



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

BRUNO BORELLA ANHÊ

**ESTUDO DA AUTOCORRELAÇÃO ESPACIAL E DISTRIBUIÇÃO ESPAÇO-
TEMPORAL DO AMARELECIMENTO FATAL EM DIFERENTES MATERIAIS
GENÉTICOS DE PALMA-DE-ÓLEO, NA AMAZÔNIA ORIENTAL**

BELÉM

2018

BRUNO BORELLA ANHÊ

ESTUDO DA AUTOCORRELAÇÃO ESPACIAL E DISTRIBUIÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL DO AMARELECIMENTO FATAL EM DIFERENTES MATERIAIS GENÉTICOS DE PALMA-DE-ÓLEO, NA AMAZÔNIA ORIENTAL

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

BELÉM

2018

ESTUDO DA AUTOCORRELAÇÃO ESPACIAL E DISTRIBUIÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL DO AMARELECIMENTO FATAL EM DIFERENTES MATERIAIS GENÉTICOS DE PALMA-DE-ÓLEO, NA AMAZÔNIA ORIENTAL

Dissertação apresentada à Universidade Federal Rural da Amazônia, como parte das exigências do Curso de Pós-Graduação em Agronomia, para obtenção do título de Mestre
Orientador: Prof. Dr. Paulo Roberto Silva Farias

BANCA EXAMINADORA

Aprovado em 31 /07/2018

Prof. Dr. Paulo Roberto Silva Farias – Presidente da Banca
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA - UFRA

Dr. Rui Alberto Gomes Junior – 1º Examinador
EMBRAPA AMAZÔNIA ORIENTAL - EMBRAPA

Dr. Ricardo Salles Tinôco – 2º Examinador
AGROPALMA S/A

Dr. Javier Dias Pita – 3º Examinador
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
DO PARÁ -IFPA

Aos meus pais, Sérgio Antonio Anhê
e Vera Lúcia Borella Anhê, por sempre
priorizarem a educação de seus filhos.

DEDICO!

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela graça da vida,

À toda minha família que sempre me ajudou e apoiou nas minhas decisões, sem eles nada seria,

À empresa Agropalma S/A pela disponibilização da área e dados do estudo para execução deste trabalho,

Ao meu orientador Professor Dr. Paulo Roberto Silva Farias, pela orientação e contribuição à minha formação profissional,

À Universidade Federal Rural da Amazônia - UFRA, em especial ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia e a todos os professores do programa, pelo apoio institucional, e pelos valiosos conhecimentos adquiridos,

E a todos os meus amigos, colegas de trabalho e de mestrado, da minha cidade natal General Salgado e de Belém, por acreditarem e incentivarem na conclusão deste trabalho.

SUMÁRIO

RESUMO.....	13
ABSTRACT	14
1. CONTEXTUALIZAÇÃO.....	15
1.1 Objetivo Geral.....	18
1.2 Objetivos específicos	18
REFERÊNCIAS.....	19
CAPÍTULO I.....	22
RESUMO.....	22
ABSTRACT	23
2. INTRODUÇÃO	24
2.1 MATERIAL E MÉTODOS	25
2.1.1 Descrição da área de Estudo	25
2.1.2 Descrição do Experimento.....	26
2.1.3 Análise Estatística Descritiva.....	29
2.1.4 Autocorrelação Espacial e Matriz de Vizinhança.....	29
2.1.5 Índice Local de Moran (LISA).....	32
2.2 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	34
2.2.1 Estatística Descritiva	34
2.2 Análise de auto correlação espacial.....	38
2.2.1 Antes da primeira erradicação	38
2.2.3 Análise após a erradicação	41
2.3 CONCLUSÕES.....	46
REFERÊNCIAS.....	47
CAPÍTULO II.....	51
RESUMO.....	51
ABSTRACT	52
3. INTRODUÇÃO	53
3.1 MATERIAL E MÉTODOS	54
3.1.1 Descrição do Experimento.....	55
3.1.2 Análise Estatística Descritiva.....	58
3.1.3 Análise Geoestatística	58
3.1.4 Índices de Dependência Espacial (IDE)	60
3.1.5 Krigagem	61

3.1.6 Validação Cruzada.....	61
3.2 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	62
3.2.1 Material Genético Avros	62
3.2.1.1 Análise Geoestatística	66
3.2.1.2 Mapas de Krigagem	68
3.2.2 Material Genético Deli x Lamé	71
3.2.2.1 Análise Geoestatística	75
3.2.2.2 Mapas de Krigagem	76
3.2.3 Material Genético Deli x Lamé (EMBRAPA)	79
3.2.3.1 Análise Geoestatística	83
3.2.3.2 Mapa de Krigagem.....	84
3.3 Comparação entre os materiais genéticos.....	87
3.3 CONCLUSÕES.....	89
REFERÊNCIAS.....	90
ANEXOS	94

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Fazenda Companhia Palmares da Amazônia, mostrando o sistema de produção orgânico e o convencional, localizada no município de Acará/PA.....	25
Figura 2: Esquema do plantio de palma-de-óleo realizado no experimento, em sistema de triângulo equilátero com espaçamento de 9 metros, município de Acará/PA.....	26
Figura 3: Mapa com os Materiais Genéticos de palma-de-óleo utilizado no experimento até o ano de 2010: Avros, Deli x Lamé e Deli x Lamé (EMBRAPA) e seus respectivos anos de plantio....	27
Figura 4: Plantas de palma-de-óleo com sintomas de Amarelecimento Fatal, na fazenda Companhia dos Palmares da Amazônia, município de Acará/PA; A) e B) Amarelecimento das Folhas e Foliolos; C) Morte da folha flecha e morte da planta.....	29
Figura 5: Estruturas de vizinhança; Matriz de Contingência.....	31
Figura 6: Diagrama de Espalhamento de Moran, localização dos quadrantes.	33
Figura 7: Mapa LISA Cluster para a variável número de plantas doentes por parcela, referente às 139 parcelas de palma-de-óleo da Fazenda CPA, no município de Acará/PA. Os dados referem-se aos anos de 2001, 2005 e 2009. As cores em vermelho representam parcelas de alta ocorrência da doença, enquanto as azuis baixa. A intensidade da cor informa a relação com as parcelas vizinhas, cor escura representa autocorrelação positiva, cor clara, autocorrelação negativa.....	41
Figura 8: Mapa LISA Cluster para a variável número de plantas doentes por parcela, referente às 96 parcelas de palma-de-óleo da Fazenda CPA, no município de Acará/PA. Os dados referem-se aos anos de 2011 e 2012. As cores em vermelho representam parcelas de alta ocorrência da doença, enquanto as azuis baixa. A intensidade da cor informa a relação com as parcelas vizinhas, cor escura representa autocorrelação positiva, cor clara, autocorrelação negativa.	42
Figura 9: Mapa LISA Cluster para a variável número de plantas doentes por parcela, referente às 96 parcelas de palma-de-óleo da Fazenda CPA, no município de Acará/PA. Os dados referem-se aos anos de 2013 e 2014. As cores em vermelho representam parcelas de alta ocorrência da doença, enquanto as azuis baixa. A intensidade da cor informa a relação com as parcelas vizinhas, cor escura representa autocorrelação positiva, cor clara, autocorrelação negativa.....	43
Figura 10: Fazenda Companhia Palmares da Amazônia, mostrando o sistema de produção orgânico e o convencional, localizada no município de Acará PA.....	54
Figura 11: Anos de plantio das parcelas de palma-de-óleo da Fazenda Companhia Palmares da Amazônia.	56
Figura 12: Material Genético de palma-de-óleo utilizado no experimento até o ano de 2010.....	56
Figura 13: Material genético e ano de plantio das parcelas de palma-de-óleo da Fazenda Companhia Palmares da Amazônia.	57
Figura 14: Localização do Material Genético Avros na fazenda CPA, município de Acará PA..	62
Figura 15: Mapas de distribuição espacial e temporal do Amarelecimento Fatal referentes aos anos de 2003 e 2006 para as 42 parcelas de palma-de-óleo material Avros. A escala de cores a direita representa o número de plantas doentes por parcela.	69

