

70

m.ob.50014
m.c.52416

Universidade Federal Rural
da Amazônia
BIBLIOTECA



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA - UFRA
MESTRADO EM AGRONOMIA

ANA PAULA MAGNO DO AMARAL

DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL E TEMPORAL DO AMARELECIMENTO FATAL
EM PLANTIO ORGÂNICO DE PALMA DE ÓLEO (*Elaeis guineensis* Jacq.)
NA AMAZÔNIA ORIENTAL

Dissertação
632.3
A485
EX:01

Biblioteca



35450019

Biblioteca

BELÉM
2016

ANA PAULA MAGNO DO AMARAL

Universidade Federal Rural
da Amazônia
BIBLIOTECA

**DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL E TEMPORAL DO AMARELECIMENTO FATAL
EM PLANTIO ORGÂNICO DE PALMA DE ÓLEO (*Elaeis guineensis* Jacq.) NA
AMAZÔNIA ORIENTAL**

Dissertação apresentada à Universidade Federal Rural da Amazônia, como parte das exigências do Curso de Mestrado em Agronomia: área de concentração produção vegetal em sistemas agrícolas, para obtenção do título de Mestre.
Orientador: Prof. Dr. Paulo Roberto Silva Farias.

BELÉM

2016

Universidade Federal Rural de Amazônia
BIBLIOTECA

RP 3545 Data 15/06/2016

Amaral, Ana Paula Magno do

Distribuição espacial e temporal do amarelecimento fatal em
plantio orgânico de palma de óleo (*Elaeis guineensis* Jacq.) na
Amazônia Oriental / Ana Paula Magno do Amaral. - Belém, 2016

54 f.

Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal
Rural da Amazônia, 2016.

Orientador: Paulo Roberto Silva Farias.

1. Geoestatística. 2. Semivariância. 3. Krigagem. 4.
Dispersão Espacial I. Farias, Paulo Roberto Silva, (orient.).
II. Título.

CDD – 632.3

ANA PAULA MAGNO DO AMARAL

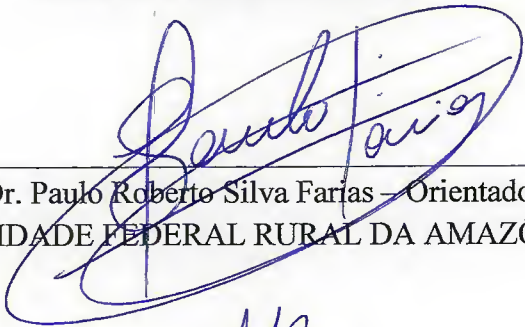
**DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL E TEMPORAL DO AMARELECIMENTO FATAL
EM PLANTIO ORGÂNICO DE PALMA DE ÓLEO (*Elaeis guineensis* Jacq.) NA
AMAZÔNIA ORIENTAL**

Dissertação apresentada à Universidade Federal Rural da Amazônia, como parte das exigências do Curso de Mestrado em Agronomia: área de concentração produção vegetal em sistemas agrícolas, para obtenção do título de Mestre.

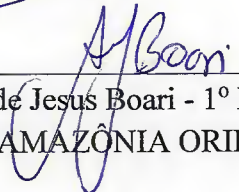
Orientador: Prof. Dr. Paulo Roberto Silva Farias.

Aprovado em 31 de março de 2016.

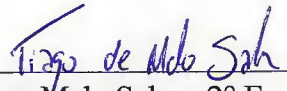
BANCA EXAMINADORA



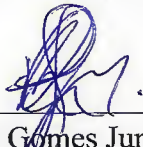
Prof. Dr. Paulo Roberto Silva Farias – Orientador
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA



Dr^a. Alessandra de Jesus Boari - 1º Examinador
EMBRAPA AMAZÔNIA ORIENTAL



Prof. Dr. Tiago Melo Sales – 2º Examinador
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO PARÁ



Dr. Rui Alberto Gomes Junior – 3º Examinador
EMBRAPA AMAZÔNIA ORIENTAL

AGRADECIMENTOS

A Deus, provedor de todo o bem, pela minha existência e força para alcançar meus objetivos, pois sem Ele nada é possível.

À minha mãe, Ligia, e meu irmão Alberto, pelo imenso amor que recebo deles, por sempre me apoiarem nos estudos, sendo meus exemplos de conquista e superação de provas na vida.

Ao meu pai, Rafael (*in memoriam*), que tanto sonhou me ver formada e seguindo essa profissão, sempre me apoiando no que fosse necessário para me ver cada vez melhor, onde ele estiver, com certeza está muito feliz.

Aos meus familiares que estiveram torcendo por mim.

Aos alunos de graduação do museu e laboratório de entomologia, Thiago Ferreira, Flávio Rodrigues, Maria Luzia Lima, Wendy Medeiros e, principalmente, Artur dos Santos, que sempre estiveram disponíveis e dispostos a me ajudar na pesquisa.

Aos colegas de Pós-Graduação: José Nilton Silva, Alessandra Brandão, Raphael Coelho, Flávia Chagas, Nara Rodrigues, John Ausique e Fábio Oliveira que caminharam comigo nessa jornada, sempre trocando conhecimento.

À equipe da empresa Agropalma, em especial à Ricardo Tinôco e Gilson Sanchez, pela concessão dos dados para análise, informações e apoio logístico, para o êxito deste trabalho.

Ao meu orientador, Professor Dr. Paulo Roberto Silva Farias, pela confiança depositada em mim, paciência e apoio na pesquisa.

À Coordenação do Mestrado em Agronomia, aos professores e funcionários, por estarem prontamente disponíveis durante todas as atividades.

À Coordenação de Aperfeiçoamento Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudos.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Contagem de focos do Amarelecimento Fatal em 140 talhões de palma de óleo orgânico, no período de 2001 a agosto 2015.....	36
Tabela 2 - Médias mensais dos dados climáticos, Temperatura máxima (Tmax), Temperatura mínima (Tmin), Temperatura Média (Tmed), Umidade Relativa (UR), Precipitação (PP) e Insolação, dos anos de 2001 a 2015, coletados na estação meteorológica da empresa Agropalma S/A.....	39
Tabela 3 - Coeficientes de correlação linear de Pearson (r), entre o NPAF e os valores de média mensal dos fatores abióticos no período de 2001 a 2014 no município do Acará.....	40
Tabela 4 - Parâmetros dos Semivariogramas do AF no período de 2001 a 2015.....	43

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Mapa do material genético encontrado nas parcelas da CPA no período de 2001 até 2011, ano do primeiro replantio.....	27
Figura 2 - Mapa atualizado de material genético do plantio orgânico da CPA, já com os plantios de híbridos, realizados nos anos de 2011, 2013 e 2015.....	27
Figura 3 - Mapa de localização da Fazenda Companhia Palmares da Amazônia (CPA), localizada no município de Acará.....	28
Figura 4 - Mapa da área e ano de plantio orgânico de palma de óleo na CPA, antes do primeiro replantio com híbridos em 2011.....	29
Figura 5 - Mapa dos anos de plantio orgânico de palma de óleo na CPA.....	29
Figura 6 - Mapa de localização das parcelas orgânicas de Palma de óleo da fazenda CPA – Acará, PA.....	30
Figura 7 - Coleta de coordenadas geográficas em campo, com GPS Pro-XT.....	30
Figura 8 - Esquema do semivariograma experimental.....	32
Figura 9 - Semivariogramas mais utilizados para estudos bióticos.....	33
Figura 10 - Evolução da incidência de plantas com Amarelecimento Fatal no Plantio Orgânico, município do Acará.....	37
Figura 11 - Flutuação mensal média do número total de focos de Amarelecimento Fatal em plantio orgânico no período de 2001 a 2014 e média de precipitação pluviométrica (mm).....	39

Figura 12 - Gráficos de correlação (r) entre o Número de Plantas com AF (NPAF) e fatores abióticos (Temperatura média, Umidade Relativa, Precipitação e Insolação), referentes aos anos de 2001 a 2014..... 41

Figura 13 - Flutuação mensal média do número total de focos de Amarelecimento Fatal em plantio orgânico no período de 2001 a 2014 e média de insolação (W/m^2). ... 41

Figura 14 - Semivariogramas de plantas com AF no plantio orgânico de palma de óleo, referente aos anos de 2001 a 2015..... 45

Figura 15 - Mapa com os focos de amarelecimento fatal em plantio orgânico no ano de 2001, no município do Acará..... 46

Figura 16 - Mapas de krigagem e da Altimetria (3D) da incidência de Amarelecimento Fatal em plantio orgânico de palma de óleo nos anos de 2002 a agosto de 2015, no município do Acará..... 47

SUMÁRIO

RESUMO	7
ABSTRACT	8
1. CONTEXTUALIZAÇÃO	9
1.1. Revisão de Literatura	11
1.1.1. <i>Características da palma de óleo</i>	11
1.1.2. <i>Necessidades climáticas da palma de óleo</i>	11
1.1.3. <i>Importância da palma de óleo</i>	12
1.1.4. <i>Importância econômica da palma de óleo</i>	13
1.1.5. <i>Problemas fitossanitários da palma de óleo</i>	14
1.1.6. <i>Amarelecimento Fatal</i>	14
1.1.7. <i>Hipóteses sobre o agente causal do amarelecimento fatal</i>	15
1.1.8. <i>Importância da avaliação de produtividade na área</i>	17
2. DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL E TEMPORAL DO AMARELECIMENTO FATAL EM PLANTIO ORGÂNICO DE PALMA DE ÓLEO (<i>Elaeis guineensis</i> Jacq.) NA AMAZÔNIA ORIENTAL	25
2.1. Introdução	26
2.2. Material e Métodos	26
2.2.1. <i>Caracterização da área</i>	26
2.2.2. <i>Condução experimental</i>	28
2.2.3. <i>Georreferenciamento das parcelas</i>	30
2.2.4. <i>Análise da distribuição do Amarelecimento Fatal</i>	31
2.2.5. <i>Análise Geoestatística</i>	32
2.2.7. <i>Modelos de semivariogramas</i>	33
2.2.8. <i>Krigagem</i>	35
2.2.9. <i>Índice de dependência espacial</i>	36
2.2.10. <i>Mapa de altimetria</i>	36
2.3. Resultados e discussão	37
2.3.1. <i>Flutuação temporal do Amarelecimento Fatal</i>	37
2.3.2. <i>Distribuição espacial do Amarelecimento Fatal</i>	43
2.4. Conclusões	52
REFERÊNCIAS	53

RESUMO

Importante fonte de óleo vegetal, a palma de óleo (*Elaeis guineensis* Jacq.) apresenta-se como uma das melhores alternativas na redução do consumo de combustíveis fósseis e também muito importante na indústria alimentícia e cosmética. Dentre outros problemas fitossanitários, a cultura sofre com a incidência do Amarelecimento Fatal (AF), característico da América Latina e que afeta principalmente, países como: Colômbia, Suriname e Brasil. O objetivo do presente estudo foi avaliar a distribuição espacial e temporal do AF em área de plantio orgânico de 140 parcelas, dos anos de 2001 a 2015, de plantas georreferenciados no município de Acará, Estado do Pará. A distribuição espacial e temporal das plantas doentes indicam que o AF, na área, teve início a partir de mudas já infectadas que foram plantadas de maneira aleatória na área no ano de 2001, ajustadas ao modelo efeito pepita puro. A partir do ano 2002 a 2015, os modelos geoestatísticos ajustados foram Exponencial e Gaussiano, indicando agregação de plantas doentes na área, podendo-se observar que plantas vizinhas aos focos iniciais também foram infectadas, com direção preferencial da infestação para áreas mais baixas. Esta dispersão espacial, elucida uma provável causa biótica da doença.

Palavras-chave: Geoestatística, semivariância, krigagem, dispersão espacial.

ABSTRACT

Important source of vegetable oil, oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) is presented as one of the best alternatives in reducing the consumption of fossil fuels and also very important in the food and cosmetic industry. Among other plant diseases, oil palm suffers with Fatal Yellowing (FY); a disease characteristic of Latin America and affects mainly countries such as Colombia, Suriname and Brazil. The aim of this study was to evaluate the spatial and temporal distribution of FY in organic farming area, from 2001 to 2015, in 140 plots georeferenced in Acará city, State of Pará. The spatial and temporal distribution of diseased plants indicate that FY in the area, started from seedlings already infected that were planted randomly in the area in 2001, adjusted to model pure nugget effect. From 2002 to 2015, geostatistical models adjusted were Exponential and Gaussian, indicating aggregation of diseased plants in the area. Neighboring plants to the initial outbreaks were also infected with preferred direction of the infestation to lower areas. This dispersion elucidates a probable biotic cause of the disease.

KEY WORDS: Geostatistics, semivariance, kriging, spatial dispersion.

1. CONTEXTUALIZAÇÃO

Originária da África, a palma de óleo (*Elaeis guineensis* Jacq.) é encontrada em áreas desde o Senegal até a Angola. Adaptou-se muito bem ao clima tropical úmido de algumas regiões do Brasil (TRINDADE et al., 2005).

Embora sua destinação seja para a indústria cosmética e alimentícia, sua produção vem aumentando devido à necessidade de matéria prima para biocombustíveis, uma vez que seu óleo é considerado como a melhor alternativa para a produção de biodiesel. Encontra-se na faixa de 62,83 mil toneladas produzidas mundialmente (AGRIANUAL, 2015). O Estado do Pará é o maior produtor de palma de óleo, sendo responsável por 83,35 % da produção nacional (IBGE, 2014).

Entretanto, há um grande entrave para expansão da cultura em determinadas regiões do Estado, pois de acordo com Medeiros e Sano (1988) o cultivo da palma de óleo também está sujeito a surtos populacionais de pragas, se constituindo, muitas vezes, como fator limitante. Dentre os problemas fitossanitários que prejudicam o desenvolvimento da cultura, existe o Amarelecimento Fatal (AF), o qual ainda não tem sua causa determinada, o que dificulta seu controle.

Em busca dessa descoberta, vários estudos foram realizados, porém sem sucesso na identificação da sua causa. Baseado nisso, do ponto de vista científico, foram testadas as seguintes hipóteses:

1. O Amarelecimento fatal parte de um foco inicial, dispersando-se de forma característica biótica.
2. Fatores climáticos, como precipitação e insolação, influenciam no desenvolvimento da doença.

OBJETIVO GERAL

- Avaliar a distribuição espacial e temporal da doença Amarelecimento Fatal da palma de óleo e clima na área de plantio orgânico.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar a dispersão do Amarelecimento Fatal na área de plantio orgânico;
- Avaliar a influência dos fatores abióticos com o Amarelecimento Fatal;

REFERÊNCIAS

AGRIANUAL: anuário da agricultura brasileira. São Paulo: FNP Consultoria e Agroinformativos, 2015.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **“Produção Agrícola Municipal 2014”**. Disponível em <http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/pesquisas/pam/default.asp?o=18&i=P>. Acesso em 10 de Março de 2015.

MEDEIROS, J. S.; SANO, E. Análise multitemporal de imagens digitais do Landsat TM na detecção de áreas afetadas por ataques de lagartas *Sibine fusca* na cultura de dendê (*Elais guineensis*). In: **SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO**. 5, Natal, (RN), 1988. São José dos Campos, INPE, 1988.

TRINDADE, D. R.; POLTRONIERI, L. S.; FURLAN, J. Abordagem sobre o estado atual das pesquisas para a identificação do agente causal do amarelecimento fatal do dendezeiro. In: POLTRONIERI, L.S.; TRINDADE, D.R.; SANTOS, I.P. **Pragas e Doenças de cultivos amazônicos**. (Ed.). Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2005. 439-450p.

1.1. Revisão de Literatura

1.1.1. Características da palma de óleo

A palma de óleo (*Elaeis guineensis*) é uma palmeira originária da África (Golfo da Guiné), sendo encontrada em povoamentos subespontâneos desde o Senegal até a Angola. No Brasil, foi introduzido no século XVII, pelos escravos, e adaptou-se bem ao clima tropical úmido (TRINDADE et al., 2005).

É uma oleaginosa com até 15m de altura, de ciclo perene, monocotiledônea e pertencente à família das Arecaceae (CORLEY et. al., 2003; RIBEIRO et. al., 2010).

Pelo fato de apresentar sistema radicular fasciculado, adapta-se bem em solos profundos, uma vez que a maioria das raízes se encontra entre 20 e 60 cm de profundidade (FERWERDA, 1975; LODY, 2009; RAMALHO FILHO et al., 2010).

