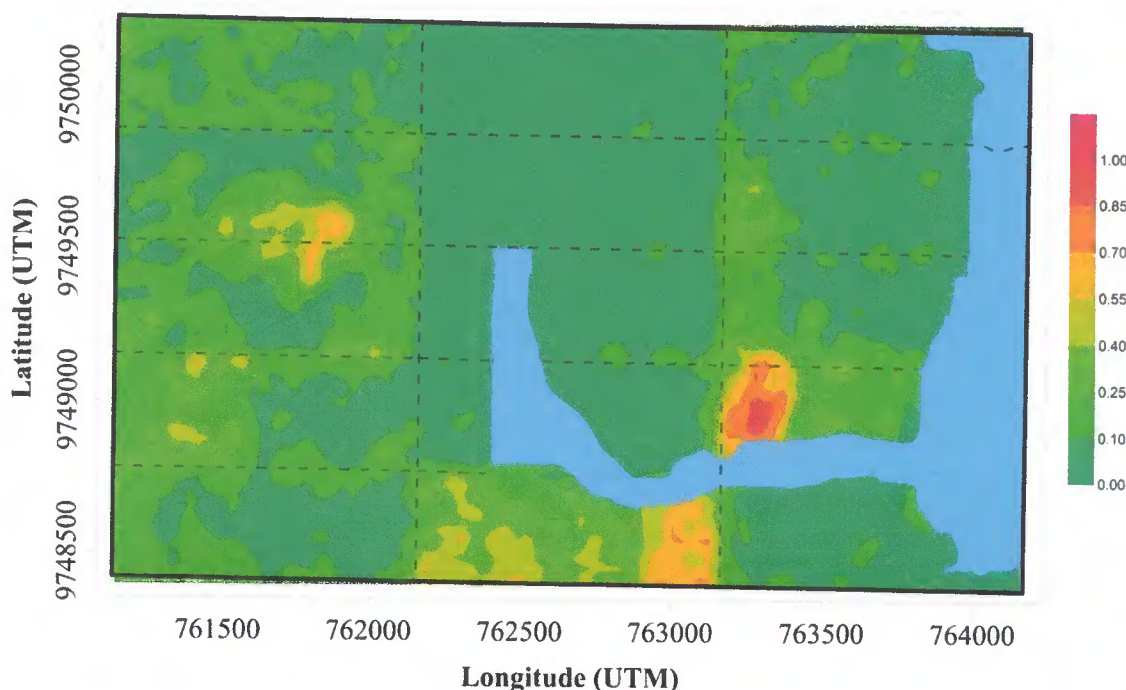
Fonte: Autor (2018).

**Figura 13:** Mapa de Krigagem da distribuição espacial do Amarelecimento Fatal no ano de 2013, em 15 parcelas de plantio de palma de óleo orgânica.



Fonte: Autor (2018).

**Figura 14:** Mapa de Krigagem da distribuição espacial do Amarelecimento Fatal no ano de 2014, em 15 parcelas de plantio de palma de óleo orgânica.



**Fonte:** Autor (2018).

As áreas com formação de reboleiras precisam de maior atenção, porque houve indicativos nessas áreas que podem ter sido importantes disseminadores para as outras parcelas de estudo, então para as áreas experimentais se faz interessante pesquisas sobre a altimetria do terreno, utilizando equipamentos de alta precisão (GPS Geodésico ou Estação Total), visto que de acordo com Amaral (2016) a distribuição espacial do AF é influenciada pela altimetria, pois observou através de mapeamento planialtimétrico, que áreas mais baixas e úmidas apresentaram maiores contaminações, com formação de reboleiras nessas áreas, sendo assim a doença teria provável origem biótica.

Segundo Venturieri et al. (2009), a má drenagem do solo em determinada época pode induzir fragilidade das plantas. Desse modo, fatores abióticos, como o encharcamento do solo, podem ser facilitadores ou até mesmo fatores essenciais para fragilizar o dendezeiro e deixa-lo susceptível ao AF. Sendo assim o fator chuva pode ser mostra-se como um agravante para a propagação da doença no plantio (BERGAMIN FILHO et al., 1998; ARAÚJO, 2016, AMARAL, 2016).

O alagamento pode afetar o equilíbrio de nutrientes no solo, estando a nutrição da planta associada a maior sensibilidade a diversas enfermidades agravadas por patógenos (TURNER, 2003). Então, pesquisas envolvendo solos, drenagem e raízes de palma de óleo, na área de estudo, principalmente nas áreas de ocorrência das reboleiras, se fazem necessárias para um melhor entendimento dos fatores que causam a disseminação da doença nas plantas.

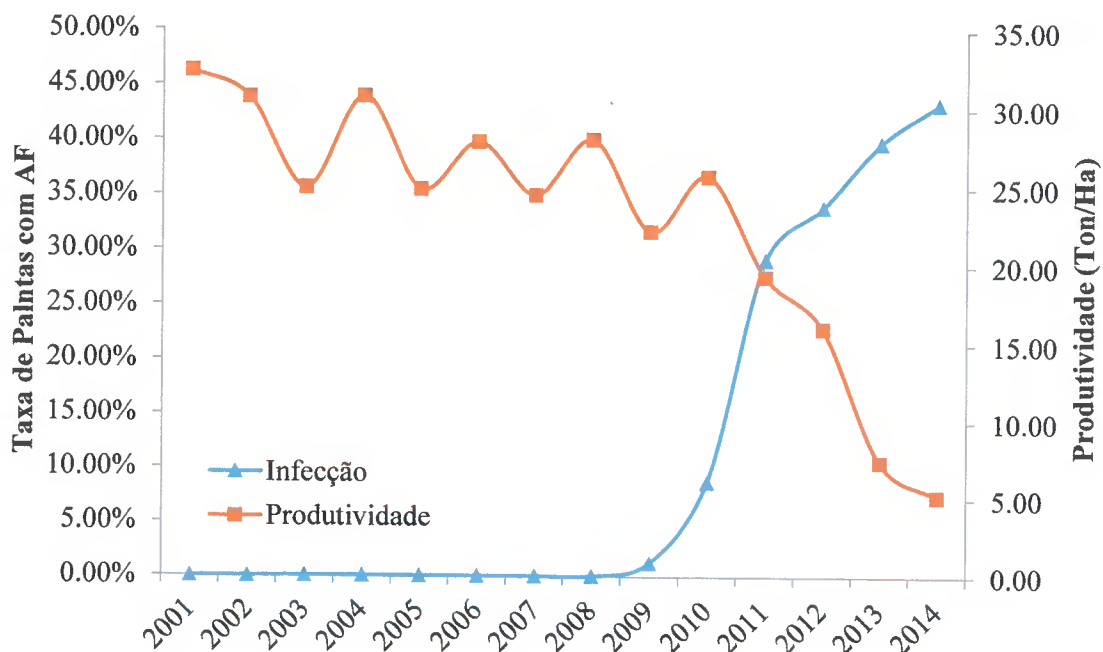
A partir dos resultados obtidos pelas pesquisas os produtores de palma de óleo devem se atentar para talhões afetados com AF, pois são focos para a disseminação da doença, visto que com o passar dos anos a doença pode se propagar para parcelas próximas.

A partir da análise sobre as diferentes características das 15 parcelas de estudo, deve-se atentar a densidade de plantio dessas parcelas, sendo a F16 que demonstra apresentar maior densidade (156 plantas/ha), indicando que esse provavelmente seria um forte fator de propagação do AF naquela parcela. Outra parcela que merece destaque é a E15, pois essa parcela ao final do ano de 2014 apresentou um total de 825 plantas com AF, dentre as parcelas essa é a menor com apenas 1.901 plantas, sendo assim a sua taxa de incidência foi a maior no valor de 43,40 %.

A partir dos gráficos obtidos (Figura 18 e 19), é possível observar que as ocorrências de plantas infectadas com o AF foram diferentes nas duas parcelas avaliadas (E15 e F16), pois enquanto a parcela E15 apresentava a evolução da incidência de forma mais acentuada a partir dos anos de 2010 sendo ao final da avaliação no ano de 2014 apresenta um total de 43,40 % plantas infectadas, a parcela F16 apresentou evolução da doença a partir do ano de 2012 chegando a um total de 40,35 % no final das observações.



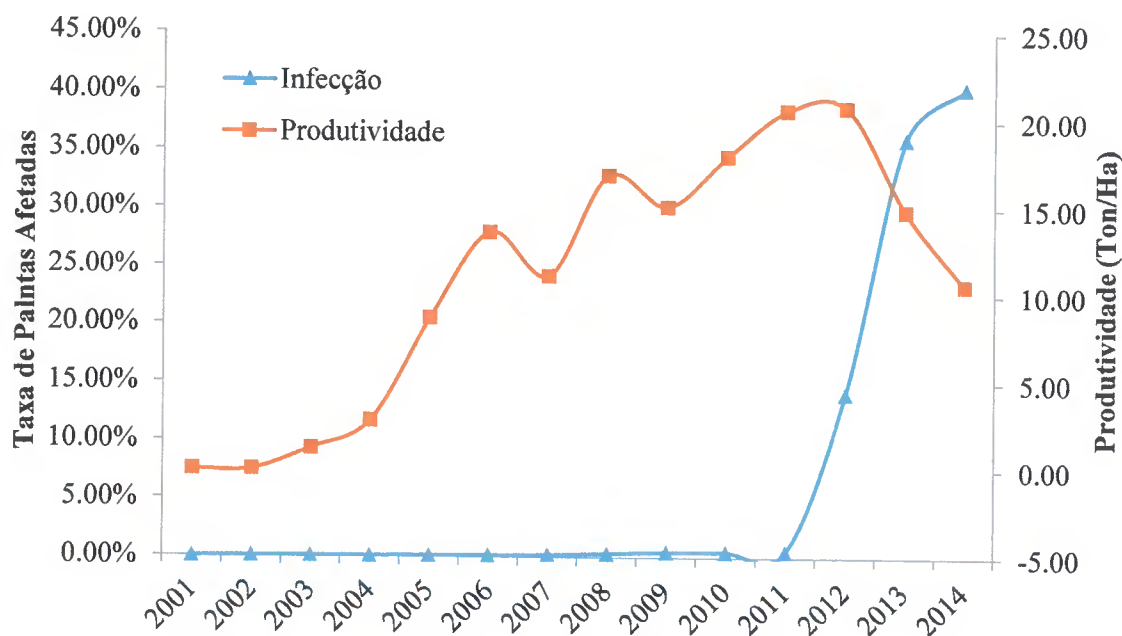
**Figura 15:** Gráfico da evolução da taxa de plantas com os sintomas do AF e da produtividade da parcela E15 em plantio de palma de óleo no período de 2001 a 2014, no município do Acará.



Fonte: Autor, 2018

As observações da evolução temporal entre a relação de incidência pelo AF e produtividade (Figura 19 e 20) revela que o aumento da propagação da doença pode causar prejuízos na produtividade de palma de óleo, visto que como observado nos casos em que as parcelas estão bastante afetadas culmina na queda de produtividade destas.

**Figura 16:** Gráfico da evolução da taxa de plantas com os sintomas do AF e da produtividade da parcela F16 em plantio de palma de óleo no período de 2001 a 2014, no município do Acará.



**Fonte:** Autor, 2018.

A Figura 18 indica que a partir do ano de 2010, ano este que se mostrou como início da alta propagação da doença na parcela E15, houve impacto na produtividade, nos anos posteriores com o aumento da taxa de plantas infectadas a produtividade declinou. A partir de análise de correlação entre esses dois fatores obteve-se valor significativo de  $-0,92^*$  (valor  $p < 0,05$ ), indicando haver uma forte correlação negativa entre esses dois fatores, então há uma relação inversamente proporcional entre estes indicando que a doença causa prejuízos econômicos para os produtores de plantas de palma de óleo.

A Figura 19 mostra que a parcela F16, também a partir do ano de maior incidência, apresentou declínio de produtividade principalmente como observado no ano de 2014 com maior taxa de incidência e menor produtividade, entretanto a análise de correlação foi considerada não significativa de  $0,26^{ns}$  (valor  $p > 0,05$ ), isso pode ter ocorrido, porque essa parcela apresenta plantio mais recente, plantado no ano de 2000, por isso se observa que as produtividades nos anos iniciais avaliados eram baixas, sendo suas produtividades iniciais influenciadas pela sua idade.

O presente estudo está de acordo com os resultados obtidos por Amaral et al. (2016), que ao avaliar a distribuição espacial da produtividade e do Amarelecimento Fatal

relatou que o AF influencia diretamente na produtividade, sendo assim as áreas mais atacadas apresentavam menores valores de produtividade.

**Tabela 5:** Parâmetros dos semivariogramas ajustados ao modelo teórico, coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e parâmetro  $k$  para análise de dependência espacial na parcela de estudo E15 com plantio de palma de óleo no município do Acará, Pará.