Figura 16: Mapas de distribuição espacial e temporal do Amarelecimento Fatal referentes aos anos de 2008 e 2010 para as 42 parcelas de palma-de-óleo material Avros. A escala de cores a direita representa o número de plantas doentes por parcela	70
Figura 17: Localização do Material Genético Deli x Lamé na fazenda CPA, município de Acará PA.	71
Figura 18: Mapas de distribuição espacial e temporal do Amarelecimento Fatal referentes aos anos de 2003 e 2009 para as 56 parcelas de palma-de-óleo material Deli x Lamé. A escala de cores a direita representa o número de plantas doentes por parcela.....	77
Figura 19: Mapas de distribuição espacial e temporal do Amarelecimento Fatal referentes aos anos de 2012 e 2014 para as 56 parcelas de palma-de-óleo material Deli x Lamé. A escala de cores a direita representa o número de plantas doentes por parcela.....	78
Figura 20: Localização das parcelas de palma-de-óleo do material genético Deli x Lamé (Embrapa), na fazenda CPA, município de Acará/PA, delimitando as duas áreas A ¹ e A ²	79
Figura 21: Mapas de distribuição espacial e temporal do Amarelecimento Fatal referentes aos anos de 2003 e 2009 para as 28 parcelas de palma-de-óleo do material Deli x Lamé (EMBRAPA). A escala de cores a direita representa o número de plantas doentes por parcela.	85
Figura 22: Mapas de distribuição espacial e temporal do Amarelecimento Fatal referentes aos anos de 2012 e 2014 para as 28 parcelas de palma-de-óleo do material Deli x Lamé (EMBRAPA). A escala de cores a direita representa o número de plantas doentes por parcela.	86

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Parâmetros da estatística descritiva da variável número de plantas doentes por parcela, afetadas pelo Amarelecimento Fatal, em parcelas de palma-de-óleo, durante o período de 2001 a 2014, no município de Acará/PA.....	34
Tabela 2 - Parâmetros da estatística descritiva da variável Incidência do Amarelecimento Fatal, em parcelas de palma-de-óleo, durante o período de 2001 a 2014, no município de Acará/PA.	35
Tabela 3: Parâmetros da estatística descritiva da variável produtividade de cacho fresco (t/ha), em parcelas de palma-de-óleo, durante o período de 2001 a 2014, no município de Acará/PA.	37
Tabela 4: Quantidade de plantas de palma-de-óleo infectadas pelo AF, taxa de crescimento da doença e porcentagem de infecção no campo; além dos dados de produção de cacho fresco por ano, em cultivo orgânico no município de Acará-PA.....	37
Tabela 5: Parâmetros da Análise do Índice Global de Moran para a variável número de plantas de palma-de-óleo doentes com Amarelecimento Fatal, por parcela, discriminado pelos anos.....	44
Tabela 6: Número de plantas infectadas pelo AF, taxa de crescimento da doença e porcentagem de infecção da área; além dos dados de produção de cacho fresco por ano, considerando 42 parcelas de palma-de-óleo do material genético Avros, em cultivo orgânico no município de Acará-PA.	63
Tabela 7: Parâmetros da Estatística Descritiva da variável número de plantas afetadas pelo Amarelecimento Fatal por parcela, considerando 42 parcelas do material genético Avros, no município de Acará/PA.....	65
Tabela 8: Parâmetros da Estatística Descritiva da variável Incidência do Amarelecimento Fatal em palma-de-óleo, considerando 42 parcelas do material genético Avros, localizados no município de Acará/PA.....	65
Tabela 9: Parâmetros da Estatística Descritiva da variável produtividade de cacho fresco, em toneladas por ha, considerando 42 parcelas do material genético Avros, localizados no município de Acará/PA.....	66
Tabela 10: Modelos e parâmetros dos semivariogramas ajustados aos dados de plantas afetadas pelo AF, no município de Acará/PA, para o material genético AVROS e os parâmetros da validação cruzada.....	68
Tabela 11: Número de plantas infectadas pelo AF, taxa de crescimento da doença e porcentagem de infecção na área; além dos dados de produção de cacho fresco por ano, considerando as 56 parcelas de palma-de-óleo do material genético Deli Lamé, em cultivo orgânico no município de Acará-PA.	73
Tabela 12: Parâmetros da estatística descritiva da variável número de plantas doentes por parcela, afetadas pelo AF em palma-de-óleo, considerando 56 parcelas do material genético Deli Lamé, localizados no município de Acará/PA.....	73
Tabela 13: Parâmetros da estatística descritiva da variável Taxa de Incidência do Amarelecimento Fatal em palma-de-óleo, considerando 56 parcelas do material genético Deli Lamé, localizados no município de Acará/PA.....	74

Tabela 14: Parâmetros da estatística descritiva da variável produtividade de cacho fresco (t/ha), considerando 56 parcelas de palma-de-óleo, do material genético Deli Lamé, localizados no município de Acará/PA.....	74
Tabela 15: Modelos e parâmetros dos semivariogramas e da validação cruzada, ajustados ao número de plantas afetadas pelo AF por parcela de cultivo, no município de Acará/PA. Para tanto foram considerados 56 parcelas do material genético Deli x Lamé.....	75
Tabela 16: Quantidade de plantas de palma-de-óleo infectadas pelo AF, taxa de crescimento da doença e porcentagem de infecção no campo; além dos dados de produção de cacho fresco por ano, para o material Deli-Lamé (EMBRAPA), área A1	80
Tabela 17: Parâmetros da estatística descritiva da variável número de plantas doentes afetadas pelo AF em cultivo de palma-de-óleo, considerando 28 parcelas do material genético Deli Lamé (EMBRAPA), localizados no município de Acará/PA.....	81
Tabela 18: Parâmetros da estatística descritiva da variável Taxa de Incidência do Amarelecimento Fatal em palma-de-óleo, considerando 28 parcelas do material genético Deli Lamé (EMBRAPA), localizados no município de Acará/PA.....	82
Tabela 19: Parâmetros da estatística descritiva da variável produtividade de cacho fresco (t/ha) em palma-de-óleo, considerando 28 parcelas do material genético Deli Lamé (EMBRAPA), localizados no município de Acará/PA.....	82
Tabela 20: Modelos e parâmetros dos semivariogramas ajustados aos dados de plantas afetadas pelo AF, no município de Acará/PA, considerando o material genético Deli x Lamé (EMBRAPA) e os parâmetros da validação cruzada.....	84
Tabela 21: Modelo de Semivariograma predominante, Classificação predominante do Índice de Dependência Espacial (IDE), Alcance máximo, mínimo e médio, Número de plantas doentes final acumulado (PDA), Número de plantas doentes final acumulado por ha, Infecção acumulada final da doença (IA) e produtividade média máxima em t/ha obtida para cada material genéticos de palma-de-óleo, testados na Fazenda Companhia dos Palmares da Amazonia, Acará PA.	88