Apresentando até 5 cm de comprimento e peso oscilando entre 3 e 30 g, o fruto do dendezeiro é classificado como drupa do tipo sésil e elipsado, tendo sua espessura de endocarpo expressa por um gene específico, que classifica o fruto como Psifera, Dura e Tenera (BARCELOS et al., 2000; SAMBANTHAMURTHI et al., 2000). O mesocarpo contém em torno de 20-22% de óleo (palma) enquanto que a amêndoa pode alcançar um teor de até 55% de óleo (palmiste), deste modo, a indústria de palma de óleo comprova a superioridade em relação ao teor na cultura da soja em diversas linhagens, que varia entre 16,58 e 20,75%, confirmando um alto potencial para produção de biodiesel (BARBOSA et al., 2007; ESPINDOLA et al., 2008).

1.1.2. Necessidades climáticas da palma de óleo

Do ponto de vista agroclimático, a palma exige, para seu cultivo, condições bastante específicas, dentre as quais: a) pluviosidade superior a 1.800/2.200 mm/ano com boa distribuição e sem estação seca pronunciada, sob pena de afetar a emissão foliar, o peso médio dos cachos e o rendimento do óleo; b) insolação superior à 1.800 horas/anuais bem distribuídas. O nível ótimo de insolação é de 2.000 horas/anuais, não podendo ser nunca inferior a 1.500 horas (o baixo nível de insolação provoca efeitos sobre a maturidade e uniformidade dos cachos, com consequências para a proporção de flores emitidas e a qualidade do óleo produzido; c) temperatura média entre 25° e 28°C (com mínima absoluta não inferior à 18°C). Baixas temperaturas acarretam a redução do ritmo de crescimento de plantas jovens e da produção de frutos das mais velhas. d) umidade relativa entre 60% e 90%; e) solos profundos e bem drenados, sem

impedimentos físicos para o crescimento de raízes e com baixa saturação de bases. Em geral, os solos de moderada declividade ou terrenos planos são preferíveis ao cultivo (LIMA, 2000).

Estas características justificam a escolha do plantio de palma de óleo na região amazônica, onde há predominância de áreas de 'terra firme' (80%), e de solos do tipo latossolo e podzólico (vermelho e amarelo), cujas características incluem a profundidade, a permeabilidade. Texeira et al. (2010) afirma que o AF ocorre predominantemente em Latossolos amarelos, de textura média, mal drenados e nos Argissolos e Plintossolos. Além de possuir classes de solos adequadas, a topografia e as condições climáticas da região constituem, igualmente, fatores favoráveis à cultura (KALTNER et al., 2004).

1.1.3. Importância da palma de óleo

A palma de óleo é a principal atividade agroindustrial em regiões tropicais úmidas, semelhantes à Amazônia, sendo cultivada em alta escala em países como: como a Indonésia, Malásia, Colômbia, Equador e alguns países africanos (FRANQUEVILLE, 2003).

Sendo uma cultura perene, apresenta produção contínua ao longo do ano e relativamente pouca sazonalidade. Sua vida útil econômica superior a 25 anos e é a oleaginosa cultivada de maior produtividade mundial, seu rendimento pode superar 25 toneladas de cacho/ha/ano (ROCHA, 2007). Por essas características, apresenta alta contribuição para o desenvolvimento social com a geração de empregos (PÁDUA, 2012).

No Brasil, seu potencial de produção pode chegar a até 6 toneladas de óleo/ha/ano, com tecnologias apropriadas, podendo ser um produtor líder mundial de combustíveis renováveis, especialmente em cenários de aumento dos preços do petróleo e a preocupação com a poluição ambiental, além de ajudar na recuperação de áreas degradadas, como pastos (ABDALLA et al., 2008; BROKAMP et al., 2011).

Vem se destacando devido o aumento da demanda de biocombustíveis no mundo e economicamente, sendo seu óleo considerado como a melhor alternativa para produção de biodiesel, por possuir maior produtividade do mundo (MURPHY, 2007).

Possui ainda grande capacidade de fixação de carbono, alta eficiência de conversão energética, gerando, também, subprodutos com uso energético (cascas, fibras e efluentes de usinas de processamento de cachos) (LOPES, 2008).

1.1.4. Importância econômica da palma de óleo

Os dois principais produtores do mundo com uma produção correspondendo a 86% aproximadamente de óleo são Malásia e Indonésia. Esses últimos países possuíam 20.800 e 33.500 mil toneladas, respectivamente em 2014 (USDA, 2014).

Quanto a importância econômica do óleo de palma, tem-se que a receita mundial, calculando-se somente o valor da *commodity* de óleo de palma bruto, em 2014, ultrapassará os US\$ 60 bilhões. Extrapolando, facilmente, os US\$ 150 bilhões quando se soma o agregado de valor da transformação como ingredientes no processamento de alimentos, biocombustíveis, bioenergia e oleoquímica, bem como o consumo direto como óleo de mesa (BRITO, 2014).

Embora necessite de alto investimento para a implantação da cultura, sua rentabilidade tem sido boa, pois possui produtividade superior em comparação a outras fontes como a soja, resultando em menores custos de produção, o que reflete em menor preço nos mercados de commodities (MME, 2014).

Pode-se afirmar que a cultura da palma de óleo é uma das mais importantes atividades agroindustriais das regiões tropicais úmidas, podendo, no futuro, desempenhar papel ainda mais importante, por ser uma excelente fonte geradora de empregos no meio rural (CASTRO et al., 2010).

O óleo de palma, em 2005, ultrapassou a soja em volume de produção de óleo, e desde então, ocupando o 1º lugar em produção e consumo mundial de óleos e ácidos graxos. Essa tendência permanece até os dias de hoje, representando mais de 62.843 mil toneladas de óleo produzido em 2014 (USDA, 2014).

O Brasil é o 10º maior produtor mundial de óleo de palma e o 14º em termos de área plantada, mas é o país que apresenta maior área disponível e propícia para o cultivo. Apesar de Indonésia e Malásia dominarem esse mercado, na Malásia o cultivo de palma ocupa quase 2/3 da área apropriada em seu território, o que impõe baixa disponibilidade de terras para ampliar sua produção (VILLELA, 2014). O Brasil possui o maior potencial mundial para a produção do óleo de palma, dado aos quase 75 milhões de hectares de terras aptas à cultura (RAMALHO FILHO et al., 2010).

O Estado do Pará é o maior produtor de óleo de palma no Brasil, responsável por 83,35 % da produção nacional, tendo como principais produtores os municípios de Tailândia, Moju e Acará, com 70,90% da produção estadual (IBGE, 2014).

1.1.5. Problemas fitossanitários da palma de óleo

Esta cultura pode ser afetada por pragas e enfermidades, que muitas vezes dificultam a sua expansão, pois, além de provocarem a morte da planta, afetam negativamente a produção (BOARI, 2008).

As enfermidades mais importantes que afetam a palma de óleo na América Latina são o Anel Vermelho, causado pelo nematóide *Bursaphelenchus cocophilus*, transmitido pelo *Rhynchophorus palmarum* (Coleoptera: Curculionidae) (TAKADA et al., 2011; PINHO, 2015), e o Amarelecimento Fatal (AF), de etiologia desconhecida. Dentre essas duas doenças, a que mais preocupa hoje é o AF.

Outra praga muito importante na cultura de palma de óleo é a *Eupalamides cyparissias cyparissias* (Lepidoptera: Castniidae), conhecida como *Castnia* ou Broca da coroa foliar, esta constrói galerias na base das folhas e dos pedúnculos florais, até atingir o estipe, impedindo a circulação de seiva bruta e elabora, ocasionando a morte da planta, além de favorecer a entrada de inúmeros patógenos (BERNARDINO, 2007).

Outras duas lagartas que também causam danos a cultura da palma de óleo são as desfolhadoras *Brassolis sophorae* (Lepidoptera: Nymphalidae), a qual possui hábito diurno, alimentando de parte dos folíolos (LEPESME, 1947; GENTY et al., 1978) e *Opsiphanes invirae* (Lepidoptera: Nymphalidae), a mesma possui hábitos de alimentação noturnos, porém de forma mais severa, uma vez que consome todo o folíolo (GONZÁLEZ et al., 2006; BRANDÃO, 2014).

Além dessas, a fusariose, causada por *F. oxysporum* f. sp. *elaeidis* (HO et al., 1985; FLOOD et al., 1993) que causa os sintomas de apodrecimento dos cachos, amarelecimento das folhas velhas que rapidamente estende-se as folhas novas e morte da planta. Também é importante no Estado do Pará e África.

1.1.6. Amarelecimento Fatal

O amarelecimento fatal (AF) 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 (RAMOS et al., 2006).

Foi constatado pela primeira vez em 1974, no município de Santa Bárbara, Estado do Pará. Doença semelhante ao AF ocorre na Nicarágua, Colômbia, Equador, Suriname e Costa Atlântica do Panamá, mas é conhecida como “Pudrición del Cogollo” (PC).

Primeiramente é visível o amarelecimento dos folíolos basais das folhas mais jovens. Surgindo, em seguida, necroses, que evoluem da extremidade para a base, até causar a seca completa da folha. Plantas com aproximadamente 2 anos de idade já mostram sintomas. O mesmo ocorre nas flechas. As partes internas do estipe não apresentam alterações, mas há redução na emissão de raízes. Os cachos formados antes do aparecimento dos sintomas chegam a ser colhidos, mas cachos mais jovens bem como inflorescências formadas em plantas sintomáticas abortam e secam. A diferença básica entre AF e PC, e que neste caso, o apodrecimento das flechas evolui causando também apodrecimento do tecido meristemático imediatamente abaixo, enquanto no AF isto não ocorre (TURNER, 1981).

Embora possa ocorrer a remissão de folhas, a produtividade de cachos é muito baixa. Além disso, a ocorrência da remissão temporária da planta é seguida do declínio generalizado e morte (VAN SLOBBE, 1991).

Trabalhos de grande importância como o emprego de híbridos interespecíficos, a produção, avaliação e seleção de material resistente ou tolerante ao AF e com boa capacidade produtiva foram realizados na área da DENPASA (Dêndê do Pará S.A.), desde o aparecimento do primeiro caso de AF, em 1974, em parceria com a Embrapa Amazônia Ocidental para o controle da doença (MÜLLER et al., 2006).

No ano de 2010, foi registrado pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária o híbrido interespecífico BRS-Manicoré (Híbrido interespecífico *Elaeis oleifera* x *E. guineensis*), indicado para áreas com incidência de AF.

1.1.7. Hipóteses sobre o agente causal do amarelecimento fatal

Até meados do ano de 2000 alguns trabalhos realizados levavam a crer que o AF tivesse causas abióticas. Esses trabalhos sugeriam que a doença seria causada por solos mal drenados, que provocavam encharcamento ou deficiência nutricional às plantas (BERGAMIN FILHO et al., 1998; LARANJEIRA et al., 1998). Ainda segundo Bergamin Filho et al. (1998), o aparecimento de plantas sintomáticas estaria diretamente ligado à ocorrência prévia de excesso de chuvas, que saturariam o solo, sendo o AF causado por mais de um fator abiótico, principalmente o encharcamento e fitotoxidez.

Diversos ensaios para identificar um agente causal biótico para o AF fracassaram ao longo das décadas de 70 e 80. Nos anos 90, apesar de várias pesquisas no ramo biótico (principalmente na área de entomologia) alguns estudos se voltaram

para uma possível origem abiótica do AF, concentrando estudos e nutrientes absorvidos pela planta e propriedades físicas do solo

O emprego de técnicas moleculares modernas (abordando a busca por viróides e fitoplasmas) também tentaram contribuir para esclarecer a causa do problema. Por meio de testes moleculares, usando a Reação da Polimerase em Cadeia (PCR), Brioso e Montano (2003) relataram a associação do fitoplasma do grupo 16S rRNA I em amostras de dendezeiro com AF provenientes do Pará. Posteriormente, num estudo de comparação da sequência do fragmento de DNA do 16S rRNA do isolado brasileiro com os disponíveis no banco de dados do Genbank, Brioso et al. (2006) confirmaram a natureza fitoplasmática do organismo associado ao AF. Também Brasil, já foram identificados em dendezeiros hospedeiros de fitoplasmas do grupo 16SrI (BRIOSO e MONTANO, 2002; MONTANO et al., 2007). Fitoplasmas são conhecidos por estarem associados a doenças tipo “amarelos” e aqueles pertencentes ao grupo 16SrIV são, muitas vezes, associados como doenças de palmeiras (GITAU et al., 2009). Posteriormente, Boari et al. (2012), verificou que o AF não é causado por patógenos sistêmicos como vírus, viróides e fitoplasmas por meio de teste de nested-PCR e inoculação em mudas de palma de óleo do tipo “Tenera”, por enxertia.

Em trabalho desenvolvido na DENPASA, Estado do Pará, Van Slobbe (1998) analisou amostras de tecido de plantas afetadas, de solos e a existência de deficiências de cálcio provocadas pela toxidez de alumínio no solo. Entretanto, concluiu que não havia evidências que pudessem comprovar a relação entre o avanço da doença e a textura do solo ou o conteúdo de água nele. Além disso, segundo o mesmo autor, o crescimento da doença de modo mais que exponencial não era comum em doenças causadas por deficiências nutricionais.

No fim dos anos 90 destacaram-se os estudos de modelos epidemiológicos, abordando padrões espaciais e temporais do AF (BERGAMIN FILHO et al., 1998; LARANJEIRA et al., 1998; VAN DE LANDE e ZADOKS, 1999).

Em um desses trabalhos, Van de Lande e Zadoks (1999) utilizaram a geoestatística para analisar a variação espacial da doença em plantações do Suriname. Os resultados por eles obtidos foram compatíveis com a hipótese de a doença ser infecciosa, sendo disseminada por um vetor, o qual seria disperso pelo vento, visto que a disseminação da doença se dava no sentido dos ventos predominantes da região. Além disso, caracterizaram duas fases distintas, sendo a primeira normalmente composta por

algumas poucas árvores infectadas espalhadas pelo plantio e a segunda sendo caracterizada pelo aumento expressivo das plantas infectadas.

Já Bergamim Filho et al. (1998) e Laranjeira et al. (1998), analisando a distribuição temporal e espacial da doença, respectivamente, no Estado do Pará, concluíram que a doença tem causa abiótica e que deveria ser evitada tácticas de manejo como a eliminação de plantas doentes, uma vez que ocasionam compactação do solo, prejudicando o sistema de drenagem.

Relacionado com o AF, a “Pudrición del Cogollo” (PC) também obteve grandes avanços na pesquisa de seu agente etiológico, em estudos realizados principalmente na Colômbia. Várias teorias que tentaram explicar a causa da doença, alguns investigadores como Mazzolini et al. (1990) e Perthuis (1990) acreditavam ser um vírus, tendo inseto como vetor, *Rhynchophorus palmarum* (Coleoptera: Curculionidae), já outros sugeriram que as bactérias estivessem envolvidas (TURNER, 1981) e um terceiro grupo argumentava a possibilidade de ser um fungo o agente causal da doença (OCHOA e BUSTAMANTE, 1974; NIETO, 1996). Na Colômbia, foram registrados como possíveis agente etiológico os fungos *Fusarium moniliforme*, *F. solani* e *Thielaviopsis paradoxa* (SWINBURNE et al., 1990; NIETO et al., 1996; SÁNCHEZ et al., 1999). Porém estudos mais recentes apontaram, como causador da doença, o fungo *Phytophthora* sp. (DRENTH e SENDALL, 2001), mais especificamente, *Phytophthora palmivora* (MARTÍNEZ et al., 2008; SARRIA et al., 2008; TORRES et al., 2009; TORRES et al. 2016).

Embora não tendo obtido sucesso nas tentativas de identificação de um agente causal, todos estes estudos contribuíram para a formulação de várias hipóteses, onde atualmente, impera dois ramos científicos: Causa Biótica (estes ainda buscam um agente e/ou vetor) e causa estritamente abiótica (acreditam que fatores físico-químicos estariam causando as anomalias). Desta forma, o grande avanço nas pesquisas gerou híbridos, como Coari, BRS-Manicoré e Amazon, como forma de controle da doença, sendo uma variedade tolerante, porem já apresentando alguns casos de aparecimento de AF.

1.1.8. Importância da avaliação de produtividade na área

Segundo Han et al. (1994), o mapa de produtividade é um importante componente para agricultura de precisão, uma vez que identifica e quantifica a variabilidade da produtividade das culturas e auxilia para o manejo específico nos próximos cultivos. Permite identificar local, onde a produtividade deve ser melhor ou

onde o ajuste dos recursos investidos deva ser feito, no sentido de otimizar o rendimento econômico e a qualidade ambiental (SADLER e RUSSEL, 1997).