Época	Nível de Infestação	Parâmetros			$R^2$	$k^a$	Modelo	Grau de Dependência
		C0	C1	a (m)				
2003	0,05%							
2009	1º Sem						Pepita Puro	
	2º Sem						Pepita Puro	
2010	1º Sem	0,0098	0,0046	30	0,99	0,681	Gaussiano	Moderado
	2º Sem	0,0172	0,0093	52	0,99	0,649	Esférico	Moderado
2011	1º Sem	0,0550	0,0310	126	0,99	0,640	Esférico	Moderado
	2º Sem	0,0870	0,0420	200	0,99	0,674	Esférico	Moderado
2012	33,98%						Sem ajuste	
2013	39,82%						Sem ajuste	
2014	43,40%						Sem ajuste	

**Fonte:** Autor, 2018

Através da construção dos semivariogramas para avaliação da distribuição espacial da parcela E15 (Tabela 5), pode-se observar que a os casos de AF, com primeiro e único sintoma relatado no ano de 2003, apresentou modelo efeito pepita puro, indicando no início da doença, aleatoriedade, entretanto a realidade modificou a partir do ano 2009 ao final do 1º semestre haviam surgido alguns casos de plantas com AF apresentando melhor ajuste ao modelo pepita puro.

Ao final do 2º semestre do ano de 2009, houve ajuste ao modelo gaussiano indicando a formação de reboleiras, podendo ser melhor visualizado no mapa de krigagem (Figura 21), o valor do alcance obtido foi de 30 metros, para formação das áreas infectadas. A partir do final do 1º semestre de 2010 até o final do 1º semestre de 2011 os modelos obtidos foram do tipo esférico, sendo os valores de alcance aumentando (52, 126 e 200 metros) com o aumento da incidência da parcela. Entretanto, a partir do final do 2º semestre de 2011, não foi possível realizar ajustes a nenhum modelo isso ocorreu, provavelmente, porque a doença estava se propagando para outras parcelas com alcances mais altos que não poderiam ser ajustados apenas as amostragens da parcela E15.

Podemos observar a partir dos modelos e alcances obtidos na parcela E15 que a doença foi se propagando de forma mais acentuada a partir de uma área inicial que surgiu de forma aleatória, e com o passar do tempo essa área originou reboleiras que foram

aumentando como observado os valores de alcance, variando de 30 até 200 metros, e a partir do 2º semestre de 2011, a incidência de plantas sintomáticas com AF estava se aumentando as ocorrências em outras parcelas como mostra os mapas de krigagem das 15 parcelas avaliadas (Figuras 13 a 17).

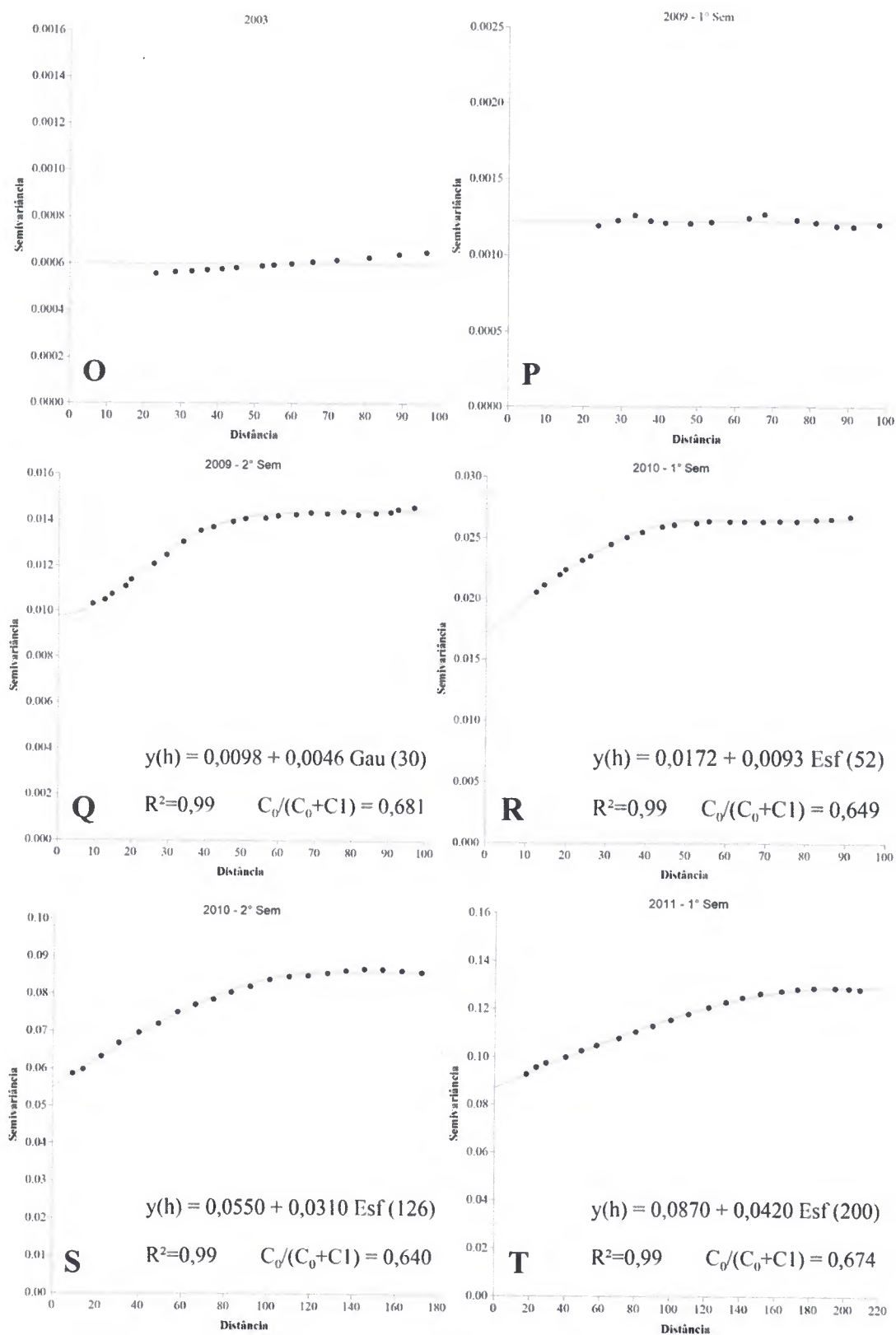
Não foi possível obter ajuste para a parcela F16 para nenhum dos anos avaliados, não sendo possível estudar através da geoestatística a propagação da doença para apenas essa parcela, vale ressaltar que essa parcela apresentou os padrões de incidência muito altos nos anos de 2012 a 2014.

Realizando uma comparação a partir das análises geoestatísticas, para as 15 parcelas da área experimental (Tabela 4) e para a parcela E15 (Tabela 5), nota-se que as duas análises indicam que quando as ocorrências de plantas com AF surgiram com um padrão aleatório (modelo pepita puro), entretanto quando as incidências atingiram as marcas em todas as parcelas de 0,517% e na parcela E15 de 1,26%, se ajustaram melhor ao modelo gaussiano e posteriormente ao esférico com o aumento da incidência, sendo estes, segundo Farias (2003), são modelos que tendem a se ajustar melhor em comportamentos espaciais de fator biótico.

Observa-se que os valores de alcance variaram nas duas áreas analisadas. A parcela E15 (13,7 hectares) apresentou alcance inicial de 30 metros, com aumento da incidência houve aumento no alcance até os 200 metros, quando houve incidência de 29,20% não foi possível se obter ajuste, sendo assim não foi possível chegar ao valor de alcance, isso tem provável fator devido ao grande aumento na incidência de plantas com AF. Avaliando todas as áreas o alcance se iniciou com 300 metros e também aumentou com aumento da incidência de plantas com AF até um alcance máximo de 570 metros, indicando esse um raio no qual as plantas com sintomas de AF podem estar influenciado o aparecimento de outras plantas em outras parcelas com sintomas do AF.

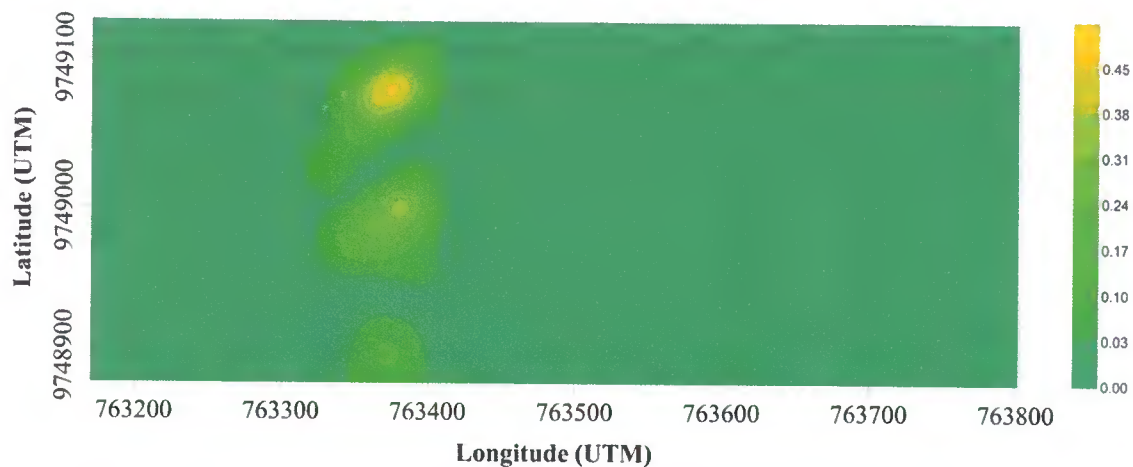
A partir dessas análises pode-se inferir que o AF apresenta alta taxa de propagação para os plantios de palma de óleo, porque como observado pode ocorrer em quase metade das plantas presentes nos talhões de palma de óleo e causar perda na produtividade ocasionando em perdas econômicas para os produtores de palma de óleo.

**Figura 17:** Semivariogramas do Amarelecimento Fatal na parcela E15 em plantio orgânico de palma de óleo no município do Acará referentes as observações no ano de 2013 (O), 1º Semestre de 2009 (P), 2º Semestre de 2009 (Q), 1º Semestre de 2010 (R), 2º Semestre de 2010 (S) e 1º Semestre de 2011 (T).



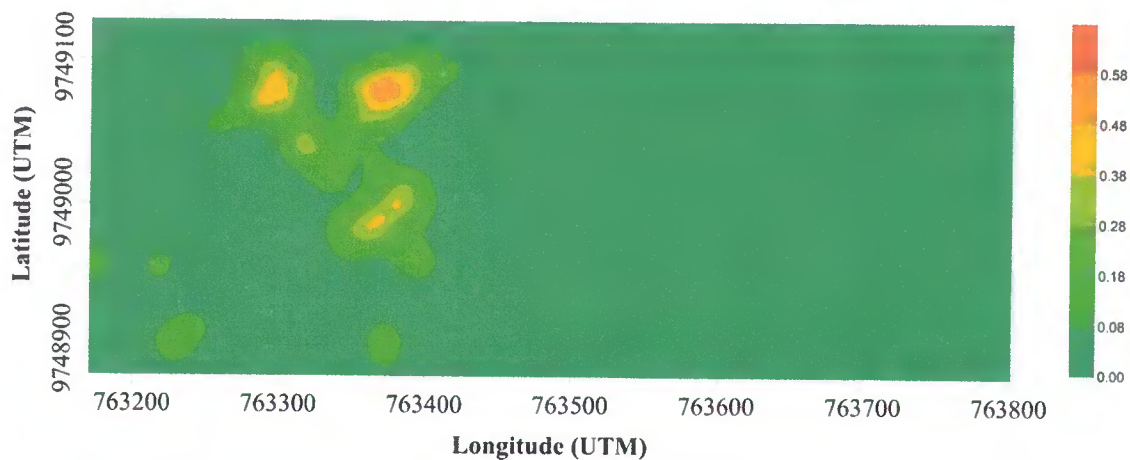
Fonte: Autor, 2018.

**Figura 18:** Mapa de Krigagem da distribuição espacial do Amarelecimento Fatal na parcela E15, no final do 2º semestre do no ano de 2009, em plantio de palma de óleo orgânica.



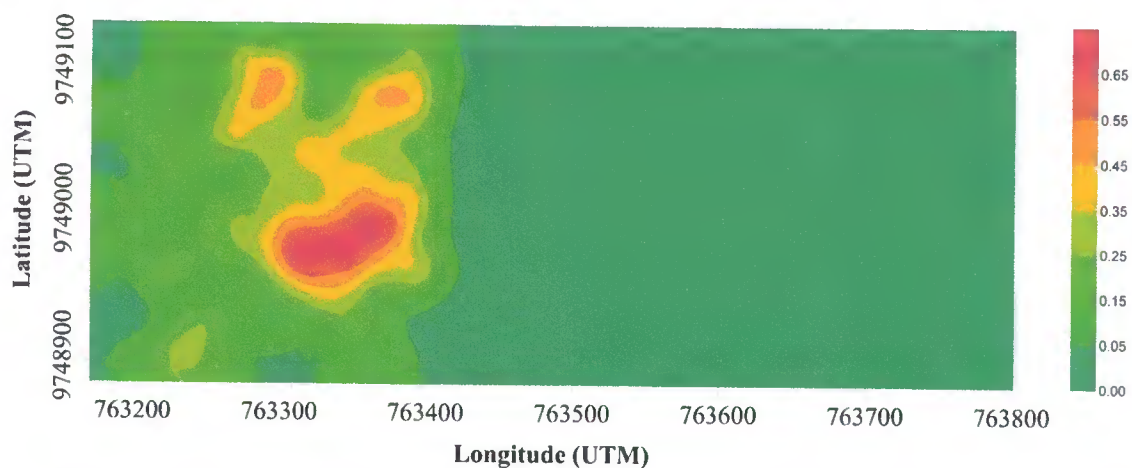
Fonte: Autor, 2018.