LISTA DE ANEXOS

ANEXO 1 - Semivariogramas ajustados para o material genético Avros	94
ANEXO 2 - Semivariogramas ajustados para o material genético Deli x Lamé	96
ANEXO 3 - Semivariogramas ajustados para o material genético Deli x Lamé (EMBRAPA)	98
ANEXO 4 - LISA Mapas de Significância	100
ANEXO 5 - Índice global de Moran (a) e Teste de permutação aleatória por ano (b).	101

ESTUDO DA AUTOCORRELAÇÃO ESPACIAL E DISTRIBUIÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL DO AMARELECIMENTO FATAL EM DIFERENTES MATERIAIS GENÉTICOS DE PALMA-DE-ÓLEO, NA AMAZÔNIA ORIENTAL

RESUMO

A palma-de-óleo (*Elaeis guineensis* Jacq.) é uma cultura agrícola muito importante como fonte de óleo vegetal mundial. Apesar de ainda ser pouco expressiva no país, o Brasil tem um potencial gigantesco de crescimento desta cultura, principalmente na região Amazônica, sem haver a necessidade de desmatamento de novas áreas. Entretanto um dos principais entraves fitossanitários para seu desenvolvimento na região tem sido o Amarelecimento Fatal (AF), doença de causa ainda desconhecida, mas que tem devastado muitas plantações. Desta forma, este trabalho objetivou estudar a evolução da doença em campo, por meio do estudo da dispersão espacial e temporal do AF e da sua autocorrelação espacial, em plantas de palma-de-óleo de diferentes idades e materiais genéticos, em sistema de produção orgânica, no município de Acará/PA. Os materiais genéticos estudados foram Avros, Deli x Lamé e Deli x Lamé (EMBRAPA). As plantas foram monitoradas mensalmente com a finalidade de identificar as atacadas pelo AF. Utilizando o centroide das parcelas foi feito o estudo da distribuição espaço-temporal da variável número de plantas doentes por parcela. Através do Índice de Moran foi possível observar a presença de autocorrelação espacial positiva para esta variável, identificando as áreas de *clusters* de alta e baixa incidência da doença, além de *outliers*. O índice demonstrou ser uma ferramenta promissora nas pesquisas epidemiológicas, auxiliando no estudo e no manejo da doença. Em seguida foi feita uma análise isolando cada material genético. Para os três materiais o modelo de semivariograma que melhor se ajustou foi o Gaussiano, seguido do Esférico e por fim o Exponencial. Isto reforça o conceito do AF apresentar uma causa biótica. O Índice de Dependência Espacial para o material Avros foi predominantemente moderado, enquanto que para os materiais Deli x Lamé e Deli x Lamé (EMBRAPA) foram fortes. O alcance variou entre os materiais, apresentando maior valor médio para o Avros (2.939 metros), seguido pelo Deli-Lamé (2.169 metros) e por fim, 853 metros para Deli-Lamé (Embrapa). Os três materiais genéticos testados, apresentaram distribuição espacial, parâmetros estatísticos e geoestatísticos distintos entre si, sendo considerados susceptíveis ao amarelecimento fatal.

Palavras Chaves: Semivariograma, Índice de Moran, Amazônia Oriental.

STUDY OF SPACIAL AUTOCORRELATION AND SPACE-TEMPORAL DISTRIBUTION OF FATAL YELLOWING IN DIFFERENT OIL PALM GENETIC MATERIALS, IN THE EASTERN AMAZON

ABSTRACT

Oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) is a very important agricultural crop as a source of vegetable oil worldwide. Although it is still not very expressive in the country, Brazil has a gigantic growth potential of this culture, mainly in the Amazon region, without the need for deforestation of new areas. However, one of the main phytosanitary barriers to its development in the region has been Fatal Yellowing (FY), a disease still unknown but has devastated many plantations. In this way, this work aimed to study the spread of the disease in the field, through the study of the spatial and temporal dispersion of FA and its spatial autocorrelation, in oil palm plants of different ages and genetic material, in an organic production system. in the municipality of Acará / PA. The genetic materials studied were Avros, Deli x Lamé and Deli x Lamé (EMBRAPA). The plants were monitored monthly for the purpose of identifying plants attacked by FY. Using the centroid of the plots, the study of the space-time distribution of the number of diseased plants per plot was done. Through the Moran index, it was possible to observe the presence of positive spatial autocorrelation in the area, identifying areas of high and low incidence of disease clusters, as well as outliers. The index has proved to be a promising tool in epidemiological research, assisting in the study and management of the disease. Then a study was done isolating each genetic material. For the three materials, the distribution model that fitted the most was Gaussian, followed by the Spherical and finally the Exponential. This reinforces the concept of FA, has a biotic cause. The Spatial Dependence Index for the Avros material was predominantly moderate, whereas for the materials Deli x Lamé and Deli x Lamé (EMBRAPA) were strong. The range varied between the materials, presenting a higher average value for Avros (2,939 meters), followed by Deli-Lamé (2,169 meters) and, finally, 853 meters for Deli-Lamé (EMBRAPA). The three genetic materials tested showed different spatial distribution, statistical and geostatistical parameters, and were considered susceptible to fatal yellowing.

Keywords: Semivariogram, Moran Index, Eastern Amazonia.

1. CONTEXTUALIZAÇÃO

A palma-de-óleo, *Elaeis guineensis* Jacq. é uma Monocotiledônea, pertencente à família Arecaceae, subfamília Arecoideae. Constitui-se em uma palmeira originária do continente africano, mais especificamente do Golfo de Guiné (CHIA *et al.*, 2009). É a cultura agrícola com o maior potencial de produtividade de óleo vegetal. Em plantios comerciais, ela pode produzir de 5 a 6 toneladas de óleo vegetal por hectare (CORLEY & TINKER, 2003), ficando bem à frente de outras culturas tradicionais como a soja, algodão e girassol. Foi trazida ao Brasil pelos escravos no século XVII, onde se adaptou facilmente ao clima tropical, principalmente nas regiões Norte e Nordeste, devido às similaridades das condições climáticas (TRINDADE *et al.*, 2005).

Com alto teor de óleo nos frutos, entre 55 a 58 %, a palma-de-óleo começa a produzir comercialmente 3 anos após o plantio, atingindo a produtividade máxima entre os 7 e 12 anos. No pico de produção a cultura pode atingir 30 toneladas de cacho/ha/ano, entretanto a partir do décimo sexto ano declina ligeiramente até o final da vida útil comercial, que ocorre por volta dos 25 anos, quando a coleta dos frutos se torna antieconômica, devido à altura alcançada pela palma. (BARCELOS *et al.*, 1995 e LIMA *et al.*, 2002). Do seu fruto são produzidos dois tipos de óleos: o óleo de palma, extraído diretamente do mesocarpo do fruto (polpa) e o óleo de palmiste, extraído de sua amêndoa. Embora provenientes do mesmo fruto, estes óleos apresentam composições químicas e nutricionais bem distintas e utilidade diferentes. O óleo de palma possui sabor característico, intenso e coloração avermelhada, podendo ser utilizado para fins alimentícios, como parte integrante de alimentos industrializados, ou diretamente na culinária nacional, sendo muito utilizado nos estados da Bahia e Pará. O óleo também pode ser usado na indústria na produção de sabão, tintas, detergentes, produtos farmacêuticos, cosméticos, resinas, biodiesel, entre outros produtos. Na indústria óleo-química, o óleo de palmiste, de coloração mais esbranquiçada, tem grande potencial na produção de cosméticos (BARCELOS *et al.*, 1995; BERGER, 2003).