Thylén et al. (1997) consideraram que o mapa de produtividade é um dos métodos mais corretos para estimar a heterogeneidade de um campo. Torna-se uma etapa indispensável para a execução de uma agricultura de precisão, pois além de servir como fonte de informações para a elaboração de um plano de recomendação de fertilização, permite uma visualização espacial detalhada das condições da área produtiva (BALASTREIRE et al., 1994)

Embora evidencie regiões com alta e baixa produtividade, não explica a causa de tal variação, que pode ser por doenças, baixo teor dos nutrientes do solo, estresse hídrico e se a causa específica não é determinada, nenhuma resposta ao gerenciamento pode ser obtida (LARK et al., 1997).

Para Queiróz et al. (2000), os mapas de produtividade devem ser utilizados como o ponto inicial, a fim de avaliar as causas da variabilidade de produtividade, bem como verificar as causas passíveis de modificações e as respostas econômicas e de impacto ambiental que o sistema de manejo em locais específicos, pode trazer.

REFERÊNCIAS

ABDALLA, A. L.; SILVA FILHO J. C; GODOI, A. R.; CARMO C. A.; EDUARDO, J. L. P. Utilização de subprodutos da indústria de biodiesel na alimentação de ruminantes. **Revista Brasileira Zootecnia**, v. 37, p. 260-258, 2008.

BALASTREIRE, LA Aplicação Localizada de Insumos - ALI: Um velho conceito novo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 23. 1994, Campinas. **Anais** .Campinas: UNICAMP. p.248. 1994.

BARBOSA, D. M.; NAOE, L. K.; ZUNIGA, A. D. G. Avaliar o teor de lipídios em sementes de soja cultivadas no Estado de Tocantins. In: 14º Jornada de Iniciação Científica da Unitins. **Anais**. UNITINS. Palmas. TO. p.32-37. 2007.

BARCELOS, E.; NUNES, C. D. M.; CUNHA, R. N. V. Melhoramento genético e produção de sementes comerciais de dendezeiro. In: Viégas, I. de J. M.; MÜLLER, A. A. **A cultura do dendezeiro na Amazônia Brasileira**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental/Manaus, p. 145-174, 2000.

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.

BERNARDINO, A.S. Flutuação populacional da broca-da-coroa-foliar *Eupalamides cyparissias cyparissias* (Lepidoptera: Castiniidae) em plantas de

ESPINDOLA, S. M. C. G.; CAVALCANTE, A. K.; GONÇALVES, D. A. R. et al. Avaliação do teor de óleos e da produtividade em linhagens de soja para cultivo no Cerrado. In: IX Simpósio Nacional Cerrado e II Simpósio Internacional Savanas Tropicais. **Anais**. Embrapa Brasília-DF. CD-ROM 1. 2008.

FERWERDA, J. D. Ecophysiology of the african oil palm. In: Alvim P. de (Coord.) **Ecophysiology of tropical crops**. Ilhéus: Ceplac v.2, p.1-49. 1975.

FLOOD, J.; MEPSTED, R.; VELEZ, A.; PAUL, T.; COOPER, R. M. Comparison of virulence of isolates of *Fusarium oxysporum* f. sp. *elaeidis* from Africa and South America. **Plant Pathology**. v. 42, n. 2, p.168-171. 1993.

FRANQUEVILLE, H. Review paper: Oil palm bud rot in Latin America. **Experimental Agriculture**, v.39, p.225-240, 2003.

GENTY, P. H.; DESMIER, DE C. R.; MORIN, J. P. Las plagas de la palma aceitera en América Latina. **Oleagineux** (número especial), v. 33, n. 7, p. 326-420. 1978.

GITAU, C.W.; GURR, G.M.; DEWHURST, C.F.; FLETCHER, M.J.; MITCHELL, A. Insect pests and insect-vectored diseases of palms. **Australian Journal of Entomology**, v.48, p.328-342. 2009.

GONZÁLEZ, G. R.; SILVA-ACUÑA R.; MOIZANT, R. C.; QUINTANA, A. D. Fluctuación poblacional de adultos de *Opsiphanes cassina* Felder (Lepidoptera: Nymphalidae) en plantaciones de palma aceitera, *Elaeis guineensis* Jacq., em el estado Monagas. Venezuela. **Entomotropica**. v. 21, n. 1, p. 41-51, 2006.

HAN, S.; HUMMEL, J.W.; GOERING, C. E.; CAHN, M.D. Cell size selection for sitespecific crop management. **Trans. ASAE**, St. Joseph, v.37, n.1, p.19-26, 1994.

HO, Y. W.; VARGHESE, G.; TAYLOR, G. S. *Fusarium oxysporum* var. *redolens* from Africa as a cause of vascular wilt disease of oil palm. **Journal of Phytopathology**, v. 113, n. 4, p. 373-376. 1985.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produção Agrícola Municipal 2014**. Disponível em <http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/pesquisas/pam/default.asp?o=18&i=P>. Acesso em 10 de Março de 2015.

KALTNER, F. J.; FURLAN JUNIOR, J.; DA SILVA, E. B. **Produção do Biodiesel de Palma como Substituto ao Óleo Diesel**. AMAZÔNIA : Centro de Estudos para o Desenvolvimento de Tecnologias para a Amazônia, Brasília, 2004.

LARANJEIRA, F.F., BERGAMIN FILHO, A., AMORIM L.; BERGER, R.D., HAU, B. Análise espacial do Amarelecimento Fatal do dendezeiro como ferramenta para elucidar sua etiologia. **Fitopatologia Brasileira**, v.23, p. 397-403. 1998.

LARK, RM.; STAFFORD, J.V.; FROMENT, MA Exploratory analysis of yield maps of combinable crops. In: EUROPEAN CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 1, 1997, Warwick. **Proceedings**. Silsoe: Silsoe Research Institute. v.1, p. 887-894. 1997.

- LEPESME, P. **Les insectes des palmiers**. Paris: Paul Lechevalier. 1947. 904p.
- LIMA, S. et al. **Desempenho da Cadeia Produtiva do Dendê na Amazônia Legal**. Manaus. SUDAM/Fundação do Desenvolvimento da UFPE. 2000.
- LODY, R. G. da M. **Dendê: símbolo e sabor da Bahia**. Editora Senac São Paulo. 2009. 149p.
- LOPES, R. **Palmáceas**. In: ALBUQUERQUE, A. C. S.; SILVA, A. G. (Eds). **Agricultura tropical: quatro décadas de inovações tecnológicas, institucionais e políticas**. Brasília: DF. Embrapa Informação Tecnológica. v. 1, p. 767-786. 2008.
- MAZZOLINI, L; DAMBIER, D.; DOLLET, M. Evidencia de una molécula de tipo viroide en la palma aceitera en el Ecuador y Brasil y su posible relación con la pudrición de cogollo (PC). **El Palmicultor** (Colombia) n°. 22, p.8. 1990.
- MME. Ministério das Minas e Energia. **Boletim Mensal dos Combustíveis Renováveis**. Edição número 78. Julho de 2014. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/spg/galerias/arquivos/publicacoes/boletim_mensal_combustiv_eis_renovaveis/Boletim_DCR_nx_078_-_julho_de_2014.pdf>. Acesso em: 13 de janeiro de 2015.
- MONTANO, H.G.; BRIOSO, P.S.T.; PIMENTEL, J.P. List of phytoplasma host in Brazil. **Bulletin of Insectology**, v.60, n.2, p.129-130. 2007.
- MÜLLER, A. A.; FURLAN JÚNIOR, J; CELESTINO FILHO, P. A Embrapa Amazônia Oriental e o Agronegócio do Dendê no Pará. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental. **DOCUMENTOS**. 257. ISSN 1517-2201. 2006.
- MURPHY, D. J. Future prospects for oil palm in the 21st century: biological and related challenges. **European Journal of Lipid Science and Technology**, v. 109, p. 296-306. 2007.
- PÁDUA, M. S. **Germinação in vitro, indução e caracterização de massas pró-embriogênicas de dendezeiro (*Elaeis guineensis* Jacq.)**. 2012. 120f. Dissertação (Mestrado em Biotecnologia Vegetal), Universidade Federal de Lavras. Lavras-MG, 2012.
- PINHO, R. C. **Distribuição espacial de *Rhynchophorus palamarum* (Linnaeus, 1758) (Coleoptera: Curculionidae) em um agroecossistema de Palma de óleo na Amazônia Oriental**. 2015. 54 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, 2015.
- MARTÍNEZ, G.; SARRIA, GA.; TORRES, GA.; AYA, HA.; ARIZA, JG.; RODRÍGUEZ, J.; VÉLEZ, DC.; VARÓN, F.; ROMERO, HM.; SANZ, HM. *Phytophthora* sp. es el responsable de la lesiones iniciales de la pudrición del cogollo de la palma de aceite en Colombia. In: **Memorias de la VIII Reunión técnica nacional de palma de aceite**. Bogotá: Compensar. 2008.

NIETO, L. E. Síntomas e identificación del agente causal del complejo pudrición del cogollo de la palma de aceite, *Elaeis guineenses* Jacq. *Palmas* (Colombia). 71 (2): 57-60. 1996.

NIETO, L.E.; GÓMEZ C., P. L.; LOZANO T., C. Identificación y reproducción del complejo pudrición del cogollo de la palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq.). *Palmas* (Colombia). 17(1): 63-67. 1996.

OCHOA, G.; BUSTAMANTE, E. Investigación del agente causal de la Pudrición de flecha en palma africana. *Revista ica* (Colombia). 2 (4): 425-433. 1979.

PERTHUIS, B. Informal de misión FEDEPALMA, Hacienda La Cabana. **Documento**. n. 2246 bis. IRHO - Palmeras del Ecuador, Quito. 20p. (Mimeografiado). 1990.

QUEIROZ, D.M de.; DIAS, G.P.; MANTOVANI, E.C. Agricultura de precisão na produção de grãos. In: BOREM, A. et al. (Ed.), **Agricultura de Precisão**. Viçosa:UFV, p.1-42. 2000.

RAMALHO FILHO, A. **Zoneamento agroecológico, produção e manejo da cultura de palma de óleo na Amazônia**. EMBRAPA Solos, Rio de Janeiro-RJ. 2010.

RAMOS, E. J.; VEIGA, A. S.; FURLAN JÚNIOR, J. Comportamento do Dendzeiro ao Amarelecimento Fatal em Área de Replanteio, sob Diferentes Formas de Manejo. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2006. **DOCUMENTOS**, 243. Nov. 2006. ISSN 1517 -2201.

RIBEIRO, V. C. N.; JUNIOR, R. A. G. Avaliação do crescimento foliar de híbridos interespecíficos de dendzeiro (*Elaeis guineensis* x *Elaeis oleifera*), em Mojú no estado do Pará. In: SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA EMBRAPA, 14.2010, Belém, PA. **Anais**. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2010. 1 CD-ROM. PIBIC.

ROCHA, R. N. C. **Culturas Intercalares para Sustentabilidade da Produção de Dendê na Agricultura Familiar**. Viçosa, MG. Universidade Federal de Viçosa. 75p. 2007. (Tese de Doutorado), 2007.

SADLER, E. J.; RUSSEL, G. Modeling crop yield for site-specific management In: PIERC, F. J.; SADLER, E. J. The site-specific management for agriculture. **Madison: American Society of Agronomy**. p.69-79. 1997.

SAMBANTHAMURTHI, R.; SUNDRAM, K.; TAN, Y. A. Chemistry and biochemistry of palm oil. **Progress in Lipid Research**, v.39, n.6, p.507-558. 2000.

SÁNCHEZ, N. J.; ÁLVAREZ, E.; GÓMEZ, P. L. Patogenicidad, identificación y caracterización molecular de *Phytophthora* sp. en palma de aceite. *Ceniavances* (Colombia) (60) 4 p. 1999.

SARRIA, G. A.; TORRES, G. A.; VÉLEZ, D. C.; RODRÍGUEZ, J.; NOREÑA, C.; VARÓN, F.; COFFEY, M.; ELLIOT, M.; MARTÍNEZ, G. Caracterización morfológica y molecular de *Phytophthora palmivora* agente causal de las lesiones iniciales de la

podrición del cogollo (pc) de la palma de aceite en Colombia. *Fitopatología Colombiana*. 32 (2): 39-44. 2008.

SWINBURNE, T.R. El complejo podrición de cogollo de la palma de aceite. **Informe de visita a Brasil, Ecuador y Colombia**. FEDEPALMA, Bogotá. 38p. (Mimeografiado). 1990.

TAKADA, H. M.; BATISTA FILHO, A.; HOJO, H.; CARVALHO, A. G. Flutuação populacional de *Rhynchophorus palmarum* no município de São Bento do Sapucaí, SP. *O Biológico*. v. 73, p. 45-51, 2011.

TEIXEIRA, W G ; ENCINAS, O C ; MARTINS, GILVAN COIMBRA ; FREITAS, P. L. DE ; RODRIGUES, MARIA DO ROSÁRIO LOBATO ; RAMALHO FILHO, A. Características físicas do solo adequadas para implantação e manutenção da cultura de palma de óleo na Amazônia. In: Ramalho Filho, A.; Motta, P. E. F. da; Freitas, P. L. de; Teixeira, W. G. T. (Org.). **Zonamento agroecológico, produção e manejo para a cultura da palma de óleo na Amazônia**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos. p. 137-144. 2010.

THYLÉN, L.; JURSCHIK, P.; MURPHY, D.L.P. Improving the quality of yield data. In: EUROPEAN CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE. 1997, Warwick. **Proceedings**. Silsoe: Silsoe Research Institute. v.1. p. 743-750.1997.

TORRES, G.A.; SARRIA, G.A.; VARÓN, F.; COFFEY, M.D.; ELLIOTT, M.L.; MARTÍNEZ, G. First report of bud rot caused by *Phytophthora palmivora* on African oil palm (*Elaeis guineensis*), in Colombia. **Plant Disease**. 2009.

TORRES, G. A.; SARRIA, G. A.; MARTINEZ, G.; VARON, F.; DRENTH, A.; GUEST, D. I. Bud rot caused by *Phytophthora palmivora*: A destrutive emergencing disease of oil palm. **Phytopathology**. v.106, p.320-329. 2016.

TRINDADE, D.R.; POLTRONIERE, L.S. Doenças do dendezeiro. In: KIMATI, H.; AMORIM, L.; REZENDE, J.A.M.; BERGAMIN FILHO, A.; CAMARGO, L.E.A. (Ed.). **Manual de Fitopatologia: Doenças de plantas cultivadas**. São Paulo, Brasil: Editora Agronômica Ceres, v.2. p.303-307. 2005.

TURNER, P.D. **Oil palm diseases and disorders**. New York, US: Oxford University press. New York, 1981.

USDA – United States Department of Agriculture. Foreign Agricultural Service. Biocombustíveis - Oil seeds: World markets and Trade. December, 2014. 1-34p. **Circular series**. Disponível em: <<http://www.nal.usda.gov>>. Acesso em: 08 de set. 2015.

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

VAN SLOBBE, W.G. **Oil palm estate Denpasa e other plantings in Pará**. Imprensa – Belem: Denpasa, 1998.

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.

VILLELA, A. A. **Expansão da Palma na Amazônia Oriental para fins Energéticos**. 2014. 388 f. Tese (Doutorado em Planejamento Energético). Universidade Federal do Rio de Janeiro. UFRJ, 2014.

**2. DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL E TEMPORAL DO AMARELECIMENTO
FATAL EM PLANTIO ORGÂNICO DE PALMA DE ÓLEO (*Elaeis guineensis*
Jacq.) NA AMAZÔNIA ORIENTAL**

2.1. Introdução

A palma de óleo (*Elaeis guineensis* Jacq.), popularmente chamada de dendê, é de origem africana, especificamente, da região do Golfo da Guiné. Introduzida na Bahia no final do século XVI no período de tráfico de escravos africanos, a cultura não teve obstáculos frente às condições climáticas da região, por serem bastante semelhantes do centro de origem. Posteriormente, na década de 60, foi trazida para à região amazônica, a qual tem as maiores áreas cultivadas (VENTURIERI et al., 2009).

Essa cultura tem sua produção afetada por algumas doenças, porém o Amarelecimento Fatal tem se destacado como responsável por milhares de mortes de plantas nos países produtores, como Brasil, Colômbia, Equador, Suriname, Costa Rica, Nicarágua e Panamá (FRANQUEVILLE, 2001).

No Brasil, a doença é uma grande ameaça ao desenvolvimento da cultura, principalmente no Estado do Pará, pois além de ser o maior produtor no país, tem sido detectados muitos casos de AF, até dizimando plantações inteiras. Muitos estudos já foram feitos, mas sem sucesso na identificação da causa. Por isso este trabalho teve por objetivo avaliar o comportamento da doença, através da distribuição espacial e temporal, buscando, posteriormente, ajudar a determinar sua causa e controle.