**Figura 19:** Mapa de Krigagem da distribuição espacial do Amarelecimento Fatal na parcela E15, no final do 1º semestre do no ano de 2010, em plantio de palma de óleo orgânica.



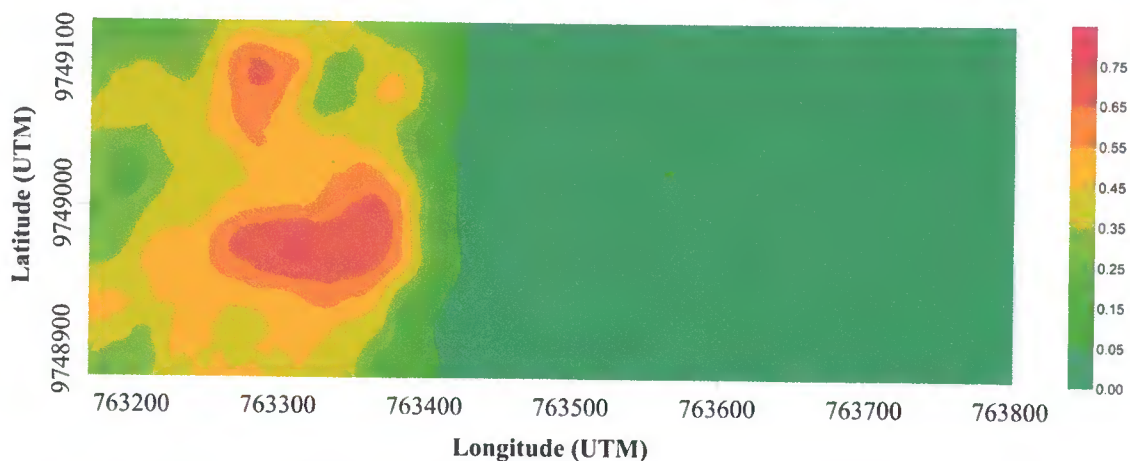
Fonte: Autor, 2018.

**Figura 20:** Mapa de Krigagem da distribuição espacial do Amarelecimento Fatal na parcela E15, no final do 2º semestre do no ano de 2010, em plantio de palma de óleo orgânica.



**Fonte:** Autor, 2018.

**Figura 21:** Mapa de Krigagem da distribuição espacial do Amarelecimento Fatal na parcela E15, no final do 1º semestre do no ano de 2011, em plantio de palma de óleo orgânica.



**Fonte:** Autor, 2018.

## 2.4 Conclusões

A distribuição espaço-temporal do Amarelecimento Fatal nas 15 parcelas avaliadas apresentou padrão agregado a partir do ano de 2010, com dependências descritas pelos modelos gaussiano, esférico e exponencial, com alcances variando para doença de 200 a 570 metros.

A distribuição espacial da parcela E15 apresentou padrão agregado a partir do final do 2º semestre de 2009, com dependências espaciais descritas pelos modelos gaussiano e esférico, com alcance de 30 a 200 metros.

As análises espaciais e temporais mostraram que o AF se disseminou de diferentes formas nas parcelas estudadas, com destaque a parcela E15 e F16, que demonstraram ser as mais infectadas.

Os produtores de palma de óleo devem atentar as áreas de focos iniciais de plantas sintomáticas com AF, pois aquela área pode se tornar uma possível área de risco de aumento de incidência para outras áreas.

A utilização da ferramenta geoestatística mostrou-se como uma ferramenta promissora para avaliação da distribuição espacial e temporal do AF.

## 2.5 Referências

ABRAPALMA. **Associação Brasileira de Produtores de Óleo de Palma**. A palma no Brasil e no mundo. Disponível em: <http://www.abrapalma.org/pt/a-palma-no-brasile-nomundo>. Acesso em: 15 jan. de 2018.

ARAÚJO, F. C. B. **Influência dos fatores climáticos na incidência do Amarelecimento Fatal em palma de óleo no município de Tailândia**. 2016. 50 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, 2016.

AMARAL, A. P. M. **Distribuição espacial e temporal do amarelecimento fatal em plantio orgânico de palma de óleo (*Elaeis guineensis* Jacq.) na amazônia oriental**. 2016. 81f. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, 2016.

BERNARDES, M. S. R. Relatório de visita à plantações de Paricatuba, na Denpasa, visando à identificação das causas do AF (1999). In: **DENPASA. Pesquisa sobre amarelecimento fatal em dendezeiro**. Belém, PA, 2001.

BERGAMIN FILHO, A., AMORIM, L., LARANJEIRA, F.F., BERGER, R.D., HAU, B. Análise temporal do Amarelecimento Fatal do dendezeiro como ferramenta para elucidar sua etiologia. **Fitopatologia Brasileira**, v.23, p. 391-396, 1998.



BRAZILIO, M.; BISTACHIO, N. J.; PERINA, V. de C. S.; NASCIMENTO, D. D. do. O dendezeiro (*Elaeis guineensis* Jacq.) – Revisão. **Bioenergia em Revista: Diálogos**, v. 2, n. 1, p. 27-45, 2012.

BRIAT, J. F.; RAVET, K.; ARNAUD, N.; DUC, C.; BOUCHEREZ, J.; TOURAINE, B.; CELLIER, F.; GAYMARD, F. New insights into ferritin synthesis and function highlight a link between iron homeostasis and oxidative stress in plants. **Annals of Botany**. v. 105, n. 5, p. 811-822, 2010. doi:10.1093/aob/mcp128.

BOARI, A. J.; TEIXEIRA, W. G.; VENTURIERI, A.; MARTORANO, L.; TREMACOLDI, C. R.; CARVALHO, K. B. Avanços nos estudos sobre o amarelecimento fatal da palma de óleo (*Elaeis guineensis* Jacq.). **45º Congresso Brasileiro de Fitopatologia**. 2012, v. 37, p. 14.

BURROUGH, P.A.; MCDONNELL, R.A. **Principles of Geographical Information Systems**, Oxford University Press, Nova York, 333p., 1998.

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 America Journal**. v.58, p.1501-1511, 1994.

CELESTINO FILHO, P.; LOUISE, C.; LUCCHINI, F. Estudos de transmissão do amarelecimento fatal do dendezeiro (*Elaeis guineensis*, Jacq) com insetos suspeitos. In: **Congresso brasileiro fatal do dendezeiro**, 14, 1993, Piracicaba. Anais. Piracicaba [s/n], 1993, p. 194.

COSTA, Y. A. C., DAIVA, D. T.; BERGMANN, J. C.; BARRETO, C. C.; QUIRINO, B. F. Fungal diversity in oil palm leaves showing symptoms of Fatal Yellowing disease, **PLOS One**, <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0191884>, 13(1), 2018

DIONISIO, L. F. S. et al. Distribuição espacial de *Metamasius hemipterus* (Coleoptera: Curculionidae) em plantio de dendê (*Elaeis guineensis* Jacq) em Roraima. **Revista Agro@mbiente On-line**, v. 9, n. 3, p. 327-336, 2015.

DUARTE, A. G.; LIMA, I. S.; ARAÚJO JÚNIOR, J. V.; DUARTE, A. G.; ALBUQUERQUE, A. L. S.; CRUZ, M. M. Disposição do nematóide *Bursaphelenchus coccophilus* (Cobb) Baujard, em coqueiros portadores da doença anel vermelho. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 30, n. 3, p. 622-627, 2008.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2.ed. Rio de Janeiro, 306p. 2006.

FARIAS, P.R.S.; SÁNCHEZ-VILA, X.; BARBOSA, J.C.; VIEIRA, S.R.; FERRAZ, L. C. C. B.; SOLÍS-DELFIN, J. Using geostatistical analysis to evaluate the presence of *Rotylenchulus reniformis* in cotton crops in Brazil: Economic implications, **Journal of Nematology**. v. 34, n.3, p. 232-238, 2002.

FARIAS, P. R. S.; NOCITI, L. A. S.; BARBOSA, J. C.; PERECIN, D. Agricultura de precisão: mapeamento da produtividade em pomares de cítricos usando geoestatística. **Revista Brasileira de fruticultura**. Jaboticabal. v. 25, n. 2, p. 235-241, 2003.

FARIAS, P. R. S.; ROBERTO, S. R.; LOPES, J. R. S.; PERECIN, D. Geostatistical characterization of the spatial distribution of *Xyllela fastidiosa* sharpshooter vectors on citrus. **Neotropical Entomology**, v. 33, n. 1, p. 13-20, 2004.

GREGO, C. R.; VIEIRA, S. R.; LOURENÇÃO, A. L. Spatial distribution of *Pseudaletia sequax Franclemont* in triticale under no-till management. **Scientia Agricola**, Piracicaba, n. 63, p. 321-327, 2006.

IBGE-SIDRA – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Cidades: produção agrícola municipal. Lavoras Temporárias e Permanentes, 2018. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/tabela/protabl.asp?c=1613&z=p&o=29&i=P>>. Acesso em: 10 mar. 2018.

LANDIM, P.M.B. **Análise estatística de dados geológicos**. São Paulo: UNESP, 226p, 1998.

MAIA, P. S.P. **Caracterização da distribuição espacial da mosca negra dos citros (*Aleuroanthus woglumi* Ashby, 1915) em pomar georreferenciado para determinar um plano de amostragem sequencial**. Dissertação (Mestrado em Agronomia: Produção Vegetal) - Universidade Federal Rural da Amazônia, 77p. 2008.

MORAES, J. R. DA S. C. DE; MARTORANO, L. M.; BOARI, A. DE J. MONTEIRO, D. C. A. M. Condições térmicas e pluvias associadas às ocorrências do Amarelecimento Fatal (AF) em palma de óleo em Moju, Pará. **15º Seminário de Iniciação Científica da EMBRAPA**, Belém, Brasil, 24-25 agosto 2011, Embrapa Amazônia Oriental.

MUNÉVAR, M. F.; ACOSTA, G. A.; GÓMEZ, C. P. Factores edáficos asociados con la Pudrición del cogollo de la palma de aceite en Colombia. **Palmas**, v. 22, n. 2, p. 9-19, 2001.

NASCIMENTO, S. V.; MAGALHÃES, M. M.; CUNHA, R. L.; COSTA, P. H. O.; ALVES, R. C. O.; OLIVEIRA, G. C.; VALADARES, R. B. S. Differential accumulation of proteins in oil palms affected by fatal yellowing disease. **PLOS One**. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0195538>, 13(4), 2018.

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

OLIVEIRA P. C. **Variabilidade espacial de macronutrientes correlacionados com a produtividade em pomares cítricos do município de Capitão Poço/PA**. 58 f. Dissertação de Mestrado em Agronomia, Belém, Universidade Federal Rural da Amazônia. 2007.

PIMENTEL-GOMES, F. **Curso de estatística experimental**. São Paulo: ESALQ, 1985. 467 p.

PINHO, R. C.; FARIAS, P. R. S.; RODRIGUES, K. C. V.; TINÔCO, R. S.; SANTOS, A. V. F.; MARSSENA, R. T. P. Distribuição espacial de *Rhynchophorus palmarum* em palma de óleo no Estado do Pará, Amazônia. **Revista de Ciências Agrárias** (Belém), v. 59, p. 22-31, 2016.

RENDU, J. M. **An introduction to geostatistical methods of mineral evaluation.** Johannesburg: Institute of Mining and Metallurgy, 83p, 1978.

SAGRI - SECRETARIA DE AGRICULTURA DO PARÁ. **Culturas de destaque no Estado do Pará-Ano 2013.** Disponível em:< [http:// www.sagri.pa.gov.br](http://www.sagri.pa.gov.br)>. Acesso em: 14 abr. 2016.

SALES, T. M. **Análise geoestatística da distribuição espacial do amarelecimento fatal do dendezeiro no Nordeste Paraense.** 32 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, 2011.

SANTOS, E.A. **Caracterização de dendezeiros subespontâneos com base na produção de frutos e cachos.** Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal: Melhoramento de plantas e biotecnologia) - Universidade Estadual de Santa Cruz, 74p. 2010.

SILVA, H. M.; CELESTINO FILHO, P.; TRINDADE, D. R.; CONCEIÇÃO, H. E. O.; MULLE, A. A.; ALVES, R. M. Estado atual dos conhecimentos sobre a doença amarelecimento fatal (af) do dendezeiro (*Elaeis guineensis* Jacq) no Estado do Pará. In: **WORKSHOP SOBRE A CULTURA DE DENDÊ**, 1995, Manaus: {s.n}, 1996, p.87-98.

SILVA, J. N. **Distribuição espacial e temporal do amarelecimento fatal em plantio orgânico e convencional de palma de óleo.** 2015. 67 f. Tese (Doutorado em Agronomia). Universidade Federal Rural da Amazônia. Belém. 2015.

SILVA, J. N.; FARIAS, P.R.S.; SILVA, A. G.; OLIVEIRA, F. J.; TINÔCO, R. S. Spatial distribution of cases of fatal yellowing on organic oil palm Plantation. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 37, n. 5, p. 3047-3054, set./out. 2016.

SOARES, A. **Geoestatística para ciências da terra e do ambiente.** 2. ed. Lisboa: IST Press, 2006, 214 p.