O óleo de palma é a principal fonte de óleo vegetal no mundo, correspondendo a 34% de todo o óleo vegetal consumido. Sua produção concentra-se no continente asiático, sendo a Indonésia e a Malásia os maiores produtores do óleo, juntos correspondendo a aproximadamente 85% da produção mundial (ABRAPALMA 2018). O período entre a colheita dos cachos e processamento na agroindústria deve ser de até 24 h em cultivares de *Elaeis guineensis*, devido ao limite de 3% de acidez no óleo. A acidez do óleo aumenta à

medida que o fruto demora mais a ser processado. O tempo máximo entre colheita e processamento de cachos em cultivares de híbridos interespecíficos pode ser maior, devido à menor taxa de acidificação pós-colheita (JUNIOR *et al.*, 2010).

No Brasil, a exploração industrial da palma-de-óleo iniciou no estado da Bahia, ainda no século XVII. Todavia foi na região Norte do país, especificamente no estado do Pará, que a cultura teve maior expansão, devido a sua uma ótima adaptação às condições edafoclimáticas da região (FURLAN JÚNIOR *et al.*, 2004). O cultivo no estado iniciou em 1970, expandindo rapidamente, sendo os municípios de Tailândia, Moju e Acará os maiores produtores do estado (LEES *et al.*, 2015). O Estado do Pará é o maior produtor nacional de palma-de-óleo, correspondendo a 70% (99.402 ha) da área plantada e 90% (1.486.082 toneladas) da produção nacional de cachos, caracterizando desta forma como uma cultura bastante importante para a região (IBGE-SIDRA, 2018).

A classificação varietal mais importante da palma-de-óleo é baseada na espessura do endocarpo do fruto, a qual é controlada por herança monogênica com interação alélica do tipo codominante. Distingue-se três tipos de plantas: Dura, (homozigotos Sh^+Sh^+) onde os frutos possuem endocarpo espesso, com pouca polpa (mesocarpo); Psífera (homozigotos Sh^-Sh^-) frutos sem endocarpo, geralmente abortivos e Tenera (heterozigotos Sh^+Sh^-) frutos com endocarpo fino e maior proporção de polpa no fruto do que o Dura (RIOS *et al.*, 2012). Geralmente, as plantas Tenera são as mais cultivadas para obtenção de óleo, devido às suas características de alta produção de óleo, devido ao mesocarpo mais espesso, sendo considerada um híbrido intraespecífico entre as variedades Dura e Psífera (FERREIRA *et al.*, 2012).

A cultura da palma-de-óleo é adaptada às condições climáticas típicas de regiões tropicais úmidas, apresentando desta forma algumas exigências como: precipitação anual de 2.000 a 2.500 mm com distribuição regular ao longo do ano e nenhum mês com precipitação inferior a 100 mm; temperaturas máximas média entre 29 a 33° C e mínimas médias entre 22 a 24° C. Por ser uma planta heliófila, normalmente se desenvolve melhor com incidência solar de 1.500 a 2.000 horas por ano ou 5 a 7 horas/dia, além de baixa incidência de ventos fortes (BASTOS *et al.*, 2001; JUNIOR *et al.*, 2010).

Apesar de ainda ser pouco expressiva no Brasil, a palma-de-óleo possui um enorme potencial de crescimento e expansão no país, principalmente na região Amazônica. Visando esta expansão da cultura, em 2010, o Governo Federal lançou O Programa de Produção Sustentável de Óleo de Palma no Brasil, que proíbe terminantemente a derrubada de floresta nativa para produção de palma-de-óleo. No mesmo ano a EMBRAPA

apresentou o Zoneamento Agroecológico da palma-de-óleo, um estudo que visava identificar as áreas do país propícias ao plantio da palma sem impactar o meio ambiente. As áreas efetivamente autorizadas para plantio de palma-de-óleo no Brasil correspondiam às áreas aptas para a cultura e antropizadas até dezembro de 2006, excluídas todas aquelas com restrições legais e ambientais. O somatório das áreas identificadas no Zoneamento da palma-de-óleo foi de 31,8 milhões de hectares (JUNIOR *et al.*, 2010; RAMALHO FILHO *et al.*, 2010).

Como toda cultura agrícola, a palma-de-óleo possui alguns entraves para o seu desenvolvimento, como o ataque de diversas pragas e doenças. No Brasil, um distúrbio de etiologia não determinado, conhecido por Amarelecimento Fatal (AF), tem devastado milhares de hectares de pomares de palma-de-óleo, principalmente no estado do Pará. (BOARI, *et al.*, 2008). Até o momento não foi identificada a causa do mal, o que dificultada a obtenção de um plano de manejo eficiente, sem o qual as perdas econômicas são cada vez maiores. Identificar o agente causal é o primeiro passo para estabelecer medidas de controle e prevenção em zonas de produção. Em meio a tantas incertezas e tentativas fracassadas em descobrir o verdadeiro agente causal do AF, duas correntes científicas surgiram: uma onde a defesa é para uma causa abiótica, onde apenas fatores físico-químicos seriam responsáveis pela anomalia e a outra como causa biótica, existiria a presença de um patógeno ou vetor responsável (VENTURIERI *et al.*, 2009). O uso de materiais genéticos de palma-de-óleo resistentes ou tolerantes ao AF é um dos poucos métodos de controle da doença e um dos mais eficientes.

Inicialmente, o AF se caracteriza pelo leve amarelecimento dos folíolos basais das folhas intermediárias, que evolui para necrose nas extremidades dos folíolos, culminando na secagem total dessas folhas. Outra peculiaridade do AF é a secagem da folha flecha, eventualmente, pode ocorrer a remissão temporária de novas folhas pela planta, seguida do declínio generalizado e morte da mesma (BOARI, *et al.*, 2008). Geralmente, as plantas morrem 7 a 10 meses após o aparecimento dos primeiros sintomas. A partir da morte da folha flecha, não há mais a produção de cachos (VAN SLOBBE, 1991).

Segundo Gyenge *et al.* (1999), para escolha do melhor método de controle de uma praga ou doença é necessário conhecer a sua distribuição espacial. Desta forma, a análise da distribuição espaço-temporal do AF pode favorecer o entendimento sobre a origem e disseminação da doença, pois cada enfermidade possui características próprias. A geoestatística é uma ferramenta que tem sido, nos últimos anos, bastante aplicada para modelar o padrão espaço-temporal e formular hipóteses a respeito do aspecto

epidemiológico de doenças de plantas (CHAREST *et al.*, 2002; FARIAS *et al.*, 2008). Através da geoestatística, é possível determinar a dependência espacial da doença, através da elaboração de semivariogramas que são ajustados a um modelo que fornece o raio de agregação de plantas doentes e, a partir desse semivariograma é feita a elaboração de mapas que mostram como ocorre a expansão da doença na área (LEAL *et al.*, 2010).

1.1 Objetivo Geral

Estudar a autocorrelação e a dispersão espacial e temporal do amarelecimento fatal em diferentes materiais de palma-de-óleo (*Elaeis guineensis* Jacq.), sob o sistema de produção orgânica, no município de Acará, Estado do Pará.