2.2. Material e Métodos

2.2.1. Caracterização da área

A área na qual foi realizado o estudo pertence à empresa Agropalma S/A, a qual possui propriedades nos municípios de Tailândia, Tomé-açu, Moju e Acará, nordeste paraense. O clima do local é do tipo Ami, de acordo com a classificação de Köppen, com precipitação pluviométrica oscilando entre 2.000 e 3.000 mm anuais, mais concentrada entre dezembro e abril. O solo predominante na área é o tipo latossolo amarelo, textura argilosa e média, e concrecionários lateríticos.

2.2.2. Material genético nas parcelas

As parcelas de palma de óleo foram divididas quanto ao material genético, predominando 3 variedades: AVROS, DELI x LAMÉ e DELI x LAMÉ (EMBRAPA). Existindo algumas parcelas com material genético variado, classificado como miscelânea (Figura 1). Posteriormente, foi feito o replantio de algumas parcelas com o híbrido Coari (anos de plantio 2011 e 2015), e duas experimentais com o híbrido Amazon (final do ano de 2012) (Figura 2).

Figura 1 - Mapa do material genético encontrado nas parcelas da CPA no período de 2001 até 2011, ano do primeiro replantio.

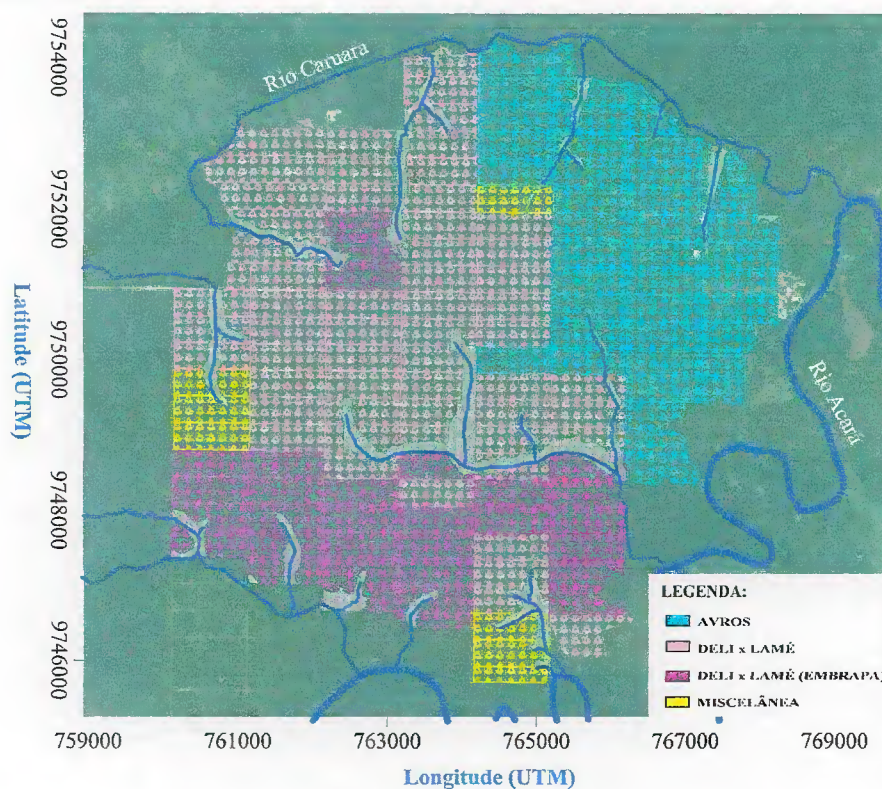
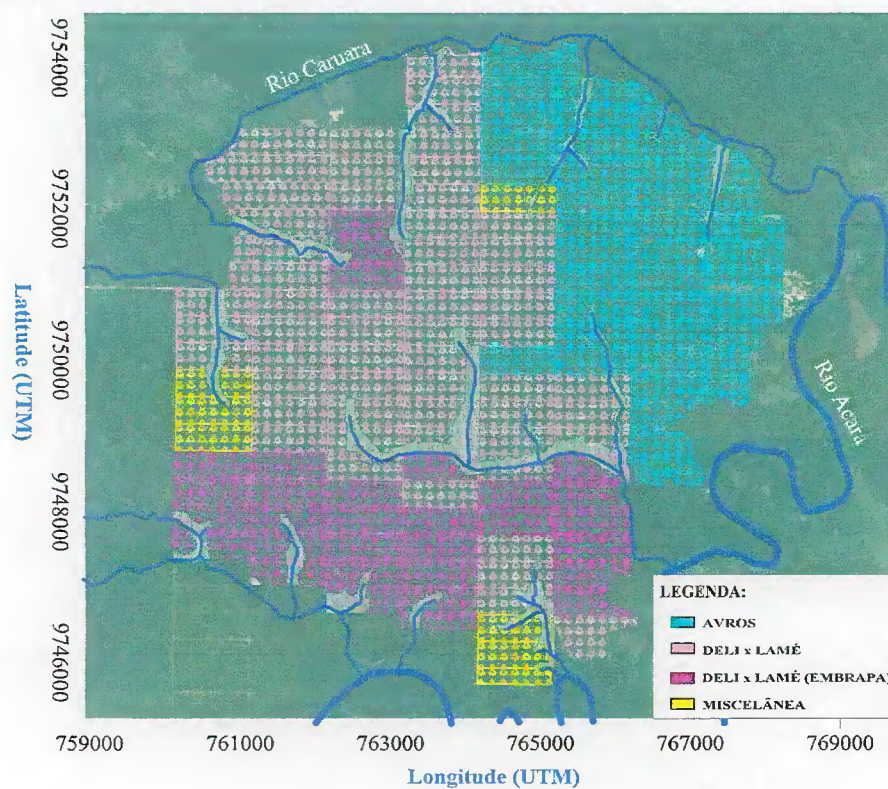


Figura 2 - Mapa atualizado de material genético do plantio orgânico da CPA, já com os plantios de híbridos, realizados nos anos de 2011, 2013 e 2015.



2.2.2. Condução experimental

A área experimental compreende às coordenadas geográficas: latitude $2^{\circ}15'25.40''\text{S}$ e longitude $48^{\circ}37'27.26''\text{O}$, localizada no município do Acará, nordeste paraense (Figura 3). Nessa área foram selecionados 140 talhões (parcelas) do plantio orgânico de palma de óleo, com número de plantas diferentes, dependendo do tamanho da parcela, totalizando 4.107,25 ha e apresentando anos de plantios diferentes (1988, 1989, 1990, 1991, 2001, 2011 e 2015), podendo ser observado nas Figuras 4 e 5. O plantio foi feito em triângulo equilátero com espaçamento de 9 x 9 m.

Figura 3 - Mapa de localização da Fazenda Companhia Palmares da Amazônia (CPA), localizada no município de Acará.

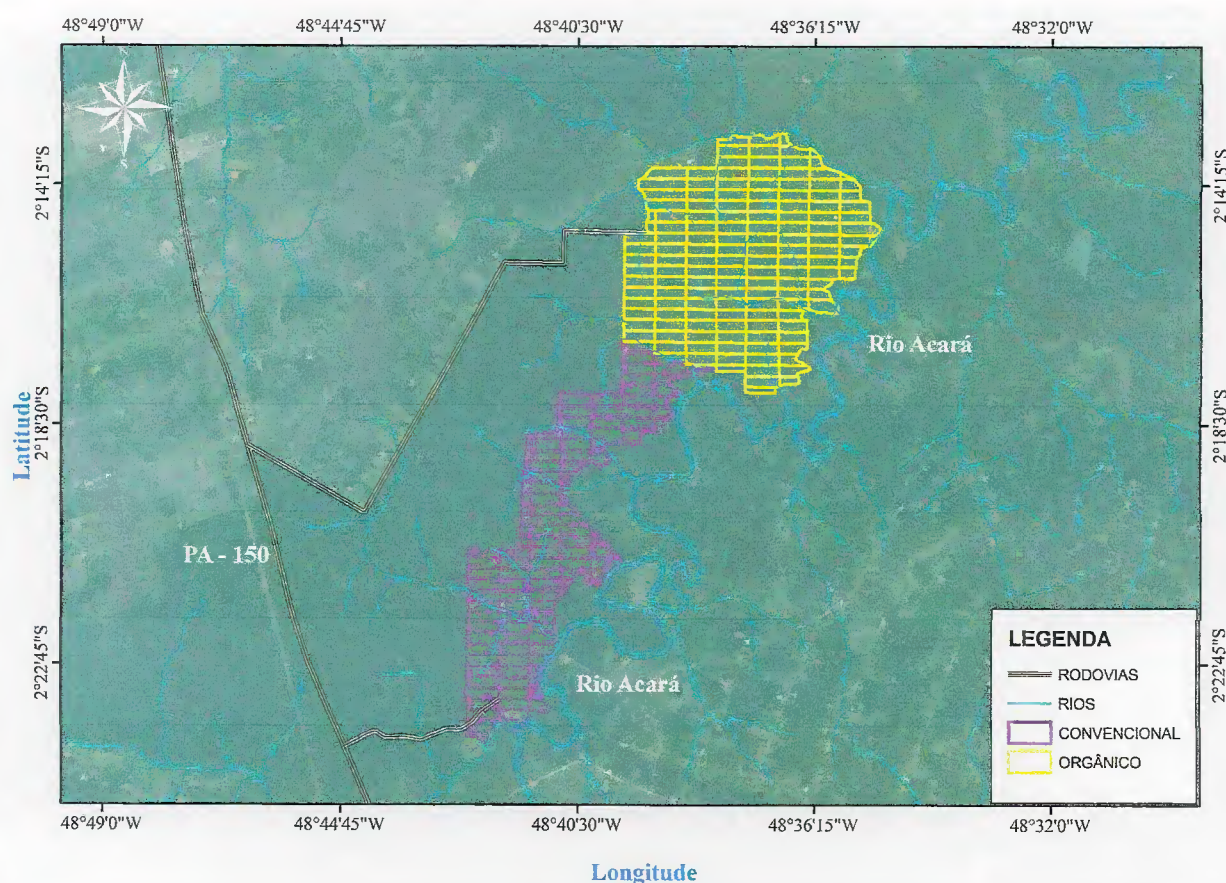


Figura 4 - Mapa da área e ano de plantio orgânico de palma de óleo na CPA, antes do primeiro replantio com híbridos em 2011.

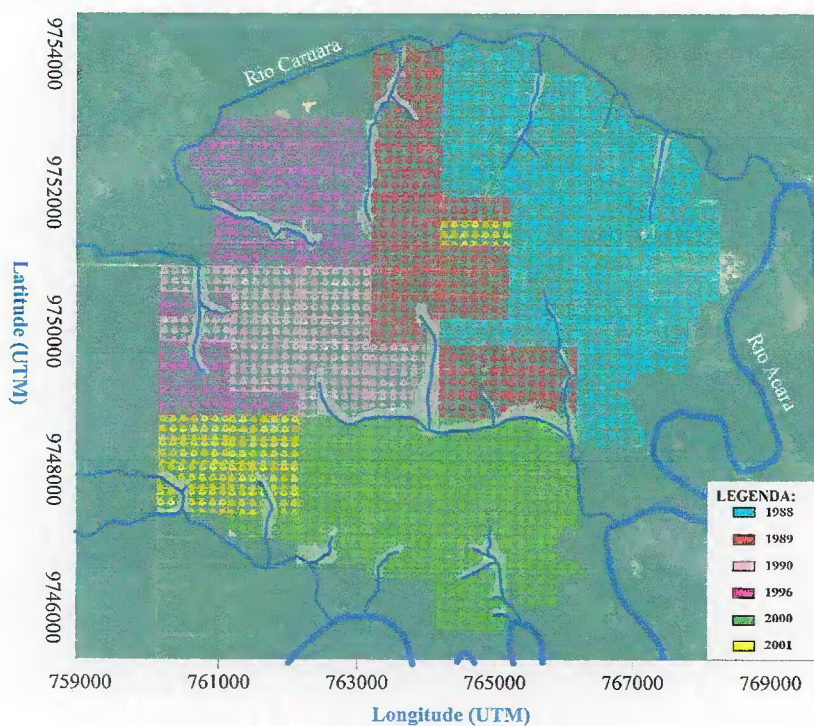
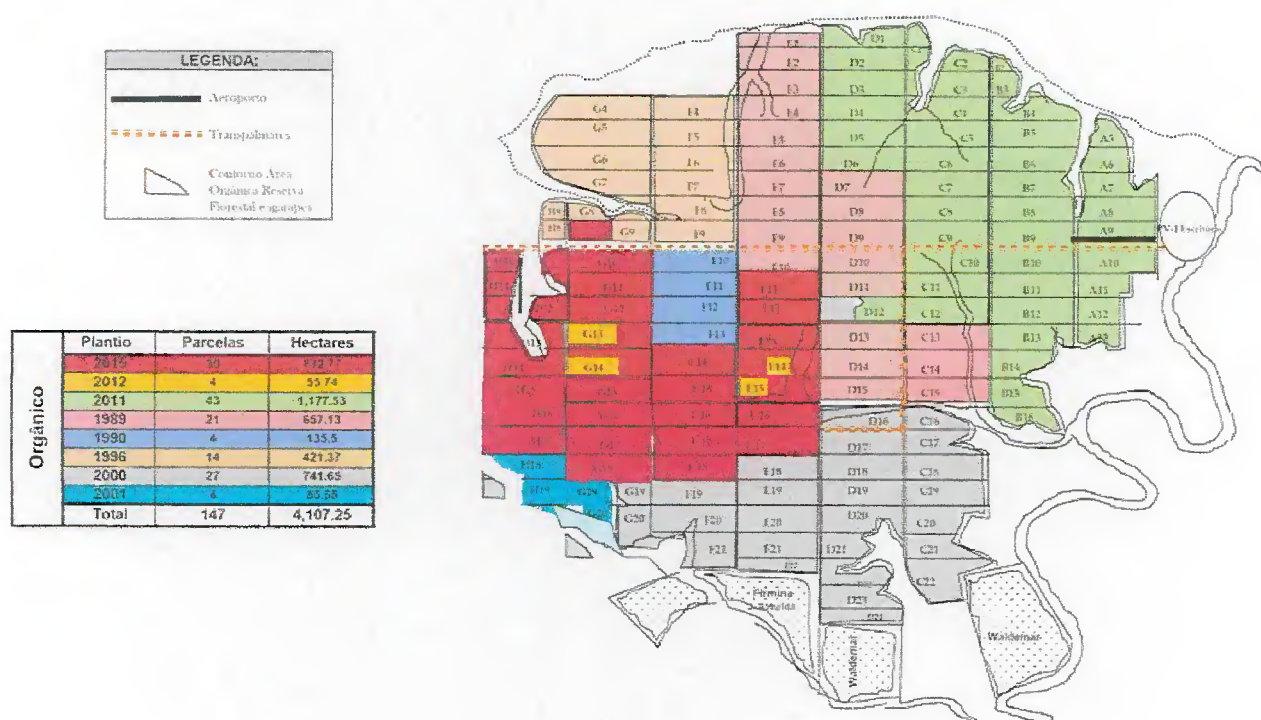


Figura 5 - Mapa dos anos de plantio orgânico de palma de óleo na CPA.



Fonte: Empresa Agropalma S/A, 2015.

2.2.3. Georreferenciamento das parcelas

As plantas das parcelas (Figura 6) foram georreferenciadas com a utilização do GPS PRO-XT, fabricado pela Trimble (Figuras 7), o qual pode apresentar de 1 - 50 cm de erro, após a correção diferencial. Já corrigidos, os dados foram digitalizados com a utilização dos softwares ArcGIS 9.3 e SURFER 12.0, sendo o último também utilizado para a análise geoestatística dos dados.

Figura 6 - Mapa de localização das parcelas orgânicas de Palma de óleo da fazenda CPA – Acará, PA.