TRANGMAR, B. B.; YOST, R. S.; UEHARA, G. **Application of geostatísticas to spatial studies of soil properties.** *Advances in Agronomy*, San Diego, v. 38, p. 45-94, 1985.

TURNER, P. **The role of nutrition in disease control.** In: **Oil palm: Management for large and sustainable yields**, edited by: Fairhurst, T. and Härdter, R. IPNI and IPI. p. 181-190. 2003.

VAN DE LANDE, H. L.; ZADOKS, J. C. Spatial patterns of spear rot in oil palm plantations in Suriname. **Plant Pathology**, v. 48, n. 2, p. 189-201, 1999.

VENTURIERI, A. et al. Relação entre Ocorrência do Amarelecimento Fatal do Dendezeiro (*Elaeis guineensis* Jacq.) e Variáveis Ambientais no Estado do Pará. In: **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Natal-RN. Anais XIV, Natal: INPE, 25-30 abril, p. 523-530, 2009.

VIEIRA, S. R. **Geoestatística em estudos de variabilidade espacial**, Instituto Agrônomo de Campinas, Campinas, 1994.

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

### 3 MONITORAMENTO DO AMARELECIMENTO FATAL EM PLANTIO ORGÂNICO DE PALMA DE ÓLEO ATRAVÉS DE LEVANTAMENTO PLANIALTIMÉTRICO

#### RESUMO

O presente trabalho tem por objetivo realizar o monitoramento através de Sistema de Informação Geográfico (SIG) da incidência do AF relacionado com os fatores de altimetria, umidade relativa e a precipitação pluviométrica em plantio de palma de óleo orgânico no município do Acará. A área experimental se localiza no município do Acará (PA), em plantio de palma de óleo pertencente à empresa do Grupo AGROPALMA S.A. Para realização do estudo selecionou-se 15 parcelas de palma de óleo e de cada uma destas plantas dessas parcelas foi obtida informações para planta afetada com o Amarelecimento Fatal e plantas com ausência dessa doença e por meio do georreferenciamento (latitude e longitude) das plantas foram geradas o banco de dados para o SIG. Através dos gráficos de séries temporais é possível observar que a doença do Amarelecimento Fatal surgiu no ano de 2001 com poucos casos, entretanto a partir do ano de 2009 até o ano de 2014 houve mudança significativa no surgimento de plantas afetadas com essa doença período esse que também houve aumento gradativo da umidade relativa (%) e da precipitação pluviométrica, indicando que esses fatores apresentam influenciam negativamente no surgimento de plantas com AF. A partir da visualização dos mapas de incidência da doença pode-se observar que a doença apresentou áreas em algumas parcelas de maior incidência, indicando a doença que há áreas com maiores riscos para o AF, com as visualização das altitudes em cada parcela pode se observar que essas áreas apresentam menor nível de altitude sendo estas em períodos de alta precipitação, apresentam risco de acúmulo de água e esse pode ser um provável fator que influencia no aparecimento de mais casos de plantas com sintomas do AF.

**Palavras Chave:** precipitação, *Elaeis guineenses*, umidade relativa e altitude.

#### ABSTRACT

The objective of the present work is to monitor the incidence of Fatal Yellowing (FY) related to the factors of altimetry, relative humidity and rainfall in organic palm oil in the municipality of Acará. The experimental area is located in the municipality of Acará (PA), in oil palm plantation belonging to the company of the AGROPALMA SA Group. For the study, 15 plots of oil palm were selected and each of these plots was obtained information for plant affected with FY and plants with absence of this disease and through the georeferencing (latitude and longitude) of the plants were generated the database for GIS. Through the time series graphs it is possible to observe that FY disease appeared in the year 2001 with few cases, however from the year 2009 to the year 2014 there was a significant change in the appearance of plants affected with this disease period that there was also a gradual increase of relative humidity (%) and rainfall, indicating that these factors have a negative influence on the emergence of plants with FY. From the visualization of the incidence maps of the disease it can be observed that the disease presented areas in some plots of higher incidence, indicating the disease that there are areas that present greater risks for FY, with the visualization of the altitudes in each plot

can be observed that these areas present a lower level of altitude and these are in periods of high precipitation, present a risk of accumulation of water and this may be a probable factor that influences the appearance of more cases of diseased plants.

**Keywords:** precipitation, *Elaeis guineenses*, relative humidity and altitude

### 3.1 Introdução

O Brasil é referência em tecnologias de produção de biocombustíveis (GOES & MARRA, 2008), e entre as culturas que possuem alto potencial para produção de biocombustível temos a palma de óleo que se destaca na agricultura mundial por possuir elevada produção de óleo por unidade de área, alcançando uma produtividade de 4 a 6 toneladas de óleo por hectare/ano nas Américas (TINÔCO, 2008), sendo considerada a cultura responsável por suprir a demanda mundial de óleo vegetal no futuro (CORLEY, 2009).

Segundo dados da ABRAPALMA (2018) a produção de palma de óleo é liderada pela Indonésia e Malásia representando 48,90 % (25,4 milhões de toneladas de óleo de palma) e 35,60 % (18,5 milhões de toneladas de óleo de palma) da produção mundial, respectivamente, já a produção brasileira representa menos que 1% dessa produção (300 mil toneladas de óleo de palma). Em 2016, a área plantada de palma de óleo representada pelo Pará foi de 70% (99.402 ha) do total plantado no Brasil e a produção em cacho de coco representa cerca de 90 % (1.486.082 toneladas) (IBGE-SIDRA, 2018).

O amarelecimento fatal é uma doença de etiologia desconhecida e se caracteriza pelo amarelecimento dos folíolos basais das folhas mais jovens, podendo chegar ao secamento total da planta. Embora em alguns casos possa ocorrer à remissão de folhas, a produtividade de cachos é muito baixa e a ocorrência da remissão temporária da planta é seguida de declínio generalizado e conseqüentemente morte (VAN SLOBBE, 1991).

Diversos estudos foram realizados com objetivo de compreender a causa do AF, por fatores bióticos (VAN DE LANDE e ZADOKS, 1999; SILVA et al. 2016); fatores abióticos (BERGAMIN FILHO et al., 1998; BERNARDES, 2001), e atualmente há uma tendência em aceitar que alterações em componentes abióticos propiciadas pelas condições locais de solo e/ou clima favoreçam o desenvolvimento do problema (ARAÚJO, 2016; AMARAL, 2016; NASCIMENTO, 2018).

A necessidade da determinação de coordenadas georreferenciadas com elevada qualidade em termos de precisão e de acurácia em levantamentos topográficos e

geodésicos tornaram o posicionamento via satélite (GNSS - Global Navigation Satellite System) uma ferramenta indispensável. Uma característica importante de um processor pontual espacial é a localização dos pontos e a relação entre eles, verificando se os eventos observados apresentam algum tipo de padrão sistemático, ao invés de estarem distribuídos aleatoriamente (OLINDA, 2010).

O Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, através do seu departamento de Geociências implantou o serviço online de Posicionamento por Ponto Preciso – PPP em parceria com o Serviço Geodésico do Canadá. (IBGE, 2016). Segundo Almeida & Dal Poz (2016), observaram que os avanços em pesquisas envolvendo o PPP tendem a oferecer uma gama de produtos cada vez melhores, principalmente no que tange à sua precisão, e sugerem mais a utilização dessa ferramenta.

A modelagem via SIG possibilita a fusão dessas camadas de informações, ampliando a capacidade de interpretação dos dados e auxiliando na tomada de decisão para a gestão do sistema de produção (FILIPPINI-ALBA, 2014). Sendo assim, o objetivo do presente estudo é realizar o monitoramento através do SIG da incidência do AF relacionado com os fatores de altimetria, umidade relativa e a precipitação pluviométrica em plantio de palma de óleo orgânico no município do Acará.

## **3.2 Material e Métodos**

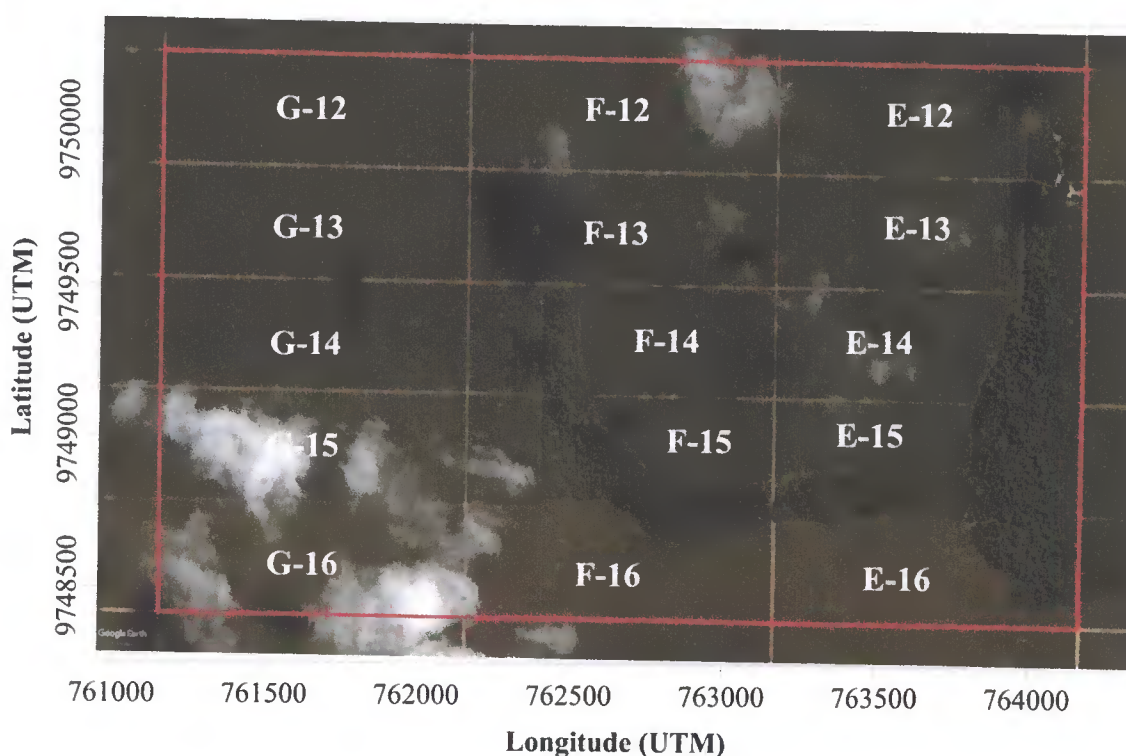
### **3.2.1 Descrição da área de estudo**

A área de estudo está localizada na Fazenda Companhia Palmares da Amazônia (Figura 22) no município do Acará, Pará, sendo esta pertencente ao Grupo AGROPALMA S.A., sendo sua localização pelas coordenadas de latitude: 2° 16' 26,16"S e longitude: 48° 39' 7,41"O. O clima é classificado como Ami, de acordo com Köppen, com estação chuvosa, de dezembro a junho e estação seca, de julho a novembro. A média de precipitação anual é de 2.400 mm. A temperatura média anual é 26,5°C e a umidade relativa do ar é de 80%. Solo altamente intemperizados com predomínio de Latossolo (EMBRAPA, 2006).

O plantio da palma de óleo é feito pela empresa em triângulo equilátero para maior aproveitamento da densidade de plantas por hectares, o espaçamento era escolhido com base no material genético que era utilizado, a empresa adota o sistema de ruas limpas e ruas sujas intercaladas.

Na propriedade a área de plantio orgânico apresenta 140 parcelas de plantio de palma de óleo, dentre destas foram selecionadas 15 parcelas (Figura 22) que apresentaram maior quantidade de plantas afetadas pelo Amarelecimento Fatal, sendo algumas parcelas localizadas em áreas de preservação permanente (APP) e outras apenas o plantio de palma de óleo. As parcelas selecionadas foram: G12, G13, G14, G15, G16, F12, F13, F14, F15, F16, E12, E13, E14, E15, E16, sendo que algumas destas apresentam algumas características diferentes umas das outras, totalizando na área experimental 62.914 plantas.

**Figura 22:** Mapa Georreferenciado da área experimental, com numeração das parcelas de estudo de plantio de palma de óleo.