1.2 Objetivos específicos

- Identificar o padrão de distribuição do Amarelecimento Fatal em plantio orgânico, utilizando técnicas da Geoestatística;
- Aplicar o Índice de Moran para estudar a autocorrelação da doença na área;
- Testar a eficiência e a viabilidade do Índice de Moran nos estudos epidemiológicos;
- Identificar a presença de possíveis *clusters* de alta ou baixa incidência da doença na área, além de *outliers*;
- Ajustar os modelos de semivariograma para construção dos mapas de Krigagem para cada material genético.
- Comparar a distribuição espacial e temporal do AF e os parâmetros geoestatísticos entre os diferentes materiais genéticos;
- Correlacionar a incidência da doença com a produtividade de cacho fresco.

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.

BARCELOS, E. *et al.* Coleção Plantar – Dendê. Embrapa – SPI, Brasília. 1995. 67p.

BERGER, K. G. Palm oil. In: TRUGO, L.; FINGLAS, P. M. Encyclopedia of food sciences and nutrition. 2 ed. Amsterdam: Elsevier, 2003, p. 4325-4331.

BASTOS, T. X.; MÜLLER, A. A.; PACHECO, N. A. *et al.* Zoneamento de riscos climáticos para a cultura do dendezeiro no estado do Pará. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.9, n.3, p.564-570. 2001.

BOARI, A. de J. Estudos realizados sobre o amarelecimento fatal do dendezeiro (*Elaeis Guineensis Jacq*). Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2008, 66p.

CHAREST, J. *et al.* *Spatial distribution of Venturia inaequalis airborne ascospores in orchards. Phytopathology*, v. 92, p. 769- 779, 2002.

CHIA, G, S, *et al.*, Repetibilidade da produção de cachos de híbridos interespecíficos entre o caiaué e o dendezeiro, **Acta Amazônica**, v, 39, n, 2, p, 249-254, 2009.

CORLEY, R, H, V,; TINKER, P, B, (Ed.), *The Impacts of Oil Palm on Recent Deforestation and Biodiversity Loss*, Oxford: Blackwell Science, 2003, 608 p,

FARIAS, P. R. S. *et al.* *Spatial analysis of the distribution of Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) *and losses in maize crop productivity using geostatistics. Neotropical Entomology*, v. 37, n. 3. p. 321-327, 2008.

FERREIRA, C. B. B. *et al.* Diversidade genética molecular de progênies de dendezeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, n. 3, p. 378-384, 2012.

FURLAN JÚNIOR, J. *et al.* **A utilização de óleo de palma como componente do biodiesel na Amazônia**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2004. 5 p. (Comunicado Técnico, 103).

GYENGE, J. E.; TRUMPER, E. V.; EDELSTEIN, J. D. *Diseño de planes de muestro con niveles fijos de precisión del pulgón manchador de la alfafa, Therioaphis trifolii* Monell (Homoptera: Aphididae) en Alfafa (*Medicago sativa* L.). **Anais da Sociedade Entomológica do Brasil**, v. 28, n. 4, p. 729-737, 1999.

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.

Junior, R. A. G. *et al.* Bases técnicas para a cultura da palma de óleo integrado na unidade produtiva da agricultura familiar 1ª ed. Belém, PA. Embrapa Amazônia Oriental, 2010. 190p.

LEAL, R.M.; BARBOSA, J.C.; COSTA, M.G.; JUNIOR, J.B.; YAMAMOTO, P.T.; DRAGONE, J. Distribuição espacial de huanglongbing (greening) em citros utilizando a geoestatística. **Revista Brasileira de Fruticultura**, 2010.

LEES, A.C.; MOURA, N.G.; ALMEIDA, A. S.; VIEIRA, I.C.G. *Poor prospects for avian biodiversity in amazonian oil palm*. **PloSone**, v. 10, n. 5, p. e0122432, 2015.

LIMA, S. M. V.; FREITAS FILHO, A. de; CASTRO, A. M. G. de; SOUZA, H. R. de. Desempenho da cadeia produtiva do dendê na Amazônia Legal. Belém: PRODEAM, 2002. 162 p. Trabalho realizado no âmbito do Acordo de Cooperação Técnica SUDAM/OEA, mediante contrato de consultoria com a Fundação de Apoio ao Desenvolvimento da Universidade Federal de Pernambuco-FADE e cooperação técnica da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária-EMBRAPA.

RIOS, S. de A. *et al.* Recursos Genéticos de Palma de Óleo (*Elaeis guineensis* Jacq.) e Caiaué (*Elaeis oleifera* H.B.K.) Cortés). Manaus: Embrapa, 2012. 44 p.

TRINDADE, D. R.; POLTRONIERI, L. S.; FURLAN JÚNIOR, 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, (Ed.), *Pragas e doenças de cultivos amazônicos*, Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2005, p, 439-450.

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

VARGAS, P. F. *Factores que afectan el crecimiento, floración y producción*. In: VALLEJO, G.; FIGUEREDO, P.; ROJAS, L.; MUÑOZ, R.; MENA, E.; CRUZ, R.; GENTY, P.; SANCHES, A.; LOWE, J.; ARAGON, J. *Palma Africana de aceite*. Palmira: ICA, 1978. 455p.

VENTURIERI, A. *et al.* **Relação entre ocorrência do Amarelecimento Fatal do Dendezeiro (*Elaeis guineensis* Jacq.) e variáveis ambientais no estado do Pará**. XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, v. 14, n. 8, p.523-530, abr. 2009.

CAPÍTULO I

APLICAÇÃO DO ÍNDICE DE MORAN NO ESTUDO DA AUTOCORRELAÇÃO ESPACIAL DO AMARELECIMENTO FATAL, EM SISTEMA DE PRODUÇÃO ORGÂNICO DE PALMA-DE-ÓLEO, NA AMAZÔNIA ORIENTAL

RESUMO

O óleo de palma é o óleo vegetal mais consumido no mundo. Sua produção tem um valor econômico-social muito grande, principalmente em regiões em desenvolvimento como a região amazônica. O amarelecimento fatal é uma das principais doenças que atacam a palma-de-óleo no Brasil, principalmente no estado do Pará. Estudar a evolução da doença em campo, e sua correlação entre áreas vizinhas é uma ferramenta que pode auxiliar na mitigação da mesma. Este trabalho objetivou analisar a autocorrelação espacial do amarelecimento fatal na cultura da palma-de-óleo por meio da aplicação do Índice de Moran. O experimento foi realizado na Fazenda Companhia dos Palmares da Amazônia, localizada no município de Acará, estado do Pará, sendo composto por 139 parcelas de palma-de-óleo de diferentes materiais genéticos e idades. A partir do ano de 2001 foi anotado o número de plantas doentes por parcela e utilizado nos cálculos. Observou-se uma autocorrelação positiva da doença no local. Por meio da técnica foi possível identificar a presença de *clusters* de alta incidência a Nordeste e a Centro-Oeste da fazenda e de baixa a Sul e a Norte, além de parcelas *outliers*. O método mostrou-se eficiente na identificação de parcelas chaves no manejo da doença, que eventualmente necessitem de um aumento na frequência do monitoramento, a realização de um tratamento fitossanitário ou até mesmo de sua erradicação.

Palavras Chaves: Óleo de palma, Índice de Moran, Dependência Espacial.