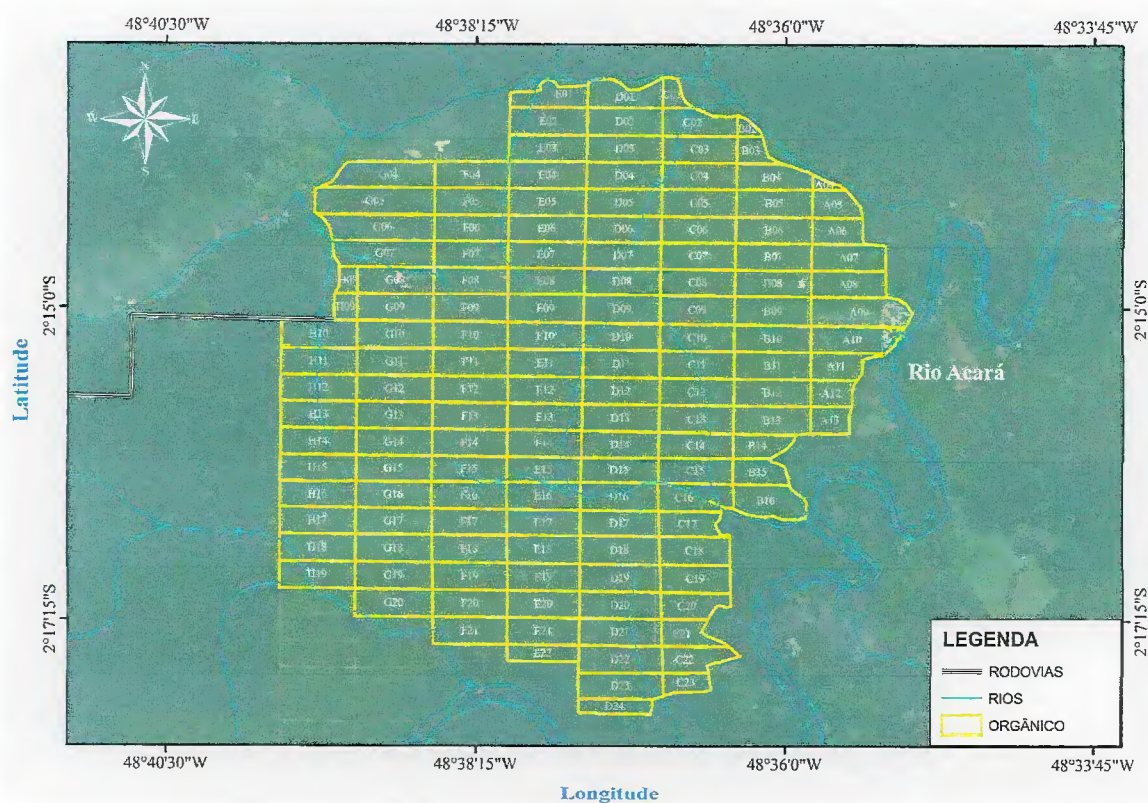
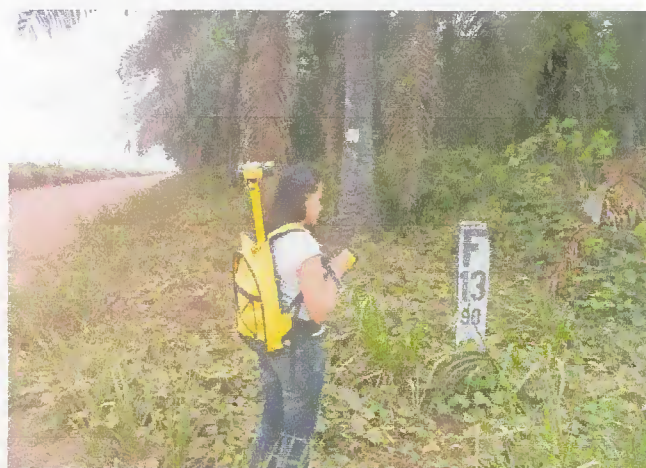


Figura 7 - Coleta de coordenadas geográficas em campo, com GPS Pro-XT.



2.2.4. *Análise da distribuição do Amarelecimento Fatal*

A análise de dispersão espacial do amarelecimento fatal foi realizada a partir de banco de dados cedido pela empresa Agropalma S/A. Nele estão contidas informações mensais de aparecimento de plantas com sintomas da doença. O detalhamento foi feito descrevendo a linha, planta, ano de plantio, mês e ano de identificação dos sintomas de cada caso.

Os dados utilizados foram de janeiro do ano de 2001 até o mês de agosto de 2015, sendo a análise da distribuição feita anualmente. Para a análise geoestatística, o plantio foi georreferenciado, obtendo-se a coordenada de cada planta a partir do vértice de cada parcela e espaçamento entre plantas e entre linhas. A partir do banco de dados cedido pela empresa cada planta foi avaliada, seguindo o método de presença (1) e ausência (0) da doença.

2.2.5. *Análise Geoestatística*

Para a análise da distribuição espacial do amarelecimento fatal, utilizou-se a geoestatística, com a obtenção de modelos de semivariogramas e mapas de krigagem.

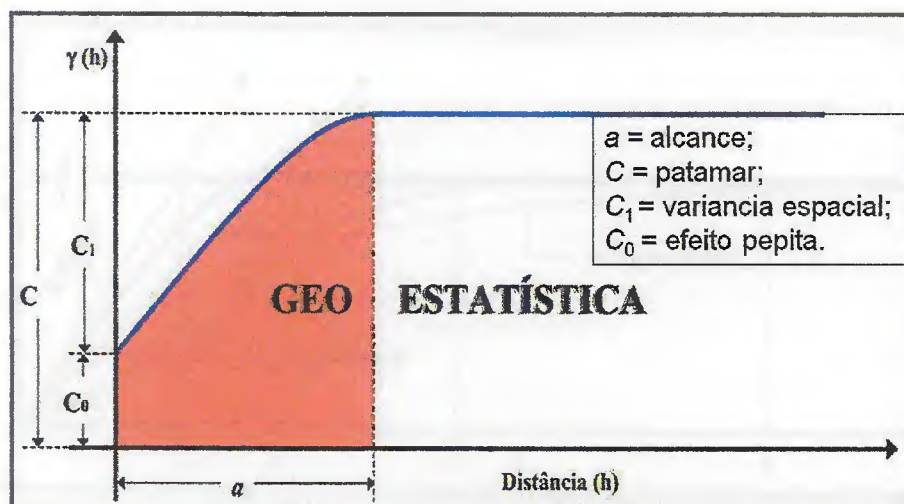
A obtenção do semivariograma é o primeiro passo no procedimento de uma análise geoestatística. É o passo mais importante pois, a partir do modelo escolhido será feito o processo da krigagem (Mapas de Contornos) e influenciará todos os resultados interpolados e as conclusões.

A construção do semivariograma foi realizado de acordo com Vieira et al. (1983) pela equação:

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

Onde $N(h)$ 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).

Figura 8 - Esquema do semivariograma experimental.



Fonte: Adaptado de Guerra (1988).

Esquemáticamente a Figura 8 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 semivariograma atinge este nível é denominado de alcance ou “range”.

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

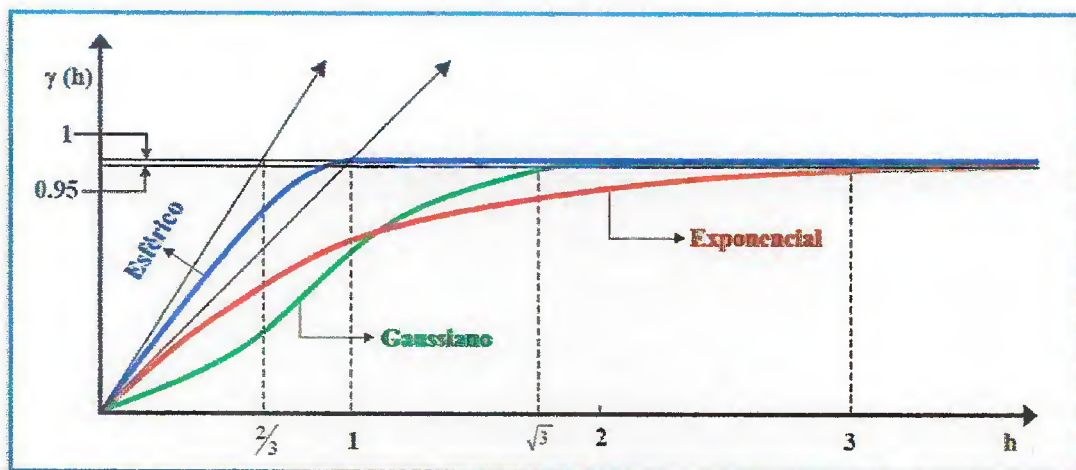
Variância Espacial (C_1): Representa as diferenças espaciais entre os valores de uma variável tomada em dois pontos separados por distâncias cada vez maiores.

Efeito Pepita (C_0): Para distância igual a zero ($h=0$), o semivariograma 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 semivariograma, denominado de efeito pepita (“nugget effect”).

2.2.7. Modelos de semivariogramas

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 principais modelos estão representados na Figura 9:

Figura 9 - Semivariogramas mais utilizados para estudos bióticos.



Fonte: Adaptado de RENDU (1978).

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 passando-se 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 $1/3 a$.

Modelo Exponencial:

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

Onde 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.

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.

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.

2.2.8. Krigagem

Segundo Landim (1998) é definido como um processo para se estimar valores de variáveis especialmente distribuídas a partir de valores adjacentes considerados dependentes pelo semivariograma.

A análise estrutural é obtida, em geral, por meio do semivariograma (GUERRA, 1988). Os parâmetros observados no semivariograma e utilizados para a integração da krigagem são: o efeito pepita (C_0), sendo o valor da função do semivariograma na origem, representando o valor da descontinuidade; a semivariância estrutural (C), que representa a diferença entre o patamar e o efeito pepita; o patamar ($C + C_0$), que indica o ponto a partir do qual as amostras tornam-se independentes por causa da distância que as separam; e o alcance (a), sendo a distância a partir da qual as amostras passam a ser independentes, refletindo o grau de homogeneização (ISAACS e SRIVASTAVA, 1989).

De posse dos parâmetros, o mapa de krigagem foi feito, 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 λ_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).

Vieira (1994) considera a krigagem como o melhor estimador porque produz menor variância do erro.

2.2.9. Índice de dependência espacial

Para determinar quanto da variância espacial está presente na variância total da amostra, foi calculado o Índice de Dependência espacial (IDE) proposto por Zimback (2001), utilizando os parâmetros definidos no ajuste do semivariograma (C_0 e C_1), respeitando a relação ($C_0 / (C_1 + C_0)$). Os valores obtidos foram classificados de acordo com as seguintes categorias: forte dependência espacial se $IDE > 0,75$, moderada dependência espacial se $0,25 \leq IDE \leq 0,75$ e fraca dependência espacial se $IDE < 0,25$.

2.2.10. Mapa de altimetria

Os dados foram obtidos a partir de um banco de dados do sistema de informação geográfica do software Google Earth, fornecendo coordenadas de latitude, longitude e altimetria da área em estudo.

Posteriormente, foi realizada uma análise de mínima curvatura para a confecção dos mapas de superfície e altimetria no software Golden Surfer 12.0.

2.3. Resultados e discussão

2.3.1. Flutuação temporal do Amarelecimento Fatal

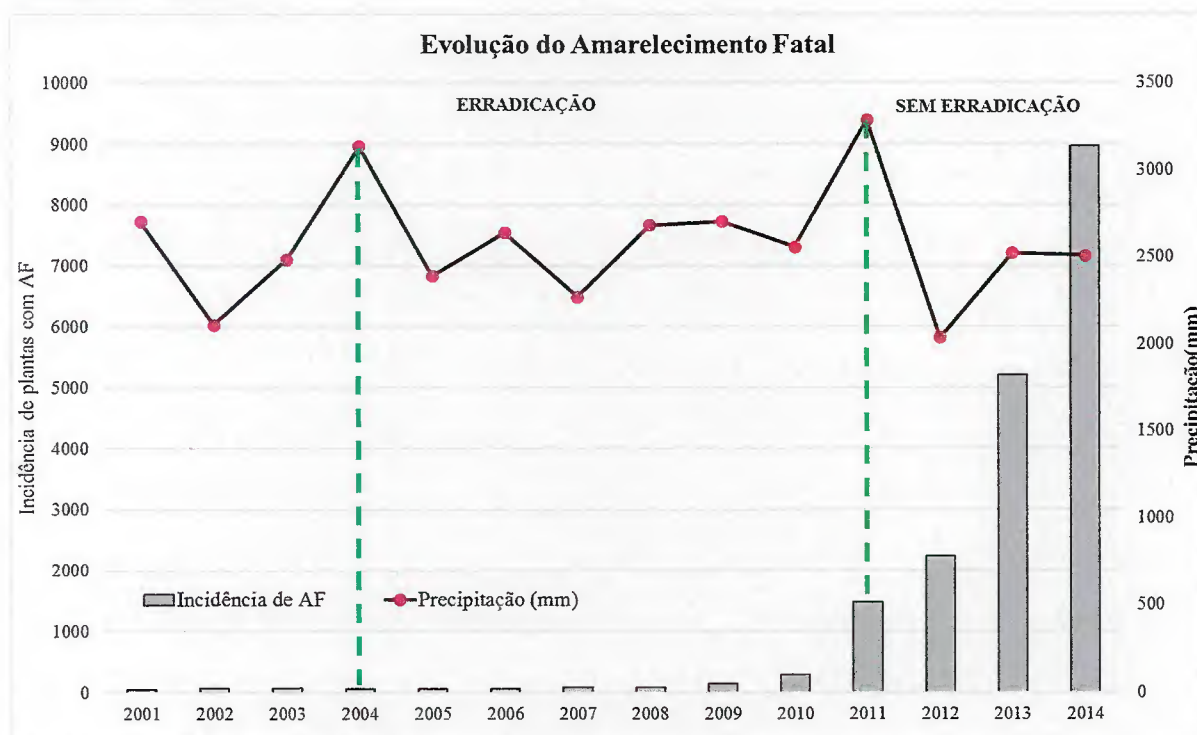
Pela Tabela 1, observa-se que de um total de 569.176 plantas, distribuídas em 140 parcelas, a quantidade de plantas doentes, no ano de 2001 foi menor em relação aos outros anos. A partir desse momento que iniciou o aparecimento da doença na área de plantio. Entre os anos de 2001 a 2010 (Tabela 1), a quantidade de focos que ocorriam variou de 46 a 296 plantas doentes, sendo que ao final do ano de 2010 apresentou um total de 987 plantas doentes e entre os anos de 2011 até agosto de 2015 variou de 1471 a 9395, apresentando um total de 27.269 de plantas com Amarelecimento Fatal em apenas 5 anos, representando um aumento de 2763% com relação ao ano de 2010.

Tabela 1 - Contagem de focos do Amarelecimento Fatal em 140 talhões de palma de óleo orgânico, no período de 2001 a agosto 2015.

Anos	Contagem de focos	Acumulado de Focos	Plantas com sintomas
2001	46	46	0.009%
2002	81	127	0.024%
2003	73	200	0.037%
2004	56	256	0.047%
2005	59	315	0.058%
2006	61	376	0.070%
2007	84	460	0.085%
2008	88	548	0.102%
2009	143	691	0.128%
2010	296	987	0.183%
2011	1471	2458	0.455%
2012	2241	4699	0.871%
2013	5202	9901	1.834%
2014	8960	18861	3.494%
2015	9395	28256	5.235%
Total	28256	28256	

Podemos observar na Figura 10, que através de uma análise sobre o histórico do plantio, de acordo com as normas da empresa Agropalma S/A, no período de 2001 até o ano de 2011, foi feito a erradicação das plantas com os sintomas do Amarelecimento Fatal, entretanto a partir de meados do mesmo ano, por não haver comprovação da eficiência desse método para controle da doença, a empresa passou a não erradicar as plantas doentes, pois as mesmas continuaram produzindo frutos. Além disso, a eliminação apresentava um custo adicional.

Figura 10 - Evolução da incidência de plantas com Amarelecimento Fatal no Plantio Orgânico, município do Acará.



Pode-se observar que a doença apresenta uma causa biótica (Figura 10), pois percebe-se que enquanto foi feito o controle, para um total de 569.176 plantas, apresentou apenas 0,18% de plantas infectadas. Entretanto, a partir do ano de 2011, período no qual interrompeu a eliminação dessas plantas doentes, ocorreu de forma descontrolada o aumento de plantas com a doença, sendo mais agravante com os anos seguintes. Este fato evidencia que o AF tenha como causa um patógeno.

Pela Figura 10, observa-se que a erradicação foi uma prática bem-sucedida, uma vez que, mesmo com uma alta pluviosidade no ano de 2004, a doença manteve-se sob controle, já que era erradicada a fonte de inóculos da área. No ano de 2011, também, apresentou uma alta precipitação na área, porém às plantas não foram erradicadas,

ocasionando um aumento de 2763% de plantas infectadas, demonstrando que o aumento da disseminação está diretamente ligado com a precipitação.