**Fonte:** Autor (2018).

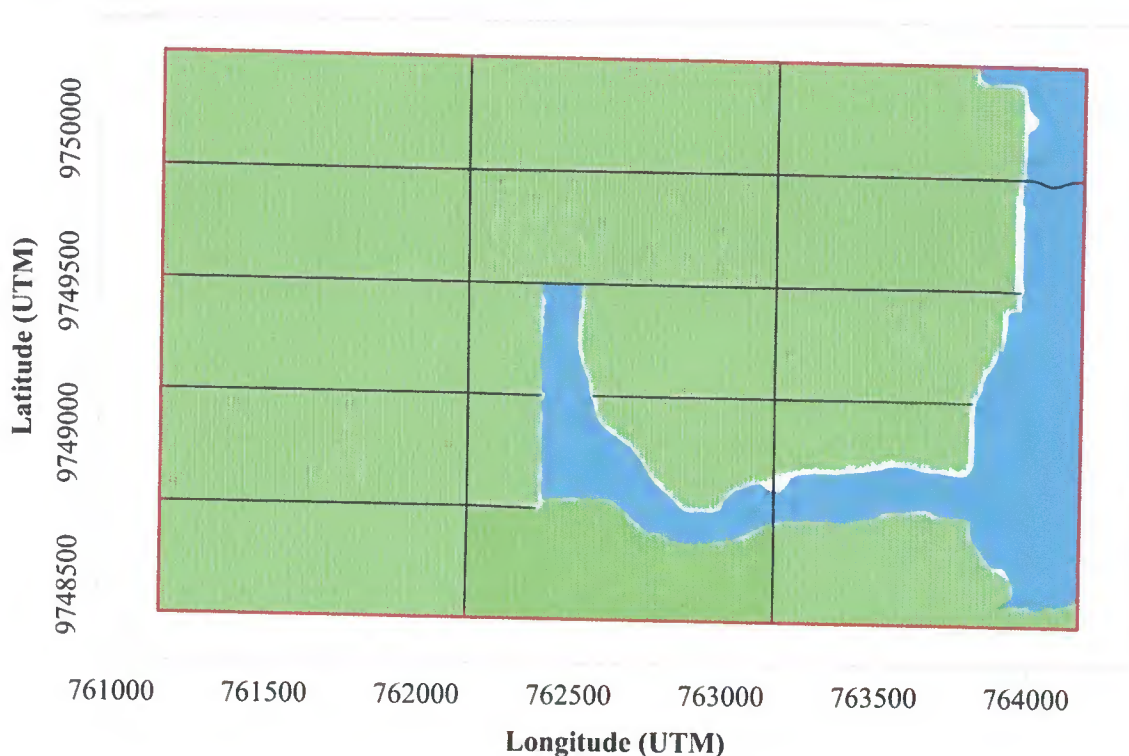
### 3.2.2 Georreferenciamento das Parcelas

As informações sobre os talhões foram fornecidas pela empresa do Grupo AGROPALMA S.A. e outras como, tamanho da área, mensurados através de polígonos criados no software ArcGIS 10.1, utilizando como base o mapa georreferenciado (Figura 22). Para o presente estudo, as coordenadas pontuais (cada planta da parcela) utilizadas foram transformadas para o sistema UTM (Universal Transversa de Marcator), seguindo o sistema de coordenadas retangulares, pertencentes ao Fuso 22.



A partir da imagem georreferenciada (Figura 22), com a utilização do software SURFER 14.0, foi possível realizar as digitalizações em pontos de cada planta presente na área experimental, sendo obtidas as coordenadas (latitude e longitude) e as representações de cada planta (linha e número da planta) presentes nas parcelas (FARIAS, 2004; MAIA, 2008; SILVA et al., 2011; SILVA, 2015; OLIVEIRA et al. 2016) totalizando cerca de 62.914 plantas de palma de óleo georreferenciadas, as estradas de acesso e a área de preservação permanente também foram digitalizadas para auxiliar na pesquisa (Figura 24).

**Figura 23:** Mapa Digitalizado da área experimental utilizando SIG, com ruas de acesso, áreas de APP e plantas de palma de óleo orgânica.



**Fonte:** Autor (2018).

Foi confeccionado um mapa digitalizado (Figura 23), com todas as informações georreferenciadas da área experimental, sendo os pontos em verdes referentes a uma planta de palma de óleo, a área em azul área de preservação permanente e a linha em preto as estradas de acesso.

### 3.2.3 Amostragem do amarelecimento fatal e construção do banco de dados

O Grupo AGROPALMA S.A. apresenta internamente um setor de Fitossanidade responsável pela amostragem de todas as injúrias ou doenças que a palma de óleo

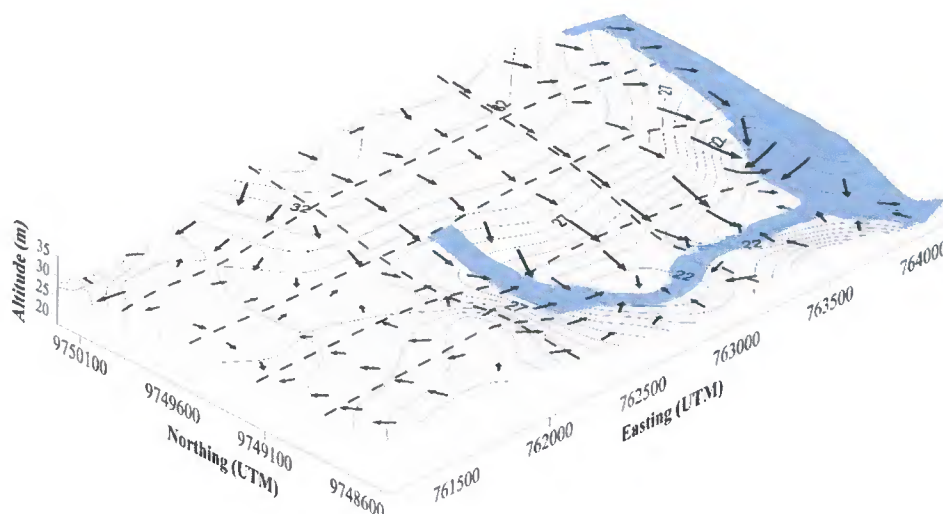
apresenta. Os funcionários responsáveis pela amostragem da doença são constantemente treinados para apresentar uma boa apuração de plantas afetadas.

Os plantios foram vistoriados diariamente, sendo que ao final de cada mês todas as plantas eram visitadas. De tal forma, o banco de dados apresenta informações bem detalhadas sobre o avanço do amarelecimento fatal nas parcelas de estudo. A partir das amostragens mensais de cada parcela foi possível determinar as plantas doentes e registrar o período de obtenção da doença.

### 3.2.4 Modelo Digital de Terreno e Vetorização

Foi realizado o georreferenciamento das quadras e das armadilhas utilizando Aparelho GPS Geodésico, marca Trimble, modelo R6, que possui precisão de 3 mm + 0,1 ppm RMS. Foram rastreados cerca de 70 pontos na área experimental, sendo 1 ponto em cada vértice da área total do experimento e os restantes distribuídos pelas 15 parcelas. Para melhor precisão dos dados foi realizando pós-processamento dos dados pela Plataforma IBGE-PPP (Processamento por Ponto Preciso), para obtenção dos valores das coordenadas em UTM de Northing, Easting e Altitude de cada ponto amostrado, sendo estas pertencentes ao Fuso 22.

**Figura 24:** Mapa Planialtimétrico da área experimental com vetorização, em plantio de palma de óleo orgânica, no município do Acará.



**Fonte:** Autor (2018).

Para construção do GRID do Modelo Digital de Terreno da área experimental para posterior confecção dos mapas planialtimétrico, foi utilizado o interpolador de mínima curvatura que segundo Press, et al. (1988), o algoritmo de construção da malha de Curvatura Mínima resolve a equação diferencial parcial especificada usando um algoritmo de relaxamento excessivo sucessivo, então ela produz uma malha aplicando repetidamente uma equação sobre cada ponto amostral na tentativa de suavizar a malha.

Para a utilização da vetorização utilizou-se o mesmo GRID do modelo digital de terreno da área experimental, pois o mapa de vetor irá indicar as diferenças entre as curvas de nível, mostrando os desníveis presente na área de estudo, e com essas informações é possível ter uma noção de que nos períodos de alta precipitação os lugares que tem maiores possibilidades de acumular água ou de escoar a água da chuva para outras parcelas, sendo que as setas maiores indicam as áreas com maior desnível.

### 3.2.5 Amostragem de Dados Climáticos

Os dados climáticos acumulados anuais como precipitação pluviométrica (mm) a partir do ano de 2001 a 2014 e umidade relativa (%) a partir do ano de 2004 a 2014 para aquela região no qual se localiza a área experimental de plantio de palma de óleo estudada, foram obtidos junto à estação meteorológica da empresa do Grupo AGROPALMA S.A.

### 3.2.6 Softwares utilizados nas análises

Para construção do banco de dados para posteriores construção de gráficos e tabelas, utilizou-se o software Microsoft Excel 2016. As análises de estatística descritiva (média, variância, desvio padrão e etc.) e as análises de correlação linear foram utilizadas com o software ASSISTAT 5.0.

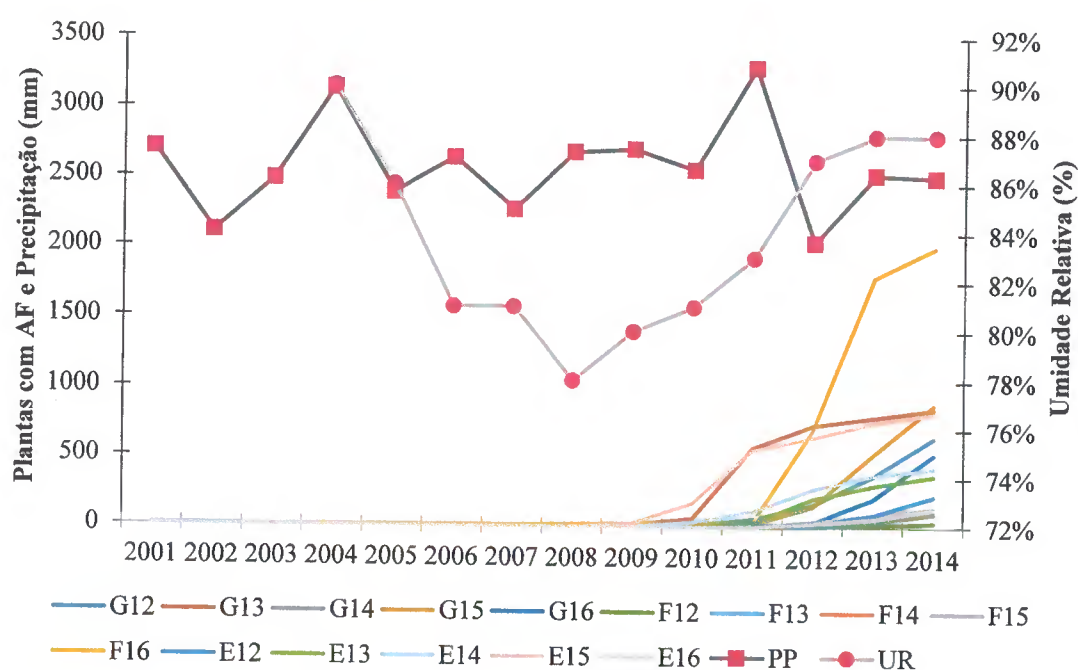
Para confecção dos mapas de localização da área experimental foi utilizado o software ArcGIS 10.1. e criação das malhas do modelo digital de terreno de mínima curvatura a partir dos dados de altimetria, foi utilizado o software computacional Surfer 14.0 (Golden Software).

### 3.3 Resultados e Discussão

O surgimento da doença teve seu primeiro registro no ano de 2001 (Figura 25) com apenas quatro casos, aumentando os casos com o passar dos anos sendo que ao final de 14 anos de avaliação no ano de 2014, houve um total de 7.718 ocorrências de plantas com o AF. As parcelas que apresentaram maiores quantidades de plantas infectadas pela doença foram F16, E15, G13 e G15 com destaque a parcela F16, que demonstra ser a área mais prejudicada, chegando ao ano de 2014 a apresentar cerca de 2.003 plantas infectadas com o AF, indicando uma taxa de incidência de 40,35% pela relação plantas infectadas/total de plantas na parcela.

Sendo que no período de 2001 a 2008 não houve uma mudança significativa no aparecimento de casos de AF, entretanto a partir do ano de 2009 ano este em que vai aumentando os valores anuais de umidade relativa (%) observa-se que os casos de AF aumentaram em conjunto, e em 2011, ano este que apresentou o maior valor anual de precipitação (mm) observa-se que a partir desta época a propagação da doença se intensificou em parcelas que apresentavam menores valores de altitude ou com risco de acúmulo de água.

**Figura 25:** Gráfico com a evolução dos casos acumulados de AF nas plantas de palma de óleo orgânica, valores de precipitação pluviométrica (mm), valores de umidade relativa (%), no período de 2001 a 2014, no município do Acará.



Fonte: Autor (2018).

Essa mudança que se intensificou no ano de 2011 na área experimental, está de acordo com estudo realizado por Araújo (2016) e Amaral (2016), pois essa época foi marcada por altos valores de precipitação, sendo observado por estes que através de séries temporais avaliando a influência dos fatores abióticos observaram que o ano de 2011 foi marcado pelo maior valor de precipitação registrado no período de 2001 a 2014, podendo este ser um fator que implica diretamente no aparecimento de casos da doença no plantio de palma de óleo.

Bergamin Filho et al. (1998) observou que a incidência do AF se intensificou em plantio de palma de óleo no município de Benevides, Pará, a partir de excesso de água em determinadas épocas e locais, sendo que a doença apresentou um crescimento no número de casos aparentemente exponencial e sugere que devem ser realizadas práticas de manejo que visem melhorar a drenagem e a descompactação do solo a fim de diminuir a propagação da doença.

Através dos dados, foi observado que incidência de plantas com AF eram maiores no período no segundo semestre de cada ano, sendo nesta região de clima tipo Ami segundo a classificação de Koppen, o período chuvoso ocorre no primeiro semestre e no segundo o período, que é mais seco, sendo assim há provável influência negativa da chuva principalmente em áreas com má drenagem dos solos.

Foi testado a normalidade dos dados avaliados (incidência de AF, precipitação e umidade relativa) e estes foram classificados como normais segundo teste de kolmogorov smirnov, sendo assim foi realizado o teste paramétrico de correlação linear de Pearson (r), para ver a influência dos fatores precipitação e umidade relativa no aparecimento de plantas afetadas com Amarelecimento Fatal.