**STUDY OF SPACIAL AUTOCORRELATION OF FATAL YELLOWING,
IN AN OIL PALM ORGANIC PRODUCTION SYSTEM, IN THE EASTERN
AMAZON.**

ABSTRACT

Palm oil is the most consumed vegetable oil in the world. Its production has a very large economic-social value, especially in developing regions such as the Amazon region. Fatal yellowing is one of the main diseases affecting oil palm in Brazil, especially in the state of Pará. To study the evolution of the disease in the field, and the correlation of the disease between neighboring areas is a tool that can help in the mitigation of it. This work has the objective of analyzing the spatial autocorrelation of fatal yellowing in oil palm culture plantations through the application of the Moran Index. The experiment was carried out at “Fazenda Companhia dos Palmares da Amazônia”, located in the municipality of Acará, in the state of Pará, and consists of 139 parcels of oil palm of different genetic material and ages. From the year 2001 the number of plants per parcel was recorded and used in the calculations. A positive autocorrelation of the disease was observed at the field. Through the technique it was possible to identify the presence of clusters of high incidence to the Northeast and the Center-West of the farm and from low to South and North, besides outliers parcels. The method proved to be efficient in the identification of important plots in the management of the disease, which may require an increase in the frequency of monitoring, phytosanitary treatment or even eradication.

Keywords: Palm oil, Moran Index, Spatial Dependence

2. INTRODUÇÃO

A cultura da palma-de-óleo (*Elaeis guineensis* Jacq.) foi introduzida no Brasil na década de 60, trazida da região do Golfo da Guiné, África. A produção mundial de óleo de palma atingiu cerca de 58 milhões de toneladas no ano de 2014. No mundo a cultura ocupa 8% das terras alocadas para o cultivo de oleaginosas e ocupa quase um terço da produção global de óleos vegetais (ABRAPALMA, 2015). Segundo dados da FAPESPA (2015) no Brasil a área cultivada é cerca de 170 mil hectares, sendo o Estado do Pará o maior produtor nacional, responsável por 83% dessa produção. Entre as inúmeras pragas e doenças que atacam a cultura da palma-de-óleo, o Amarelecimento Fatal (AF) tem preocupado muitos produtores. O AF é responsável por grandes perdas para a cultura em países produtores como o Brasil, Colômbia, Equador, Suriname, Costa Rica, Nicarágua e Panamá (DE FRANQUEVILLE, 2003; TORRES *et al.*, 2016).

A caracterização espacial da doença na área de cultivo é de suma importância para avaliar os fatores que interferem na sua evolução e disseminação no tempo e no espaço (NELSON *et al.*, 1999; LARKIN *et al.*, 1995; FRANKE *et al.*, 2009). De acordo com Alves *et al.*, (2006), a geoestatística tem sido aplicada para modelar o padrão espaço-temporal e gerar hipóteses sobre aspectos epidemiológicos de doenças de plantas devido ao padrão agregado do inóculo e de determinada doença. Modelos espaço-temporais para mapeamento de doenças, utilizando dados de área, se tornaram muito populares em epidemiologia. Frequentemente, o atributo de interesse em estudos deste tipo é o número de casos de uma determinada doença, e o objetivo dos modelos é estimar o risco relativo da doença em cada área e período de tempo. A análise espacial para dados deste tipo configura-se em métodos de análise cuja localização está associada a áreas delimitadas por polígonos, por exemplo, eventos de interesse em municípios, bairros, setores censitários, ou mesmos dados agrícolas como produtividade de parcelas, dados meteorológicos, onde não se dispõe da localização exata do evento e sim de valores para cada área em que ocorreram (ARAÚJO *et al.*, 2014; DOMINGUES, 2017).

O objetivo do presente trabalho foi estudar a autocorrelação espacial do Amarelecimento Fatal em parcelas de palma-de-óleo no município de Acará/PA, a fim de identificar regiões de maior e menor incidência da doença através da aplicação do Índice de Moran.

2.1 MATERIAL E MÉTODOS

2.1.1 Descrição da área de Estudo

O experimento foi realizado na Fazenda Companhia Palmares da Amazônia (CPA), pertencente ao grupo AGROPALMA S/A, localizada no município de Acará a Noroeste do estado do Pará, e coordenadas geográficas centrais $2^{\circ}15'25.40''\text{S}$; $48^{\circ}37'27.26''\text{W}$. O clima da região segundo Köppen é o Ami com maiores precipitações nos meses de janeiro a maio e menores entre agosto e novembro. A temperatura média anual é de aproximadamente 26°C e a umidade relativa do ar de 80%. O solo predominante área é o Latossolo Amarelo, textura média-argilosa (EMBRAPA, 2013).

A fazenda CPA apresenta dois sistemas de produção de palma-de-óleo: o orgânico, alvo do nosso estudo, localizado mais ao norte e o convencional, localizado mais ao Sul, conforme figura 1.

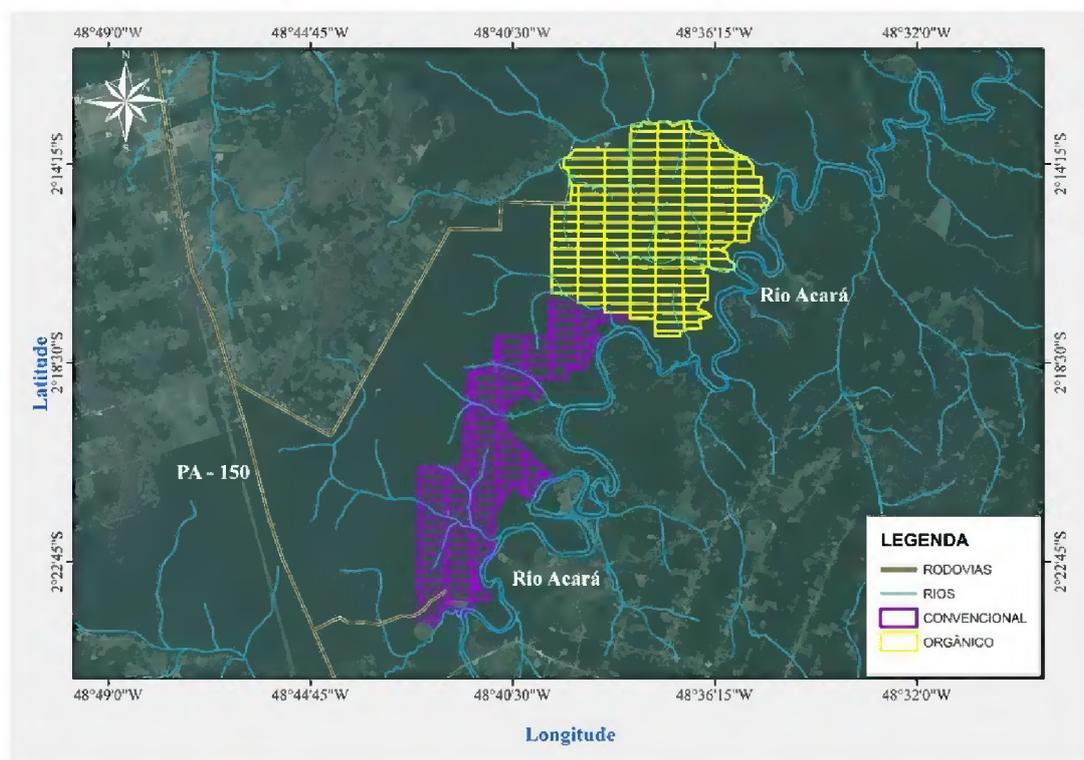


Figura 1: Fazenda Companhia Palmares da Amazônia, mostrando o sistema de produção orgânico e o convencional, localizada no município de Acará/PA (Fonte: Autor, 2018).