A prática da erradicação vai de encontro ao trabalho de Bergamin Filho et al. (1998), o qual afirma a doença tem causa abiótica e recomenda que deve-se suspender medidas de eliminação de plantas doentes, em benefício de práticas de drenagem e descompactação do solo. Porém, o aumento do número de plantas doentes na área deve-se ao fato de que quanto maior o número de plantas doentes na área, maior o número de focos para a disseminação do AF, possivelmente, por chuvas, umidade ou vento. Comportamento semelhante foi observado por Van Slobbe e Souza (1991), em um plantio no município de Santa Bárbara, quanto maior o período entre a detecção da planta doente e a erradicação da mesma, maior era o número de plantas afetadas pelo AF na área.

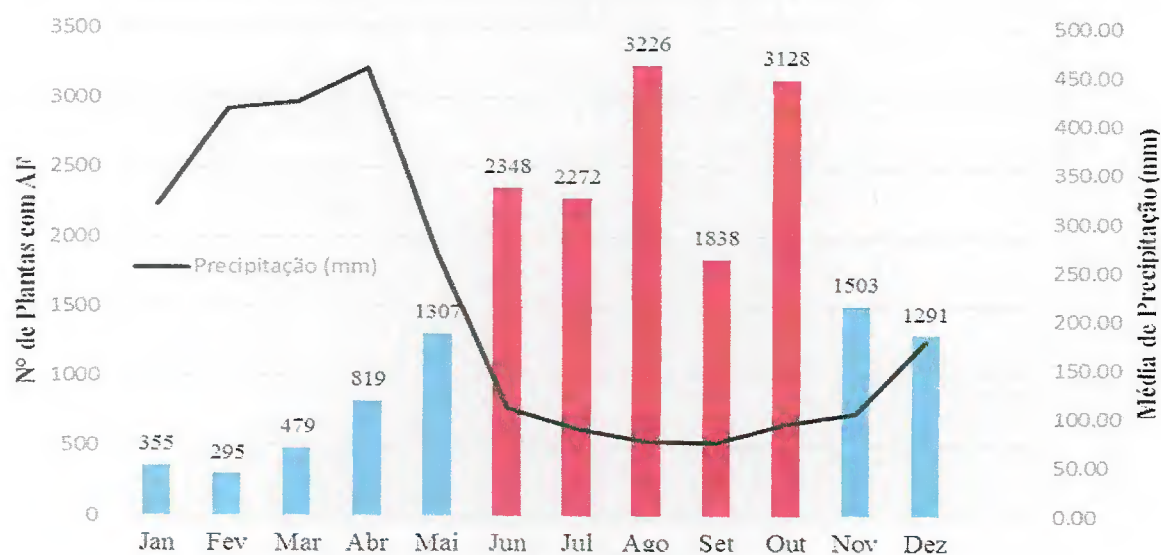
Torna-se importante ressaltar que a prática da erradicação é muito importante em outras culturas, juntamente visando a eliminação de fonte de inóculo, como é o caso da Huanglongbing (HLB), ou Greening, doença dos citros, a qual o controle que apresentou mais eficiência foi o controle preconizado envolvendo o plantio de mudas saudáveis, a eliminação de plantas doentes e o controle do inseto vetor. Portanto, o controle do HLB baseia-se na redução do inóculo, presente em plantas e insetos vetores (BELASQUE JUNIOR et al., 2009). Uma vez que ocorre a redução da atenção fitossanitária com o pomar, poderá ocorrer maior disseminação e severidade da doença, comprometendo safras futuras e aumento de pragas, visto que a fonte de inóculo continua na área (DRAGONE, 2003).

Observa-se de 2001 a 2014 (Figura 11), foi detectado na área um total de 18.861 plantas com AF, os meses com maior número de plantas infectadas foram de junho a outubro, sendo que esse período apresenta as menores taxa de precipitação durante o ano, como pode ser observado pela Tabela 2. Esses resultados estão de acordo com os resultados encontrados por Araújo (2016), que trabalhando com dados climáticos na área do estudo, concluiu que a insolação e a precipitação influenciam diretamente na incidência do AF. Diante dos resultados apresentados na Tabela 2, de umidade relativa, precipitação, insolação e temperatura, indicam que realmente o AF sofre influência, principalmente, da insolação e precipitação que são fatores meteorológicos importantes da região norte do Brasil, estado do Pará.

Tabela 2 - Médias mensais dos dados climáticos, Temperatura máxima (Tmax), Temperatura mínima (Tmin), Temperatura Média (Tmed), Umidade Relativa (UR), Precipitação (PP) e Insolação, dos anos de 2001 a 2015, coletados na estação meteorológica da empresa Agropalma S/A.

Mês	Plantas com AF	Tmax (C°)	Tmin (C°)	Tmed (C°)	UR (%)	PP (mm)	Insolação (W/m²)
Jan	355	33,48	21,70	26,14	85,98	319,30	163,49
Fev	295	33,53	21,93	25,60	87,27	416,88	142,09
Mar	479	33,95	22,42	26,42	88,80	424,46	150,58
Abr	819	34,17	22,37	26,57	88,51	458,56	163,06
Mai	1307	34,41	22,55	26,90	87,60	267,75	196,17
Jun	2348	34,12	21,73	26,62	84,77	110,13	221,76
Jul	2272	34,46	21,36	26,67	83,28	89,40	250,29
Ago	3226	35,22	21,36	26,31	81,55	76,03	233,48
Set	1838	35,82	20,66	26,23	79,96	74,99	217,32
Out	3128	35,53	21,08	26,54	80,29	93,17	214,53
Nov	1503	35,57	21,73	26,74	80,44	104,52	195,08
Dez	1291	34,59	21,91	26,35	83,77	178,33	166,57

Figura 11 - Flutuação mensal média do número total de focos de Amarelecimento Fatal em plantio orgânico no período de 2001 a 2014 e média de precipitação pluviométrica (mm).



Durante o período seco às plantas externam os sintomas da doença mais facilmente e no período com maior precipitação, a partir de dezembro, as plantas ficam mais vigorosas. Portanto, há uma alta probabilidade dessa doença apresentar relação direta com os vasos condutores das plantas, podendo haver algum patógeno infectando os mesmos, causando nas primeiras fases da doença o amarelecimento basal dos folíolos mais jovens. Como recomendação, deve-se observar o período de junho a outubro, o qual necessita de maior atenção dos produtores, visto que é nessa época que fica mais fácil a visualização e identificação de plantas sintomáticas (Figura 11).

Esses dados confrontam com o que foi descrito por Moraes et al. (2011), o qual, após avaliar dados de ocorrência de AF (2005 a 2006), cedidos pela Marborges S/A, e a precipitação pluviométrica do período de 1993 a 2008, chegaram à conclusão que os maiores casos de AF foram registrados nos períodos maior pluviosidade na região. Porém, de qualquer forma, é importante ressaltar que é necessário intensificar as investigações de efeitos do clima associados ao problema de AF na região.

Tabela 3 - Coeficientes de correlação linear de Pearson (r), entre o NPAF e os valores de média mensal dos fatores abióticos no período de 2001 a 2014 no município do Acará.

Correlação	Coeficientes de Correlação (r)
NPAF x Temperatura média (C°)	0,378 ^{ns}
NPAF x Umidade Relativa (%)	- 0,724*
NPAF x Precipitação (mm)	- 0,840*
NPAF x Insolação (W/m²)	0,877*

NPAF = Número de Plantas com Amarelecimento Fatal, ^{ns} não significativo ($p \geq 0,05$), *significativo ao nível de 1% de probabilidade ($0,01 \leq P$).

Pode-se observar nos gráficos de correlação de fatores abióticos com o AF (Figura 12), e nos dados mostrados na Tabela 3, que a precipitação influenciou no NPAF, pois esta apresentou um valor de correlação negativa (-0,840), mostrando que os períodos de baixa precipitação apresentam maior NPAF, também sendo influenciado pela umidade relativa que apresentou correlação negativa (-0,724). Segundo Araújo (2016), em estudo realizado em plantio de palma de óleo orgânico e convencional, através de uma análise série temporal, observou que a incidência do Amarelecimento Fatal ocorre nos meses de média insolação e de baixa precipitação.

Figura 12 - Gráficos de correlação (r) entre o Número de Plantas com AF (NPAF) e fatores abióticos (Temperatura média, Umidade Relativa, Precipitação e Insolação), referentes aos anos de 2001 a 2014.

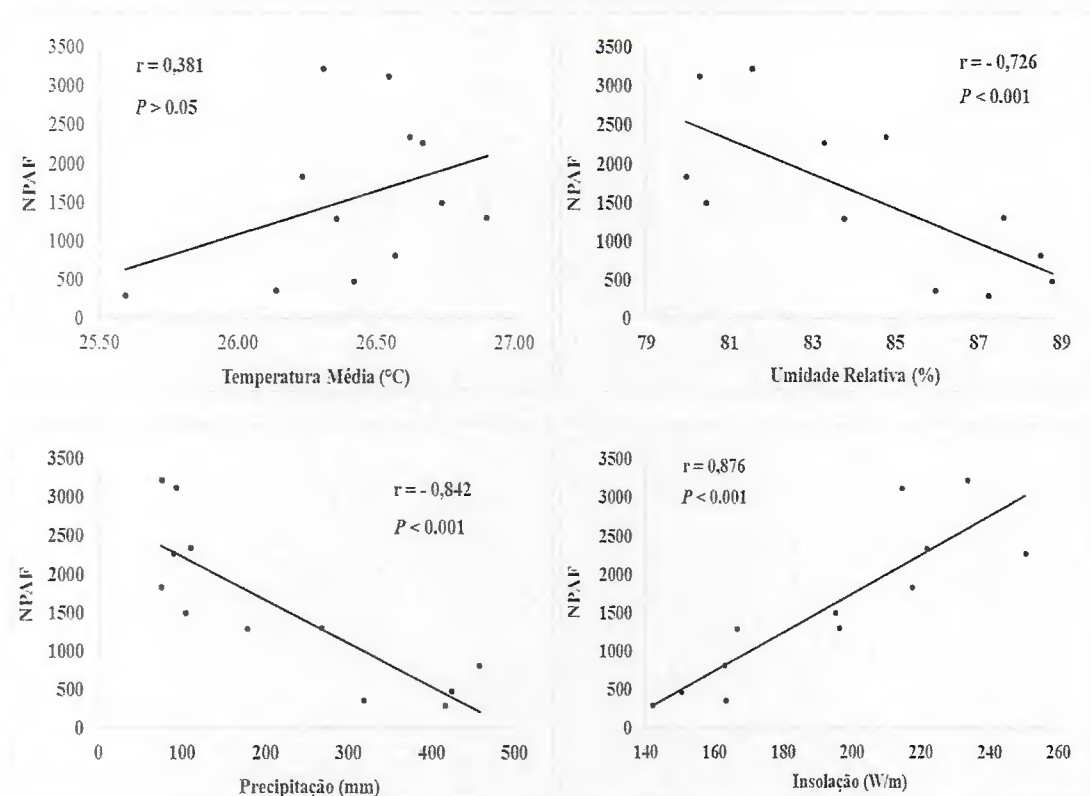
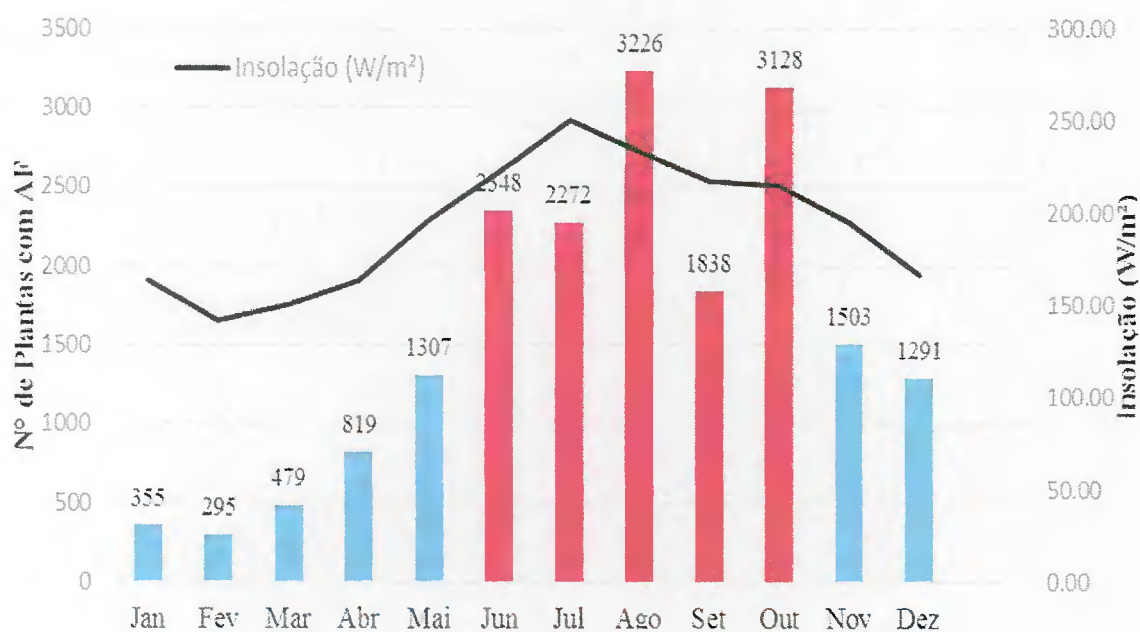


Figura 13 - Flutuação mensal média do número total de focos de Amarelecimento Fatal em plantio orgânico no período de 2001 a 2014 e média de insolação (W/m²).



Pela Figura 12, observa-se que para insolação a correlação foi positiva e significativa (0,88), $P < 0,001$, e para temperatura média a correlação com o NPAF foi não significativa. A forte relação entre a insolação e NPAF, pode ser observada na Figura 13, pois nos períodos de maior insolação ocorrem o maior número de incidência do AF, que são os meses de junho a outubro, e o mês de menor insolação (142,09 W/m²) o mês de fevereiro apresentou a menor incidência do AF. A mesma situação foi mostrada por Laing (2012), o qual afirma que em períodos de baixa insolação, no Equador, o número de casos de AF é bem menor do que quando a situação climática é contrária, sendo observado principalmente em 2008, quando houve grande influência do fenômeno La Niña.

2.3.2. Distribuição espacial do Amarelecimento Fatal

Na Tabela 4 é mostrado que os modelos Exponencial e Gaussiano foram os que melhor se ajustaram aos dados da incidência do AF no campo, mostrados nos semivariogramas da Figura 14. Estes dois modelos representam uma distribuição agregada da doença, indicando uma possível causa biótica do AF, pois os modelos Exponencial e Gaussiano são muito ajustados aos dados de doenças, como podemos encontrar nos trabalhos de Larkin et. al. (1995) e Pale et. al. (2011). No ano de 2001, não foi possível ajustar nenhum modelo indicando um efeito pepita puro, que representa a distribuição aleatória de plantas com AF. Este fato ocorre devido à pouca quantidade de plantas com AF na área, impossibilitando a detecção de dependência espacial, indicando, possivelmente, que as mudas contaminadas foram distribuídas de maneira aleatória na área no momento do plantio.

Pela Tabela 4, podemos observar que a distribuição espacial do Amarelecimento Fatal no ano de 2001 se deu de maneira aleatória, representado pelo modelo Efeito Pepita Puro que se ajusta a dados sem dependência espacial entre os vizinhos. Esses resultados indicam que, provavelmente, foram levadas para a área mudas infectadas, as quais foram plantadas de maneira aleatória. Basta analisar o histórico da área, no qual observou-se que as primeiras plantas doentes (pontos amarelos), principalmente as de material genético AVROS, foram provenientes de uma empresa com histórico de AF, a qual era a antiga proprietária da Companhia Palmares da Amazônia (CPA) e responsável por plantios anteriores ao ano de 2000 (Figura 15).

Tabela 4 - Parâmetros dos Semivariogramas do AF no período de 2001 a 2015.

Ano	Parâmetros			Modelo	R ²	IDE (%)	Grau de Dependência
	C ₀	C ₁	a (m)				
2001	0,1220	-	-	Efeito Pepita Puro	-	-	-
2002	0,0400	0,1560	410	Exponencial	0,99	0,80	FORTE
2003	0,0250	0,1900	940	Exponencial	0,99	0,88	FORTE
2004	0,0400	0,1900	850	Exponencial	0,99	0,83	FORTE
2005	0,0120	0,1950	720	Exponencial	0,99	0,94	FORTE
2006	0,0010	0,2000	1100	Exponencial	0,99	0,99	FORTE
2007	0,0100	0,2070	1000	Exponencial	0,99	0,95	FORTE
2008	0,0005	0,1950	980	Exponencial	0,99	0,99	FORTE
2009	0,0150	0,1890	1050	Exponencial	0,99	0,93	FORTE
2010	0,0001	0,2400	1120	Exponencial	0,99	0,99	FORTE
2011	0,0850	0,2900	1700	Gaussiano	0,99	0,77	FORTE
2012	0,0100	0,6850	4400	Gaussiano	0,99	0,99	FORTE
2013	0,0017	0,0820	1900	Gaussiano	0,99	0,98	FORTE
2014	0,0006	0,0230	1800	Gaussiano	0,99	0,97	FORTE
2015	0,0050	0,0556	1400	Exponencial	0,99	0,99	FORTE

A partir do ano de 2002, observa-se que os dados de amostragem se ajustaram aos modelos Exponencial ou Gaussiano, mostrando que existe dependência espacial entre os dados de amostragem. Esses resultados são fortes indicativos que a infecção da área se deu através de mudas infectadas, que com o tempo passaram a ser fonte de inóculo para infecção de plantas vizinhas, formando agregação, sendo um forte indicio de infecção por agente biótico (Tabela 4).