A Tabela 6, representa as correlações entre incidência de AF nos meses avaliados no período de 2001 a 2014 e a precipitação e a umidade relativa mostrando que algumas parcelas sofreram influência significativa da precipitação e da umidade relativa, com destaque a parcela F16, parcela está com maior número de casos de plantas com AF, que apresentou forte correlação negativa significativa, indicando que esse fator tem provável influência direta na ocorrência de plantas afetadas com o Amarelecimento Fatal. Esses resultados estão de acordo com estudo de fatores abióticos realizados por Amaral (2016) e Araújo (2016).

**Tabela 6:** Coeficientes de correlação linear de Pearson (r), entre as incidências nos doze meses de cada ano, no período de 2001 a 2014, de plantas com sintomas do AF por parcela correlacionados com os valores médios mensais da precipitação (mm) e umidade relativa (%) no 2001 a 2014 no município do Acará.

Parcela	AF x Precipitação (mm)	AF X Umidade Relativa (%)
G12	-0,642*	-0,587*
G13	-0,276 <sup>ns</sup>	-0,229 <sup>ns</sup>
G14	-0,500 <sup>ns</sup>	-0,464 <sup>ns</sup>
G15	-0,597*	-0,608*
G16	-0,751**	-0,751**
F12	0,401 <sup>ns</sup>	0,238 <sup>ns</sup>
F13	0,564 <sup>ns</sup>	0,368 <sup>ns</sup>
F14	-0,190 <sup>ns</sup>	-0,006 <sup>ns</sup>
F15	-0,466 <sup>ns</sup>	-0,352 <sup>ns</sup>
F16	-0,782**	-0,526 <sup>ns</sup>
E12	-0,772**	-0,743**
E13	-0,655*	-0,762**
E14	-0,603*	-0,354 <sup>ns</sup>
E15	-0,531 <sup>ns</sup>	-0,364 <sup>ns</sup>
E16	-0,686*	-0,771**

<sup>ns</sup>não significativo ( $P \geq 0,05$ )

\*significativo ao nível de 5% de probabilidade ( $0,05 = < P$ ).

\*\*significativo ao nível de 1% de probabilidade ( $0,01 = < P$ ).

**Fonte:** Autor (2018).

As Figuras 26 a 39 indicam a evolução da doença na área experimental sendo os pontos verdes às plantas de palma de óleo sem AF, os pontos vermelho às plantas com AF, as linhas tracejadas são as ruas de acesso e o polígono em azul a área de preservação permanente (APP). As setas de vetorização indicam o sentido para o qual o nível segue da maior altitude para a menor a partir dessas informações é possível determinar em períodos de alta precipitação os sentidos de escoamento da água e de acumulação destas juntando com a localização das plantas atacadas é possível indentificar as áreas que podem apresentar influencia de acumulo de água.

A partir do mapeamento das plantas com Amarelecimento Fatal é possível visualizar os locais no qual a doença se propagou de forma mais acentuada dentro da área de estudo. A partir do ano de 2009 (Figura 34) nota-se que a doença se disseminou de forma mais intensa na parcela E15 e em formato de reboleira, sendo esta área com uma baixo valor de altimetria e próximo de uma APP.

Com o passar dos anos de 2010 a 2014 (Figuras 35 a 39) a doença se disseminou rapidamente nas parcelas mais baixas e mais planas com destaque as parcelas E15, F16 e

G13 e G14, indicando que há uma relação entre esses fatores, em observação em campo essas áreas demonstraram apresentar um solo com má drenagem e alto acúmulo de água principalmente em áreas com tráfego de tratores agrícolas. O presente estudo está de acordo com o observado por Amaral (2016) que avaliando os fatores abióticos e a altimetria como um forte fator responsável por acentuar o processo de surgimento de plantas com Amarelecimento Fatal na área de plantio, principalmente em áreas de baixa altitude.

Segundo Venturieri et al. (2009), a má drenagem do solo em determinada época pode induzir fragilidade das plantas. Desse modo, fatores abióticos, como o encharcamento do solo, podem ser facilitadores ou até mesmo fatores essenciais para fragilizar o dendezeiro e deixa-lo susceptível ao AF. Sendo assim o fator chuva pode ser mostra-se como um agravante para a propagação da doença no plantio (BERGAMIN FILHO et al., 1998; ARAÚJO, 2016, AMARAL, 2016).

O alagamento pode afetar o equilíbrio de nutrientes no solo, estando a nutrição da planta associada a maior sensibilidade a diversas enfermidades agravadas por patógenos (TURNER, 2003). Também, pode prejudicar a absorção de alguns nutrientes essenciais pelas raízes como Ca e P, o acúmulo de nutrientes em solos alagados pode ser tóxico às plantas (MUNÉVAR et al. 2001; VILLIÓN, 2007).

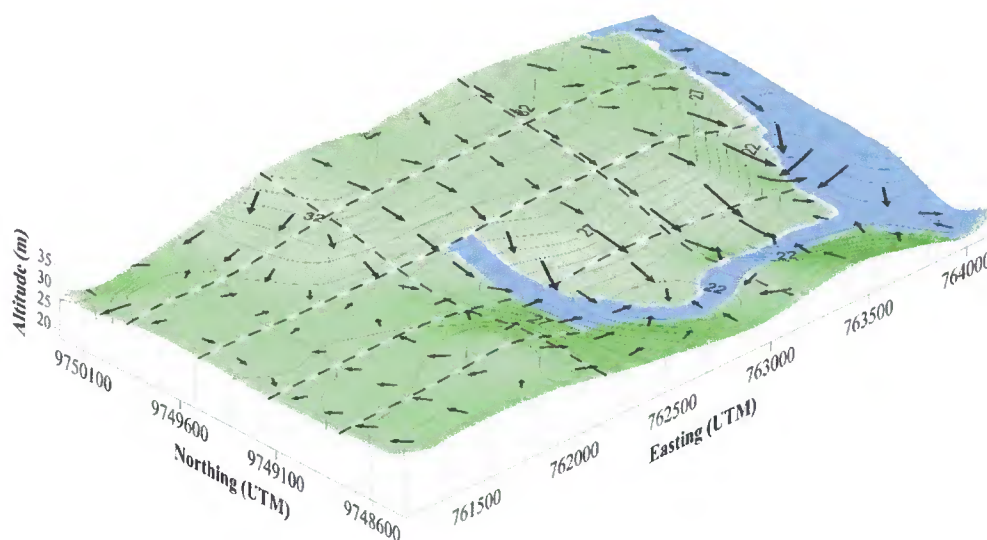
O acúmulo de Fe e Mn, associado às condições de hipóxia ou anoxia (baixa concentração ou ausência de O<sub>2</sub>, respectivamente) em solos alagados, podem ser reduzidos a formas mais solúveis, podendo atingir níveis tóxicos, desencadeando estresse oxidativo nas plantas (VILLÓN, 2007; BRIAT et al., 2010).

Segundo Nascimento et al. (2018), em estudo com objetivo de descrever as alterações proteicas em raízes de palma de óleo associadas ao AF, concluiu que no experimento utilizando raízes de com e sem sintomas aéreos de AF, comparando diferentes estágios da doença, observaram altas intensidades de álcool desidrogenase e outras proteínas do metabolismo energético desde o início dos sintomas contrasta com o acúmulo aumentado de proteínas relacionadas a defesa somente nos estágios mais avançados dos sintomas do AF. O autor conclui que isto indica que deve ocorrer alterações em componentes abióticos que precedem a ocorrência do AF, cujo os sintomas parecem ser agravados por fatores bióticos, que devem atuar como patógenos oportunistas.

Em outro estudo realizado por Costa et al. (2018), realizando estudo sobre a diversidade de fungos sobre plantas sintomáticas e assintomáticas ao AF, concluíram que não há uma comunidade microbiana padrão para a doença e sim que o AF causa um distúrbio na comunidade de microorganismos presentes nas plantas, atraindo diversos patógenos oportunistas nas fases posteriores das plantas sintomáticas.

Então, pesquisas envolvendo solos, drenagem e raízes de palma de óleo, na área de estudo, principalmente nas áreas de ocorrência das reboleiras, se fazem necessárias para um melhor entendimento dos fatores que causam a disseminação da doença nas plantas. A partir dos resultados obtidos pelas pesquisas os produtores de palma de óleo devem se atentar para talhões afetados com AF, pois são focos para a disseminação da doença, visto que com o passar dos anos a doença pode se propagar para parcelas próximas.

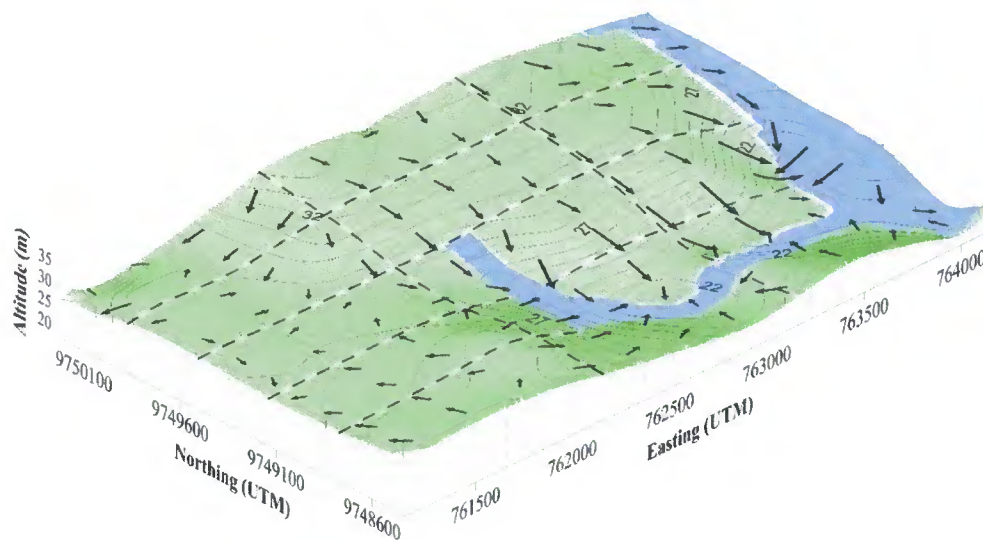
**Figura 26:** Mapa de Incidência do Amarelecimento Fatal nas 15 parcelas da área experimental, no ano de 2001, em plantio de palma de óleo orgânica, no município do Acará.



**Fonte:** Autor (2018).

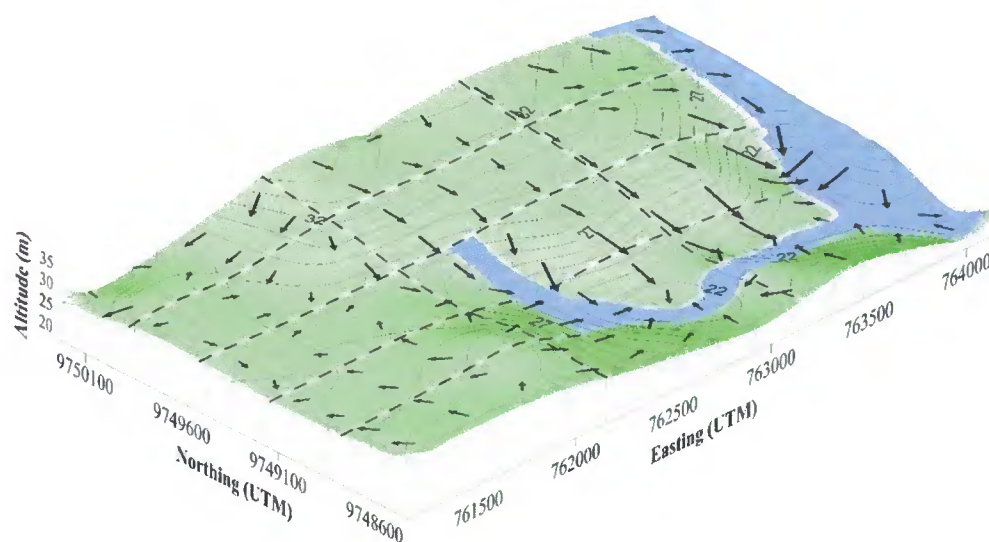


**Figura 27:** Mapa de Incidência do Amarelecimento Fatal nas 15 parcelas da área experimental, no ano de 2002, em plantio de palma de óleo orgânica, no município do Acará.