2.1.2 Descrição do Experimento

O experimento consta com em 139 talhões (parcelas), sendo identificadas por uma simbologia alfanumérica, onde as letras variaram de “A” ao “H”. O tamanho das parcelas variou conforme a sua localização e disposição em campo, mas apresentou um tamanho médio de 30 ha, totalizando 4.107,25 ha. As mudas de palma-de-óleo foram plantadas em formato de triângulo equilátero, distantes uma das outras em 9 metros (Figura 2). O plantio das mudas iniciou em 1988 sendo gradativo ao longo dos anos (Figura 3).

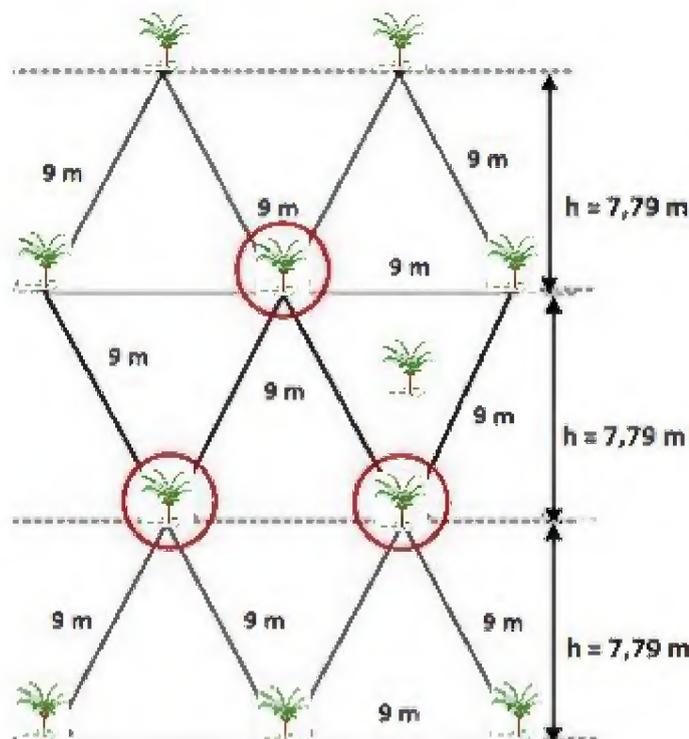


Figura 2: Esquema do plantio de palma-de-óleo realizado no experimento, em sistema de triângulo equilátero com espaçamento de 9 metros, município de Acará/PA (Autor, 2018).

A partir do ano de 2001 foi iniciado o monitoramento do Amarelecimento Fatal na fazenda, onde mensalmente um grupo de pessoas treinadas (pragueiros), analisava planta por planta, a fim de identificar qualquer praga, doença ou anomalia no pomar, inclusive o AF. Plantas identificadas com sintoma de AF eram registradas, anotando-se sua localização e a data da observação, formando o banco de dados do estudo. Plantas muito infectadas com a doença eram erradicadas, e a data da erradicação, anotado. Foram utilizados também os dados de produção de cacho fresco por parcela.

Nos primeiros plantios de 1988 a 2001, foram utilizados três materiais genéticos: Avros, Deli x Lamé e Deli x Lamé (EMBRAPA). Foram utilizadas na área 10 variedades do Deli x Lamé sendo elas: C1001F, C2001, C7701, C2023, C2501, C3701, C1101F,

C2001, C2310 e C2528; e para o material Deli x Lamé (EMBRAPA) apenas duas: C2301 e C2501. Algumas parcelas foram compostas por mais de um material genético, sendo denominadas de “mistura”.

Como nenhum dos três materiais genéticos é resistente ao AF muitas plantas morreram devido a doença, ou foram erradicadas, devido a anomalia ou à idade avançada. Em 2011, todo o material Avros foi erradicado devido à queda na produtividade ocasionada por uma associação de fatores, reduzindo a área do experimento para 96 parcelas. No mesmo ano, iniciou-se o replantio de algumas áreas, onde parcelas inteiras foram renovadas com o híbrido interespecífico Coari considerado resistente ao AF. Os dados deste material não foram utilizados no trabalho. Em 2015 outra grande erradicação foi realizada na fazenda, tornando inviável a continuação do estudo na área.

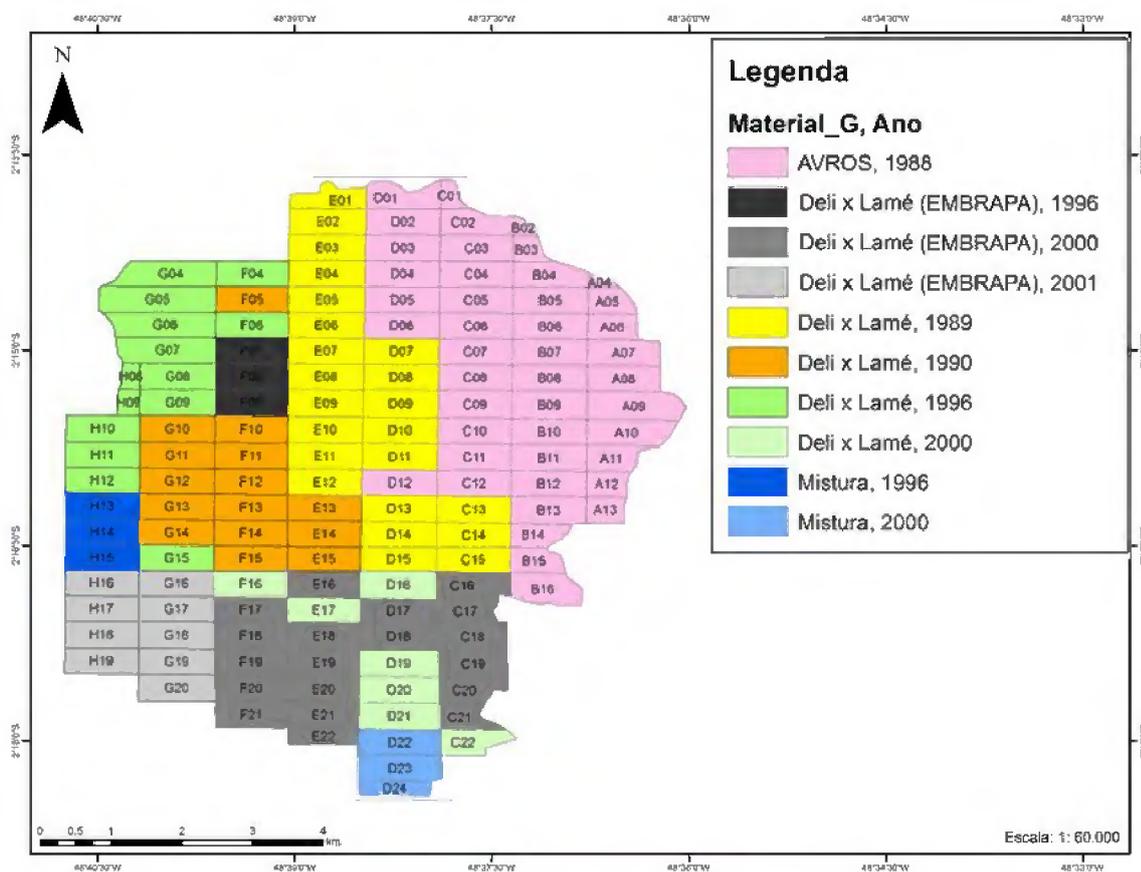


Figura 3: Mapa com os Materiais Genéticos de palma-de-óleo utilizado no experimento até o ano de 2010: Avros, Deli x Lamé e Deli x Lamé (EMBRAPA) e seus respectivos anos de plantio (Fonte: Autor, 2018).