Os modelos Exponencial e Gaussiano indicam uma distribuição espacial agregada. Esses modelos podem indicar que ocorreu uma infecção através espalhamento por chuva ou vento.

A partir do ano de 2011, período que apresentou um acentuado crescimento no foco de plantas com AF, houve mudança para o modelo Gaussiano. Isto demonstra que está ocorrendo uma dispersão espacial através de um espalhamento do AF para outras áreas próximas, principalmente pela ação da chuva, a qual foi intensa neste ano,

servindo como transporte para a grande quantidade de inóculo já presente na área, caracterizando um comportamento biótico. Os resultados diferem das de Laranjeira et al. (1998), o qual afirma que a doença tem causa abiótica.

Porém é importante ressaltar que trabalhos realizados em condições climáticas semelhantes, comprovaram por meio da geoestatística que o ambiente influencia na dispersão do inóculo e severidade de doenças de causa biótica conhecida, como mostrado na pesquisa de Larkin et al. (1995) em plantios de pimentão. Desta forma, pode-se inferir que o AF, provavelmente, tenha causa biótica e que esteja relacionada com fungos do gênero *Phytophthora*, assim como a “Pudrición del Cogollo”, a qual é classificada no mesmo grupo de doenças do AF e tem como agente causal *Phytophthora palmivora* (MARTÍNEZ et al., 2010; MARTÍNEZ et al., 2013; TORRES et al., 2016).

O coeficiente de determinação (R^2) indica a confiabilidade do ajuste do modelo do semivariograma, sendo que os valores próximos de 1 indicam bom ajuste do modelo, esse parâmetro apresentou valor de 0,99 em todos os modelos do presente estudo, com exceção do ano de 2001 que não apresentou modelo ajustável (Tabela 4).

Observa-se pela Tabela 4, que o alcance da dependência espacial, variou de 410 a 4.400 metros, indicando a distância que uma planta doente influenciou em outra sadia no plantio, sendo de grande importância essa análise, pois está diretamente ligada ao aumento da taxa de infestação do plantio por AF. Além do mais, com esses resultados podemos estimar a área de contaminação do AF nas parcelas, uma vez que o alcance representa o raio de distribuição da doença na área.

O índice de dependência espacial, estimado pela relação $C_0/(C_0+C_1)$, apresentou valores com amplitude de 0,77 a 0,99 apresentando em todas as análises uma dependência espacial forte, indicando que esta doença apresenta uma agregação ressaltando a possibilidade dessa doença apresentar uma causa biótica. Segundo a classificação proposta por Zimback (2001), quanto maior a variação entre o C_0 e o C_1 maior é a dependência espacial, sendo este um resultado importante para mostrar a distribuição espacial e dispersão da doença nas plantas próximas (Tabela 4).

Sales (2011), trabalhando com a metodologia geoestatística em área infestada pelo Amarelecimento Fatal no município de Mojú, estado do Pará, concluiu que a distribuição espacial do AF é do tipo agregada, indicando que a doença tem causa biótica. Esse trabalho corrobora com os resultados encontrados, mostrando que realmente a distribuição espacial do AF é do tipo agregada.

Figura 14 - Semivariogramas de plantas com AF no plantio orgânico de palma de óleo, referente aos anos de 2001 a 2015.

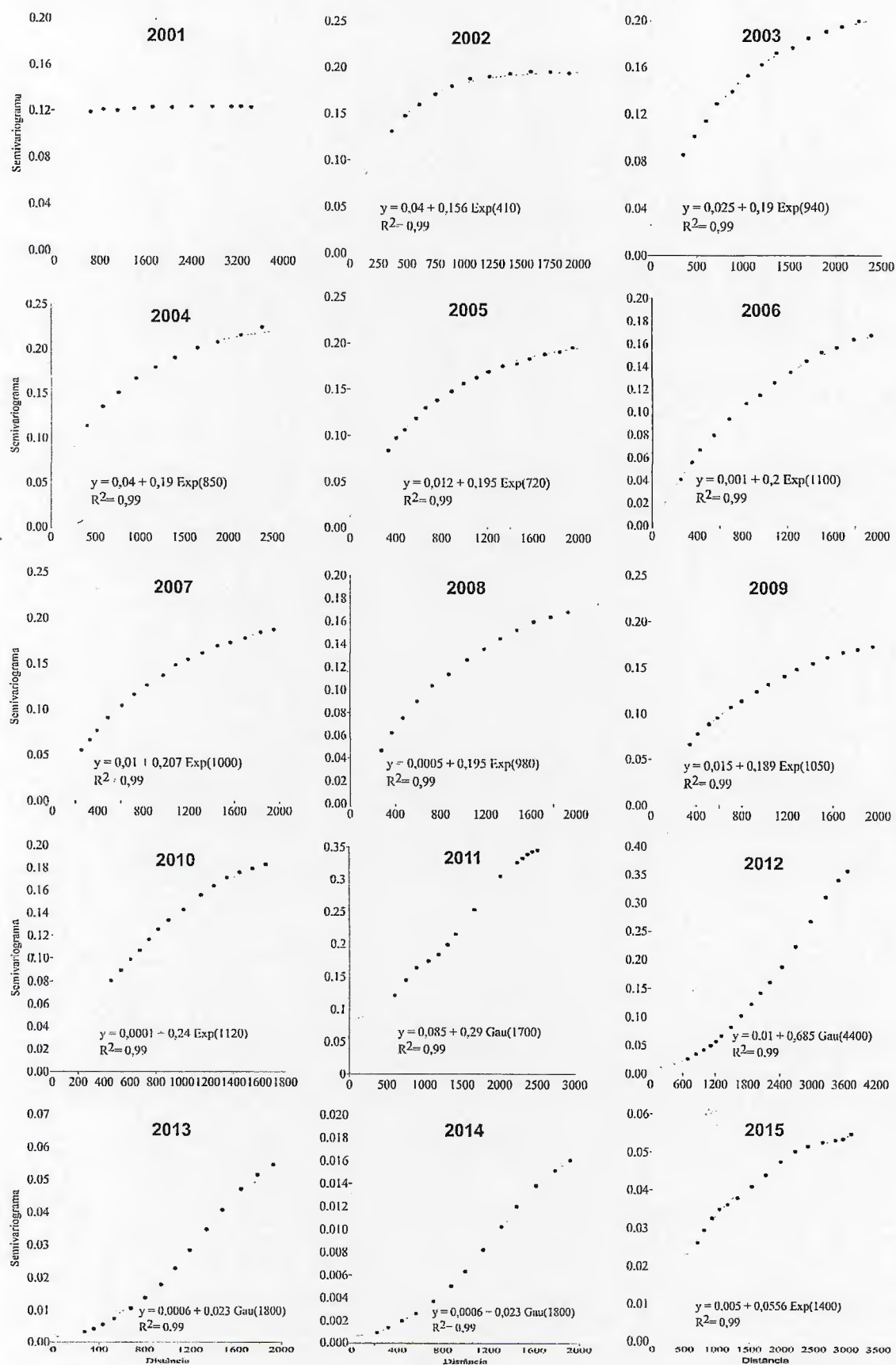
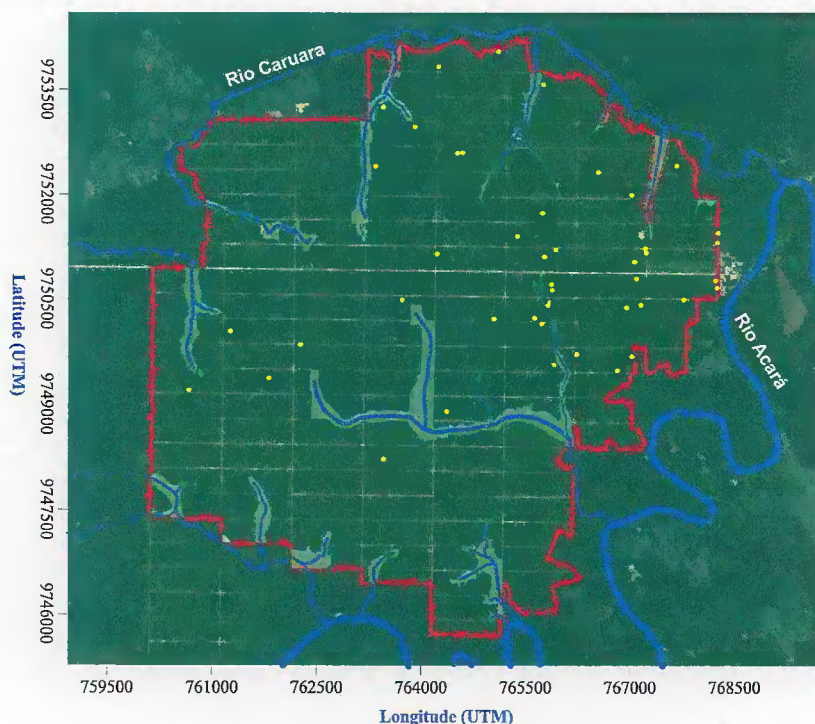


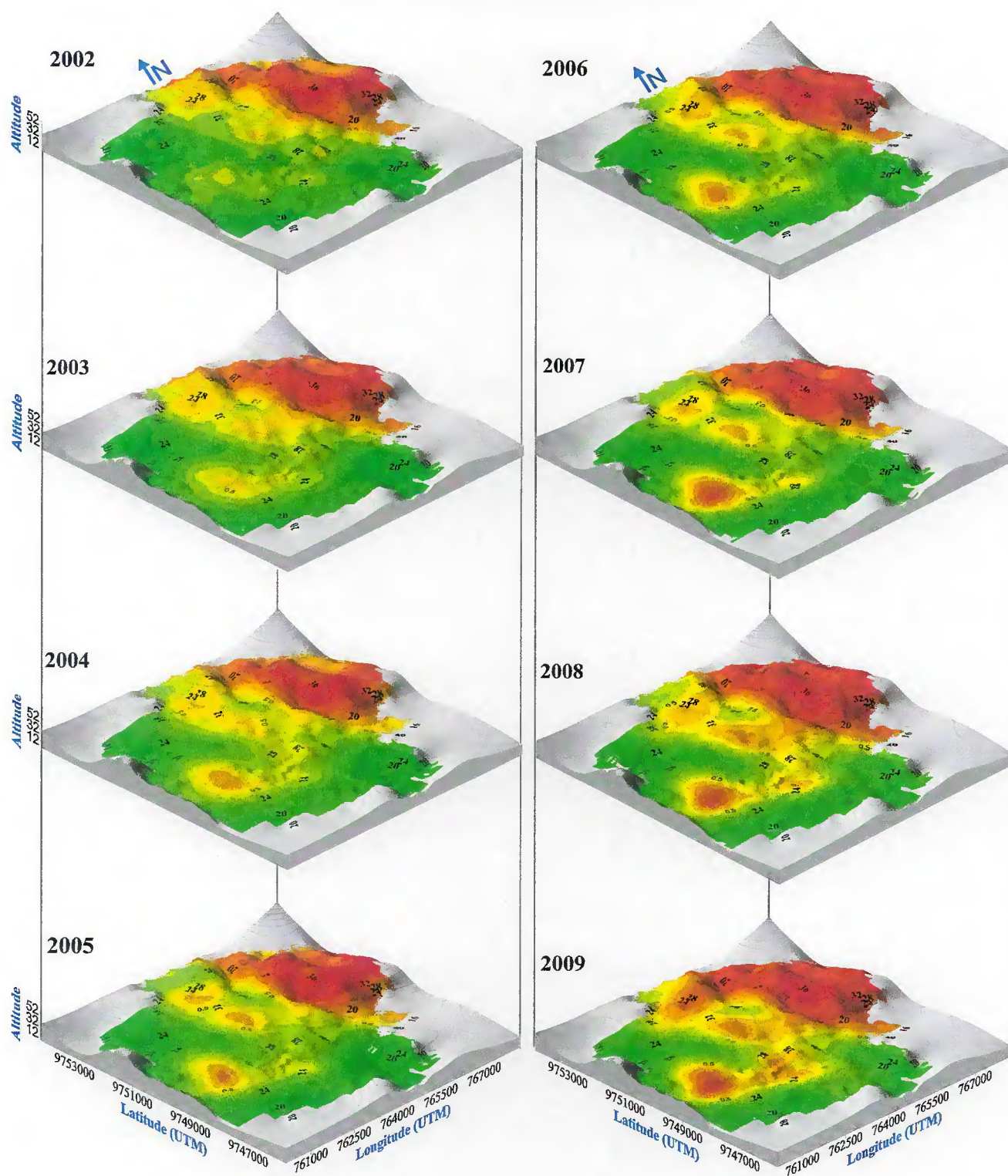
Figura 15 - Mapa com os focos de amarelecimento fatal em plantio orgânico no ano de 2001, no município do Acará.

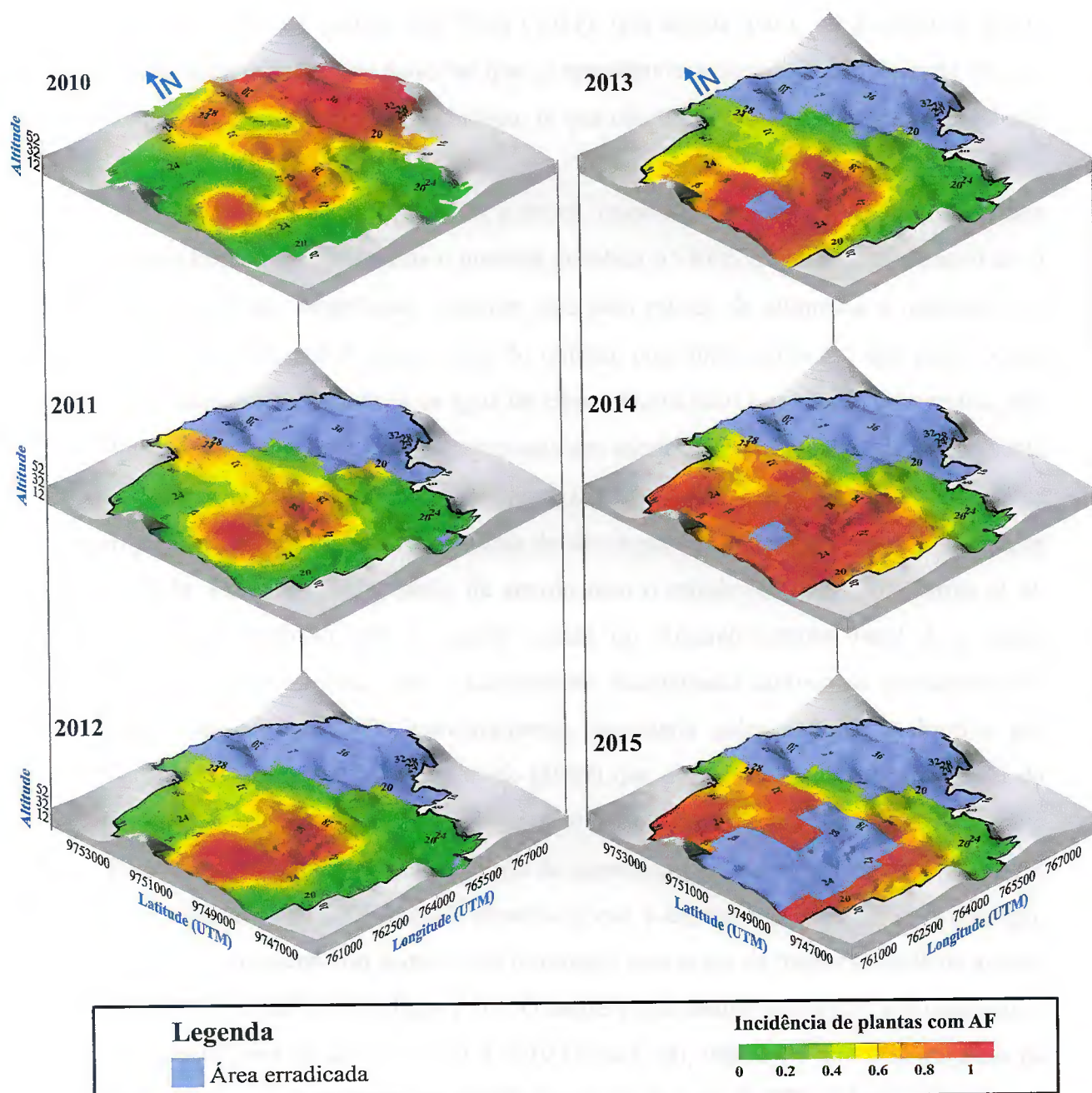


Na Figura 15 podemos observar que as plantas com AF estão distribuídas de forma aleatória na área, no ano de 2001, ajustada a um modelo efeito pepita puro (Figura 14). Segundo observações de Van de Lande e Zadoks (1999), a ocorrência de independência espacial, caracterizada por um semivariograma do tipo efeito pepita puro, indicaria início de uma infecção (considerando origem biótica) com o inóculo se disseminando de áreas adjacentes as áreas afetadas, não formando, portanto, padrão agregado no campo. Esta afirmação serve para elucidar a causa biótica da doença, uma vez que no ano de 2001 (Figura 15) poucas plantas foram detectadas com sintomas de AF e a partir do ano seguinte a doença começa a se expandir para plantas adjacentes as inicialmente doentes. Observar-se que somente 46 plantas de um total de 569.176, representando 0,009%, foram amostradas com a doença, indicando, provavelmente, que as mudas contaminadas foram plantadas aleatoriamente na área, uma vez que a procedência das mudas, é de uma área com histórico da doença.