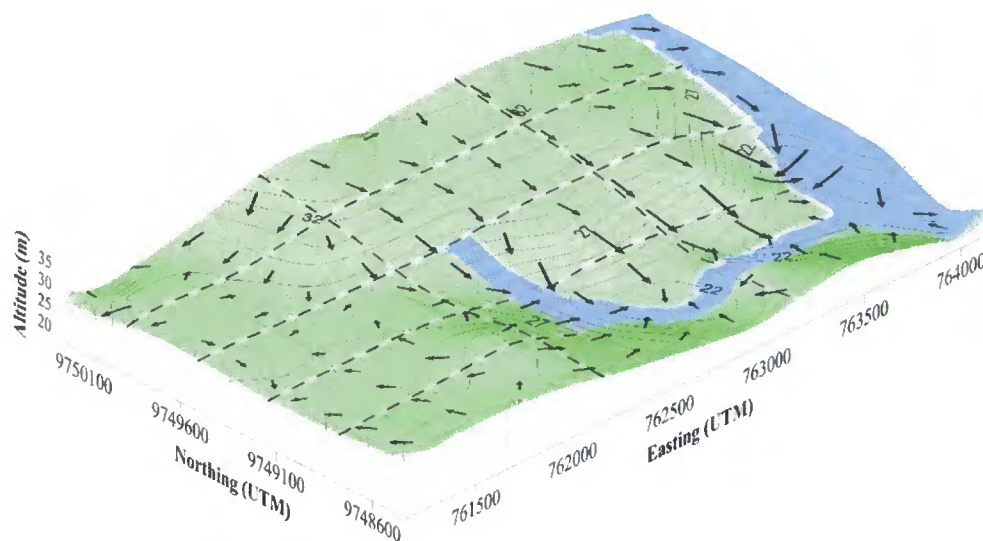
**Fonte:** Autor (2018).

**Figura 28:** Mapa de Incidência do Amarelecimento Fatal nas 15 parcelas da área experimental, no ano de 2003, em plantio de palma de óleo orgânica, no município do Acará.



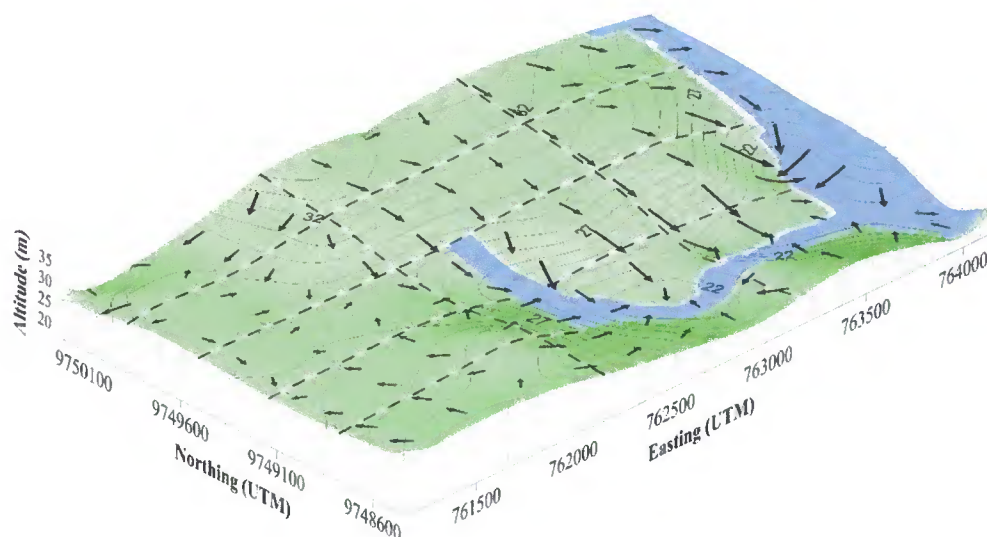
**Fonte:** Autor (2018).

**Figura 29:** Mapa de Incidência do Amarelecimento Fatal nas 15 parcelas da área experimental, no ano de 2004, em plantio de palma de óleo orgânica, no município do Acará.



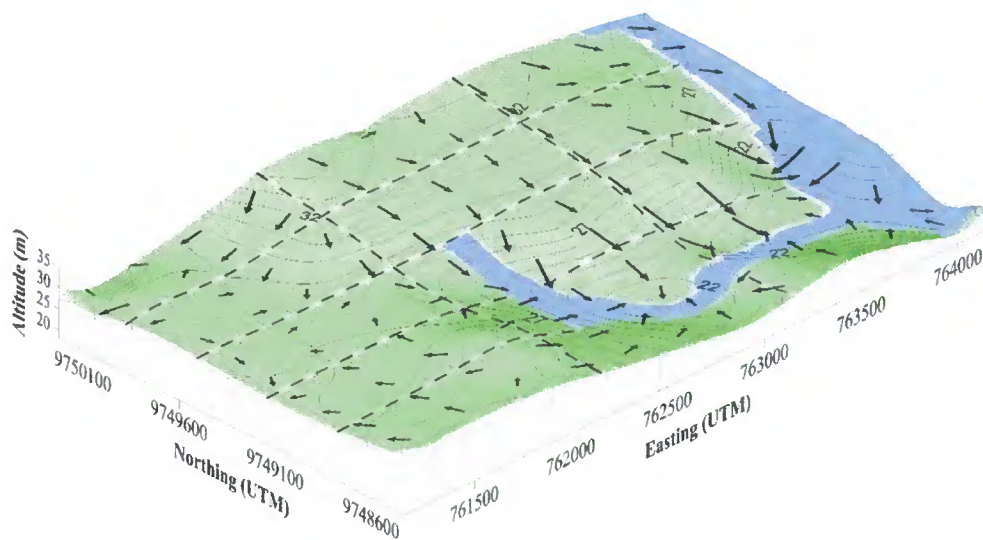
**Fonte:** Autor (2018).

**Figura 30:** Mapa de Incidência do Amarelecimento Fatal nas 15 parcelas da área experimental, no ano de 2005, em plantio de palma de óleo orgânica, no município do Acará.



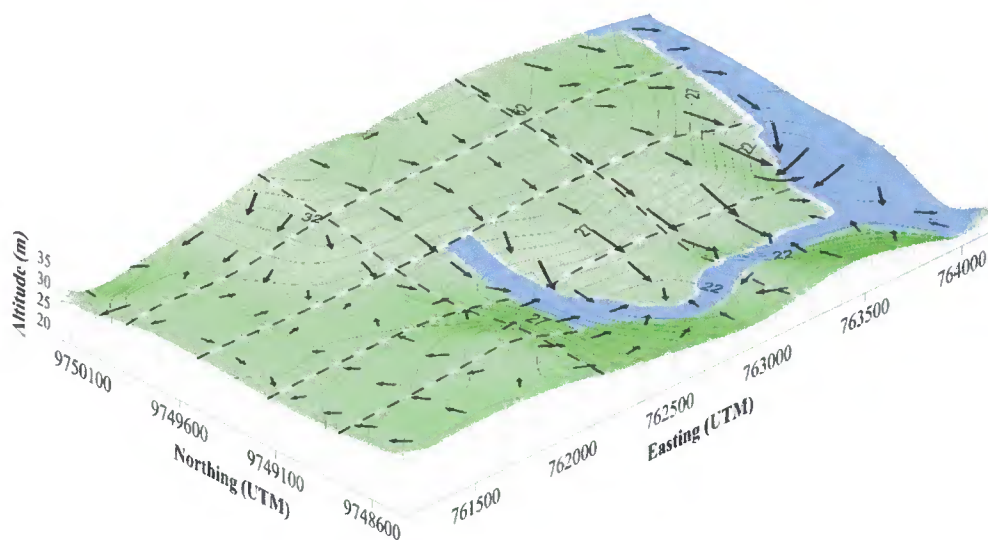
**Fonte:** Autor (2018).

**Figura 31:** Mapa de Incidência do Amarelecimento Fatal nas 15 parcelas da área experimental, no ano de 2006, em plantio de palma de óleo orgânica, no município do Acará.



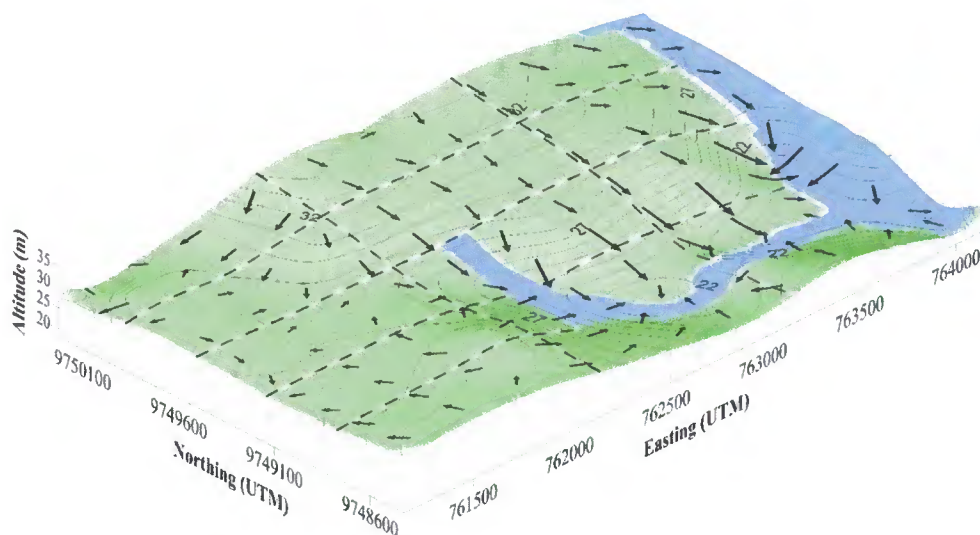
Fonte: Autor (2018).

**Figura 32:** Mapa de Incidência do Amarelecimento Fatal nas 15 parcelas da área experimental, no ano de 2007, em plantio de palma de óleo orgânica, no município do Acará.



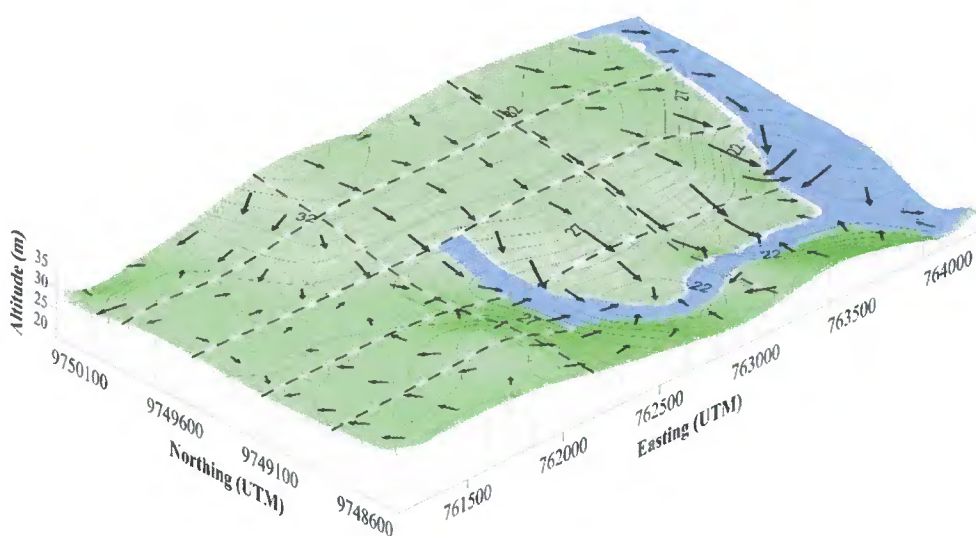
Fonte: Autor (2018).

**Figura 33:** Mapa de Incidência do Amarelecimento Fatal nas 15 parcelas da área experimental, no ano de 2008, em plantio de palma de óleo orgânica, no município do Acará.



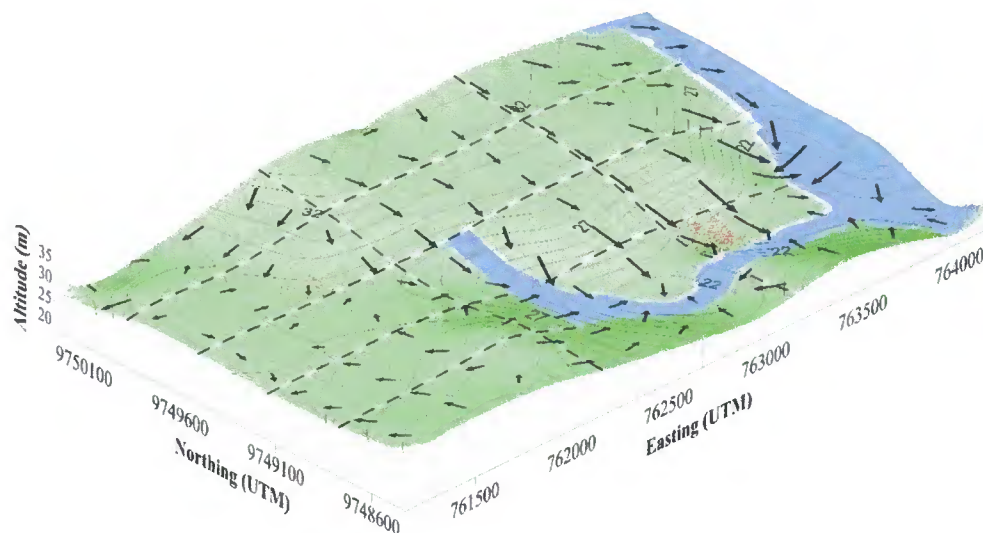
**Fonte:** Autor (2018).

**Figura 34:** Mapa de Incidência do Amarelecimento Fatal nas 15 parcelas da área experimental, no ano de 2009, em plantio de palma de óleo orgânica, no município do Acará.