A Figura 15 apresenta a hidrografia da área, onde podemos observar que a distribuição espacial das plantas com AF no ano de 2001, não sofreu influência dos cursos d'água da área, sendo mais um indicativo que as plantas doentes foram introduzidas na área através de mudas infectadas no viveiro. Situações de infecção em viveiro são muito comuns por fungos do gênero *Phytophthora*, principalmente por água de irrigação (TJOSVOLD et al., 2008).

Figura 16 - Mapas de krigagem e da Altimetria (3D) da incidência de Amarelecimento Fatal em plantio orgânico de palma de óleo nos anos de 2002 a agosto de 2015, no município do Acará.





Pela Figura 16 observa-se a distribuição espacial e temporal do amarelecimento fatal, nos anos de 2002 a 2015, sendo que as áreas com maior incidência da doença estão representadas pela cor vermelha. Quanto mais intenso o vermelho, maior a semivariância, indicando que há alta incidência de plantas com AF na área.

A partir do ano de 2002 (Figura 16), observa-se que a doença começou a avançar na área, demonstrando uma tendência de infecção de plantas vizinhas a partir das plantas doentes para as mais próximas indicando que a doença apresenta uma distribuição agregada, ajustados aos modelos Exponencial e Gaussiano, modelos que indicam uma distribuição agregada, nos anos de 2002 a 2015 (Figura 14). Esses

resultados estão de acordo com Silva (2015), que afirma que o surgimento de novas plantas doentes próximos daquelas que já apresentavam sintomas de AF, pode ser um indicativo de doença de origem biótica, já que plantas com AF influenciam a condição das plantas imediatamente adjacentes.

No ano de 2002 (Figura 16), a maior incidência do AF, na área, está localizada na parte Leste onde predomina o material genético AVROS (Figura 1), mostrando ser o mais susceptível. Observa-se, também, que pelo estudo de altimetria a infecção está seguindo para as partes mais baixas do terreno, com forte indicativo que essa doença está se disseminando através de água da chuva. Outro fator importante é mostrado pela Figura 14, no ano de 2002, que apresenta um modelo Exponencial, o qual representa uma distribuição que não forma reboleira, indicando, provavelmente, que a doença se propaga através de escoamento de água de chuva para as partes menos elevadas da área estudada. Esses resultados estão de acordo com o estudo realizado por Torres *et al.* (2016), que indicam que o agente causal do Amarelecimento Fatal é o fungo *Phytophthora palmivora*, que é amplamente disseminado através de escoamento de água. Essa afirmação foi primeiramente constatada pelos estudos realizados por Martínez *et al.* (2008) e Torres *et al.* (2009) que afirmaram que o agente causal do Amarelecimento Fatal é a *P. palmivora*, que na Colômbia e Equador, é conhecida como “Pudrición del cogollo”, a qual faz parte do mesmo grupo de doenças do AF.

Nos anos de 2003 a 2010, observa-se que a doença se dissemina com o tempo, mostrando um acentuado aumento de infestação para áreas de menor altitude de acordo com o mapa de altimetria (Figura 16). O modelo que melhor se ajustou aos dados foi o exponencial para os anos de 2003 a 2010 (Figura 14), indicando que a distribuição da doença está seguindo o mesmo padrão espacial do ano de 2002. Essa observação é muito importante, mostrando que a doença está se espalhando através das áreas de maior altitude para as de menores altitudes. Portanto, fatores climáticos, principalmente a precipitação, é determinante para a disseminação desta doença. Esses resultados discordam dos encontrados por Bergamin Filho *et al.* e Laranjeira *et al.* (1998), que determinaram que o amarelecimento fatal é causado por fatores abióticos.

Pelos resultados mostrados nos anos de 2003 a 2010 (Figura 16) podemos observar claramente que a doença tem uma alta disseminação no sentido de escoamento superficial da água no solo. Essa disseminação é muito comum para o fungo do gênero *Phytophthora*, amplamente estudados por vários autores, tais como: Tjosvold *et al.*, (1992), Larkin *et al.* (1995), Vannini *et al.* (2012), Sanogo e Ji (2013), Peterson *et al.*

(2014), Torres et al. (2016). Portanto, os resultados apresentados mostram que o agente causal do amarelecimento fatal é de origem Biótica, provavelmente, o fungo *Phytophthora palmivora*, também, determinados nos trabalhos de Martínez (2008) e Torres (2016).

Pela Figura 16, podemos visualizar, nos anos de 2011 e 2012, um aumento acentuado dos casos de AF, culminando com a erradicação de uma grande área. Essa erradicação se deve ao fato de que a partir do ano de 2011 as plantas amostradas com a doença não eram eliminadas e consequentemente serviram de focos para novas infecções. Além disso, também, no ano de 2011 ocorreu uma precipitação muito alta na região acelerando, provavelmente, a disseminação do AF na área.

Com a grande área erradicada no ano de 2011, a pressão da incidência do AF foi para as outras áreas não erradicadas, mostrando um aumento muito grande, principalmente nas parcelas G13 e G14, com material genético Deli x Lamé, que no ano de 2013 foram erradicadas, mostrando-se susceptíveis ao AF (Figura 16). Observa-se que no ano de 2014, ocorreu um aumento significativo, mesmo com a erradicação das parcelas com maior incidência de AF, mostrando uma grande severidade infestação. Isso pode estar relacionada com a grande intensidade de chuva que ocorreu no ano 2011, que, provavelmente disseminou o agente causal através do escoamento da água da chuva pelo solo.

De acordo com a Figura 16, podemos observar que em 15 anos (2001 a 2015), dos quais os dez primeiros anos as plantas com presença de AF foram eliminadas (2001 a 2010), praticamente, uma área de 4.107,25 ha, foi infectada pelo AF. Notadamente observamos que o grande crescimento foi a partir de 2011, quando as plantas com AF deixaram de ser eliminadas, ocorrendo três erradicações, no ano 2011, 2013 e 2015 (Figura 16). A eliminação de plantas infectadas com AF, de acordo, com os resultados mostrados através da distribuição espacial e temporal, nos anos de 2001 a 2010, mostrou-se ser uma prática extremamente correta, uma vez que com a eliminação dos focos da doença, diminuiu notadamente o avanço do AF na área (Figura 16). Porém quanto esta prática foi eliminada no ano de 2011, a incidência da doença aumentou, culminando com infestação, praticamente total da área, levando a erradicação da área do estudo.

Pela Figura 16, resumimos que, esses resultados mostram de maneira categórica que a doença foi introduzida na área através de mudas contaminadas que foram plantadas de forma aleatória. Através da distribuição temporal observamos que as

plantas vizinhas foram infectadas aumentando a incidência de AF e conseqüentemente, essa infestação seguiu para outras áreas de acordo com a altimetria do terreno, como pode ser visualizado através dos mapas altimétricos em 3D.

Através da geoestatística foi possível analisar e ajustar modelos matemáticos que comprovaram que existe uma dependência espacial entre plantas vizinhas, indicando que a doença se distribuiu na área de maneira agregada e através dos mapas de krigagem foi possível visualizar essa dependência. Portanto, a geoestatística mostrou-se uma ferramenta extremamente útil para analisar os dados de 15 anos de amostragem do Amarelecimento Fatal em palma de óleo, com segurança e confiabilidade, indicando que a doença tem causa biótica.

2.4. Conclusões

- 1) Pelos modelos ajustados, a distribuição do AF é fortemente influenciada pelas plantas vizinhas apresentando dependência espacial, indicando que a disseminação ocorre de maneira biótica;
- 2) A amostragem tem que ser intensificada nos meses de menor precipitação;
- 3) A erradicação das plantas doentes se faz necessária para conter o avanço da doença;
- 4) Fatores climáticos, principalmente a chuva, que é um fator determinante para a propagação da doença na área, indicam que o organismo se transloca pelo escoamento da água no solo de acordo com os modelos ajustados e pelos mapas de krigagem.
- 5) A distribuição espacial da doença foi influenciada pela altitude da área. Áreas mais baixas, conseqüentemente mais úmidas, apresentam mais plantas com AF;

REFERÊNCIAS

- 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.
- BELASQUE JUNIOR, J.; BERGAMIN FILHO, A.; BASSANEZI, R. B.; BARBOSA, J. C.; FERNANDES, N. G.; YAMAMOTO, P. T.; LOPES, S. A.; MACHADO, M. A.; LEITE JUNIOR, R. P.; AYRES, A. J.; MASSARI, C. A.; Base científica para erradicação de plantas sintomáticas e assintomáticas de Huanglongbing (HLB, Greening) visando o controle efetivo da doença. **Tropical Plant Pathology**. v.34. 2009.
- 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.
- DRAGONE, D.; RODRIGUES, J. C. V.; NEVES, E. M.; NOGUEIRA, N. L. Viabilidade econômica do controle da leprose em variedades de laranja e lima da pérsia. **Artigo Técnico**. LARANJA, Cordeirópolis, v.24, n.2, p.311-327. 2003.
- 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**. Vol. 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.
- FRANQUEVILLE, H. **La pudrición del cogollo de la palma aceitera em America Latina: revisión preliminar de hechos y logros alcanzados.** [S.l.]: CIRAD. Departamento de Cultivos Perenes, 41 p. 2001.
- GUERRA, P, A, G. **Geoestatística Operacional.** Ministério das Minas e Energia, Departamento Nacional da Produção Mineral. 1988. 145p.
- ISAACS, E, H.; SRIVASTAVA, R, M, **An introduction to applied geostatistics.** New York: Oxford University Press. 1989. 561p.
- LAING, D. Deficiência temporária de cálcio como causa primária do amarelecimento fatal do dendezeiro. **Informações Agronômicas**. Nº 137. Março. 2012.
- LANDIM, P.M.B. **Análise estatística de dados geológicos.** São Paulo: UNESP. 1998. 226p.
- LARANJEIRA, F.F., BERGAMIN FILHO, A., AMORIM L.; BERGER, R.D., HAU, B..Análise espacial do Amarelecimento Fatal do dendezeiro como ferramenta para elucidar sua etiologia. **Fitopatologia Brasileira**, v.23, p. 397-403. 1998.

- LARKIN, R. P.; GUMPERTZ, M. L.; RISTAINO, J. B. Geostatistical Analysis of Phytophthora Epidemic Development in Commercial Bell Pepper Fields. *Phytopathology*. v. 85. n. 2. 1995.
- MARTÍNEZ, G.; SARRIA, GA.; TORRES, GA.; AYA, HA.; ARIZA, JG.; RODRÍGUEZ, J.; VÉLEZ, DC.; VARÓN, F.; ROMERO, HM.; SANZ, HM. *Phytophthora* sp. es el responsable de la lesiones iniciales de la pudrición del cogollo de la palma de aceite en Colombia. In: **Memorias de la VIII Reunión técnica nacional de palma de aceite**. Bogotá: Compensar. 2008.
- MARTÍNEZ, G.; SARRIA, G. A.; TORRES, G. A.; VARÓN, F. *Phytophthora palmivora* es el agente causal de la pudrición del cogollo de la palma de aceite. **PALMAS**. v. 31. N° Especial. 2010.
- MARTÍNEZ, G.; ARANGO, M.; TORRES, G.; SARRIA, G.; VÉLEZ, D.; RODRÍGUEZ, J.; MESTIZO, J.; AYA, H.; NOREÑA, C.; VARÓN, F.; DRENTH, A.; GUEST, D. Avances en la investigación sobre las dos enfermedades más importantes en la palma de aceite en Colombia: la Pudrición del cogollo y la Marchitez letal. *Revista PALMAS*. v. 34. n. 1. 2013.
- MORAES, J. R. S. C.; MARTORANO, L. G.; BOARI, A. J.; MONTEIRO, D. C. A. Condições térmicas e pluviás associadas às ocorrências do amarelecimento fatal (AF) em palma de óleo em Moju, Pará. In: **SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA EMBRAPA AMAZÔNIA ORIENTAL**, 15., 2011, Belém, PA. A ciência de fazer ciência: **anais**. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2011. 1 CD-ROM. PIBIC.
- PALE, J. R. S.; DÁVILA, J. F. R.; HUERTA, A. G.; LEÓN, C. Spatial distribution of head smut (*Sporisorium reilianum*) of corn in Mexico. **Ciencia e Investigación Agraria**. v. 38, n. 2. 2011.
- PETERSON, E.; HANSEN, E.; HULBERT, J. Source or sink? The role of soil and water borne inoculum in the dispersal of *Phytophthora ramorum* in Oregon tanoak forests. **Forest Ecology and Management**. v. 322, p. 48–57. 2014.
- RENDU, J. M. **An introduction to geostatistical methods of mineral evaluation**, Johannesburg: Institute of Mining and Metallurgy. 1978. 83p.
- SALES, T. M. **Análise geoestatística da distribuição espacial do amarelecimento fatal do dendezeiro no Nordeste Paraense**. 2011. 32 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, 2011.
- SANOGO, S.; JI, P. Water management in relation to control of *Phytophthora capsici* in vegetable crops. **Agricultural Water Management**. v. 129, p. 113– 119. 2013.
- 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.

TJOSVOLD, S. A.; CHAMBERS, D. L.; KOIKE, S. T.; MORI, S. R. Disease on nursery stock as affected by environmental factors and seasonal inoculum levels of *Phytophthora ramorum* in stream water used for irrigation. **Plant Disease**. v. 92, p.1566-1573. 2008.

TORRES, G. A.; SARRIA, G. A.; VARÓN, F.; COFFEY, M. D.; ELLIOTT, M. L.; MARTÍNEZ, G. First report of bud rot caused by *Phytophthora palmivora* on African oil palm (*Elaeis guineensis*), in Colombia. **Plant Disease**. 2009.

TORRES, G. A.; SARRIA, G. A.; MARTINEZ, G.; VARON, F.; DRENTH, A.; GUEST, D. I. Bud rot caused by *Phytophthora palmivora*: A destrutive emergencing disease of oil palm. **Phaytopathology**. v.106, p.320-329. 2016.

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.

Van Slobbe, W. G.; Souza, R. L. R. de. Amarillamiento fatal o pudrición de cogollo en Denpasa – Brasil. **Revista Palmas**, Santafé de Bogotá, Colombia, v. 12, n. 2, p.17-23, 1991.

VANNINI, A.; BRECCIA, M.; BRUNI, N.; TOMASSINI, A.; VETTRAINO, A. M. Behaviour and survival of *Phytophthora cambivora* inoculum in soil-like substrate under different water regimes. **Forest Pathology**. v. 42, p. 362–370. 2012.

VENTURIERI, A.; FERNANDES, W, R.; BOARI, A, de J.; VASCONCELOS, M, A, 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. INPE. p.523-530. 2009.

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

ZIMBACK, C. R. L. **Análise espacial de atributos químicos de solos para fins de mapeamento da fertilidade**, 2001, 114p, Tese de Livre-Docência (Livre-Docência em Levantamento do Solo e Fotopedologia) – Universidade Estadual de Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias/UNESP, Jaboticabal, 2001.