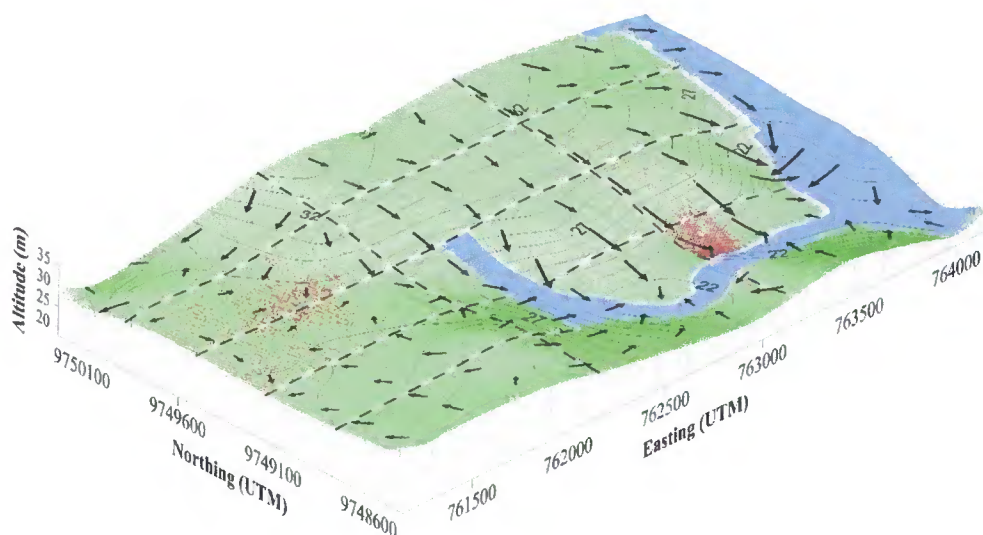
**Fonte:** Autor (2018).

**Figura 35:** Mapa de Incidência do Amarelecimento Fatal nas 15 parcelas da área experimental, no ano de 2010, em plantio de palma de óleo orgânica, no município do Acará.



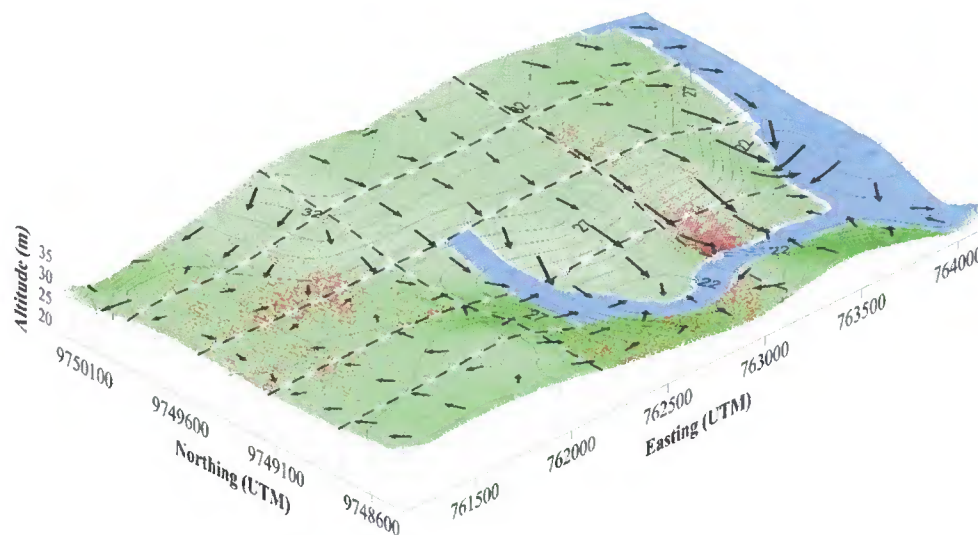
**Fonte:** Autor (2018).

**Figura 36:** Mapa de Incidência do Amarelecimento Fatal nas 15 parcelas da área experimental, no ano de 2011, em plantio de palma de óleo orgânica, no município do Acará.



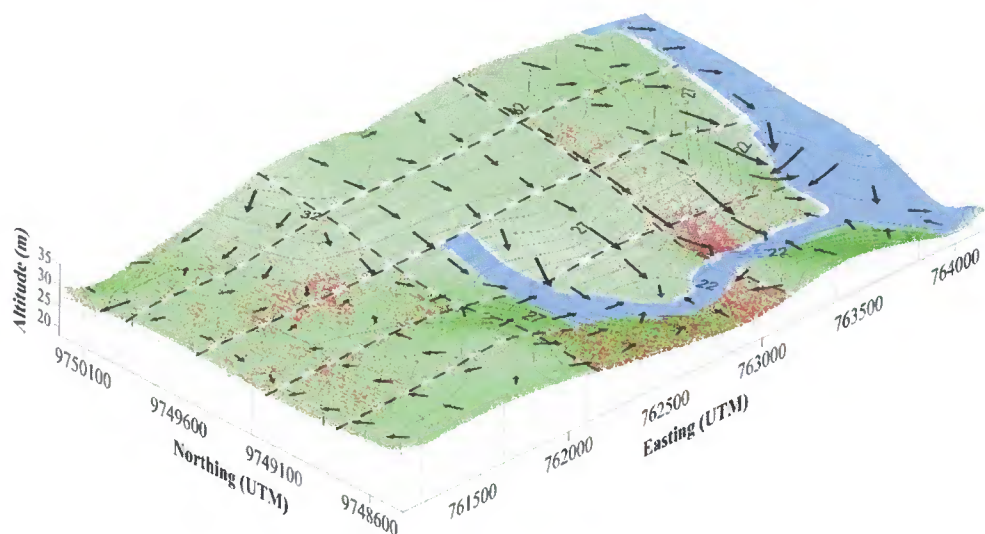
**Fonte:** Autor (2018).

**Figura 37:** Mapa de Incidência do Amarelecimento Fatal nas 15 parcelas da área experimental, no ano de 2012, em plantio de palma de óleo orgânica, no município do Acará.



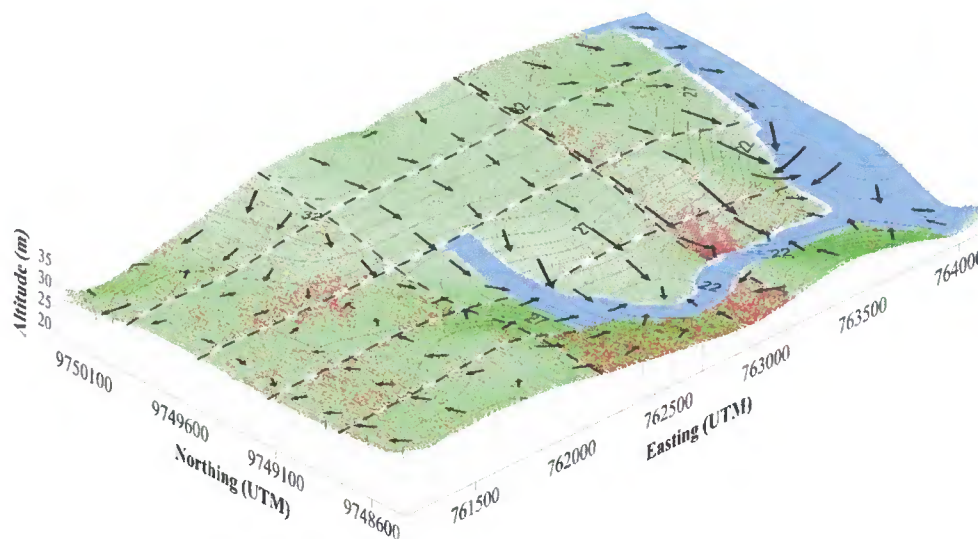
**Fonte:** Autor (2018).

**Figura 38:** Mapa de Incidência do Amarelecimento Fatal nas 15 parcelas da área experimental, no ano de 2013, em plantio de palma de óleo orgânica, no município do Acará.



**Fonte:** Autor (2018).

**Figura 39:** Mapa de Incidência do Amarelecimento Fatal nas 15 parcelas da área experimental, no ano de 2014, em plantio de palma de óleo orgânica, no município do Acará.



**Fonte:** Autor (2018).

### 3.4 Conclusão

O aumento da propagação da doença do Amarelecimento Fatal nas plantas se intensificou a partir dos anos de aumento de umidade relativa (%) e valores de precipitação (mm).

O mapeamento das plantas de palma de óleo com altimetria e vetorização, utilizando SIG, se mostrou uma ferramenta promissora para a observação do surgimento de plantas afetadas com o AF com o passar dos anos.

Os mapas de incidência das plantas com sintoma do AF indicam que a doença teve maior disseminação em áreas de baixa altitude e próximas das Áreas de Preservação Permanente.

### 3.5 Referências

ABRAPALMA. Associação Brasileira de Produtores de Óleo de Palma. A palma no Brasil e no mundo. Disponível em: <http://www.abrapalma.org/pt/a-palma-no-brasile-nomundo>. Acesso em: 15 jan. de 2018.

- ALMEIDA, M. S.; DAL POZ, W. R. Precise point positioning and relative positioning with GNSS: what most accurate currently? **Boletim de Ciências Geodésicas**. Curitiba. v. 22, nº1, p.175 – 195, 2016.
- ARAÚJO, F. C. B. **Influência dos fatores climáticos na incidência do Amarelecimento Fatal em palma de óleo no município de Tailândia**. 2016. 50 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, 2016.
- AMARAL, A. P. M. **Distribuição espacial e temporal do amarelecimento fatal em plantio orgânico de palma de óleo (*Elaeis guineensis* Jacq.) na amazônia oriental**. 2016. 81f. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, 2016.
- BERGAMIN FILHO, A., AMORIM, L., LARANJEIRA, F.F., BERGER, R.D., HAU, B. Análise temporal do Amarelecimento Fatal do dendezeiro como ferramenta para elucidar sua etiologia. **Fitopatologia Brasileira**, v.23, p. 391-396, 1998.
- BERNARDES, M. S. R. Relatório de visita à plantações de Paricatuba, na Denpasa, visando à identificação das causas do AF (1999). In: **DENPASA. Pesquisa sobre amarelecimento fatal em dendezeiro**. Belém, PA, 2001.
- BRIAT, J. F.; RAVET, K.; ARNAUD, N.; DUC, C.; BOUCHEREZ, J.; TOURAINÉ, B.; CELLIER, F.; GAYMARD, F. New insights into ferritin synthesis and function highlight a link between iron homeostasis and oxidative stress in plants. **Annals of Botany**. v. 105, n. 5, p. 811-822, 2010. doi:10.1093/aob/mcp128.
- CORLEY, R. H. V. How much palm oil do we need? **Environmental Science and Policy**, v.12, p.134-139. 2009.
- COSTA, Y. A. C., DAIVA, D. T.; BERGMANN, J. C.; BARRETO, C. C.; QUIRINO, B. F. Fungal diversity in oil palm leaves showing symptoms os Fatal Yellowing disease, **PLOS One**, <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0191884>, 13(1), 2018.
- FILIPPINI-ALBA, J. M. Modelagem SIG em agricultura de precisão: conceitos, revisão e aplicações. In: BERNARDI, A. C. C.; NAIME, J. M.; RESENDE, A. V.; BASSOI, L. H.; INAMASU, R. Y. (Ed.). **Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar**. São Carlos: Embrapa Instrumentação, 2014. p. 84-95.
- GOES, T.; MARRA, R. Biocombustíveis - uma alternativa para o mundo, uma oportunidade para o Brasil. **A Lavoura**, ano 111, n. 668, p. 15-19, 2008.
- IBGE-SIDRA – **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. Cidades: produção agrícola municipal. **Lavouras Temporárias e Permanentes**, 2018. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/tabela/protabl.asp?c=1613&z=p&o=29&i=P>>. Acesso em: 10 mar. 2018.
- MUNÉVAR, M. F.; ACOSTA, G. A.; GÓMEZ, C. P. Factores edáficos asociados con la Pudrición del cogollo de la palma de aceite en Colombia. **Palmas**, v. 22, n. 2, p. 9-19, 2001.
- NASCIMENTO, S. V.; MAGALHÃES, M. M.; CUNHA, R. L.; COSTA, P. H. O.; ALVES, R. C. O.; OLIVEIRA, G. C.; VALADARES, R. B. S. Differential accumulation



of proteins in oil palms affected by fatal yellowing disease. *PLOS One*. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0195538>, 13(4), 2018.

PRESS, W. H.; FLANNERY, B. P.; TEUKOLSKY, S. A.; VETTERLING, W. T. **Numerical Recipes in C**. Cambridge University Press. 1988.

SILVA, J. N.; FARIAS, P.R.S.; SILVA, A. G.; OLIVEIRA, F. J.; TINÔCO, R. S. Spatial distribution of cases of fatal yellowing on organic oil palm Plantation. *Semina: Ciências Agrárias*, Londrina, v. 37, n. 5, p. 3047-3054, set./out. 2016.

TINÔCO, R. S. **Diversidade de inimigos naturais associados à lepidopteros desfolhadores da palmeira do dendê no complexo agroindustrial Agropalma, Pará, Amazônia Brasileira**. 2008. 36 f. Dissertação (Mestrado em Entomologia) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2008.

TURNER, P. **The role of nutrition in disease control**. In: **Oil palm: Management for large and sustainable yields**, edited by: Fairhurst, T. and Härdter, R. IPNI and IPI. p. 181-190. 2003.

VAN SLOBBE, W. G. **Amarelecimento fatal: final report**. Belém, PA: Denpasa, 1991. 100 p.

VILLÓN, M. **Drenaje**. Editorial tecnológica de Costa Rica. Primera edición. p. 544, 2007.