Com base nos dados coletados foram calculados os seguintes parâmetros:

- **PDN:** Constituído pelo número de novas plantas doentes identificadas por ano.
- **PDA:** Representado pelo número de plantas doentes acumulada, ou seja, resultado da soma do número de novas plantas doente de um ano mais o número de plantas doentes do ano anterior.
- **PDA/ha:** Resultado da divisão do PDA pela área total ocupada pelo material analisado em ha.
- **TC:** Taxa de Crescimento, representa o crescimento do PDA de um ano para o ano seguinte, dada em porcentagem.
- **IA:** Incidência da Doença Acumulada (IA) – representa a porcentagem da população infectada, com base no PDA de cada ano.
- **Produção Total** – Quantidade de cacho fresco produzido anualmente por parcela, medido em toneladas (t).
- **Produtividade** - Quantidade de cacho fresco produzido por área, medido em toneladas por hectare (t/ha).

Estes parâmetros foram calculados para cada ano de estudo e por parcela de plantio, durante o período de 2001 a 2014. Foi realizado também uma Correlação de Pearson entre as variáveis incidência da doença e produtividade, pelo software STATISTICA 7.0, para estudar o efeito da doença na produção da cultura.

Na figura 4 é apresentado plantas de palma-de-óleo da Fazenda Cia do Palmares da Amazônia com os sintomas já descritos do Amarelecimento Fatal.

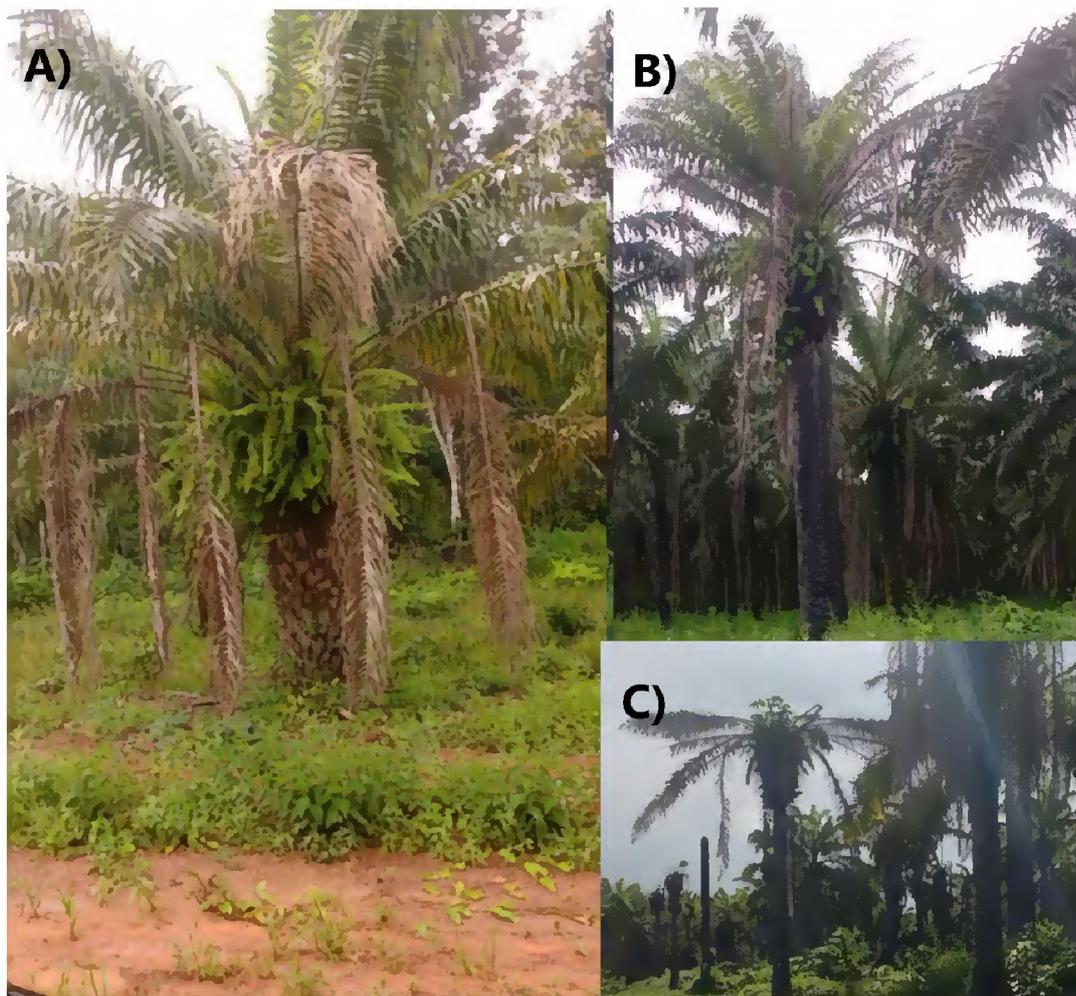


Figura 4: Plantas de palma-de-óleo com sintomas de Amarelecimento Fatal, na fazenda Companhia dos Palmares da Amazônia, município de Acará/PA; **A)** e **B)** Amarelecimento das Folhas e Folíolos; **C)** Morte da folha flecha e morte da planta. (Fonte: Autor, 2018).

2.1.3 Análise Estatística Descritiva

Foi feita análise estatística descritiva dos dados de número de plantas doentes, incidência da doença e produtividade de fruto fresco (t/ha) por parcela ano pelo software STATISTICA 7.0. Foram analisadas as seguintes variáveis: média, valor máximo, mínimo, coeficiente de variação, curtose, assimetria.

2.1.4 Autocorrelação Espacial e Matriz de Vizinhaça

De acordo com Câmara *et al.* (2004), um aspecto fundamental da análise exploratória espacial é a caracterização da dependência espacial, mostrando como os valores estão correlacionados no espaço. A estrutura de dependência entre os valores observados nas diversas áreas do fenômeno em estudo é analisada pela função de autocorrelação espacial. A autocorrelação mede a correlação da variável consigo mesma

no espaço. A correlação de uma variável com ela mesma, medida no mesmo local, assume valor igual a 1 (um). Entretanto, a correlação de uma variável com ela mesma cujos dados são amostrados em áreas vizinhas, assume um valor entre -1 e +1. Quanto mais próximo de 1 (um), maior a semelhança entre vizinhos, o valor 0 (zero) indica inexistência de correlação, e valores negativos indicam dessemelhança, segundo Santos & Souza (2007).

Uma técnica importante para a análise espacial de área é a construção de uma matriz de vizinhança, que também pode ser chamada de matriz de distância, matriz de conectividade ou matriz de proximidade. Esta matriz de vizinhança aponta a relação espacial de cada área do estudo, podendo ser ligada pela lista de vizinhos de cada polígono, pela distância entre eles, e também pela conectividade ponderada pelo comprimento da fronteira comum. A maneira mais comum para quantificar a estrutura de dependência espacial é utilizando a matriz de peso espacial. Por exemplo, para calcular um conjunto de n áreas $\{A_1, \dots, A_n\}$, pode-se construir a matriz $W^{(1)}(n \times n)$, em que cada um dos elementos W_{ij} é uma medida de proximidade entre A_i e A_j (ARAÚJO *et al.*, 2014).

Para o desenvolvimento da modelagem estatística espacial, utilizou-se o Índice Global de Moran (I) e o local (LISA), com a finalidade de estimar o nível de autocorrelação espacial entre as áreas (parcelas). O Índice de Moran, pode ser determinado pela equação I:

$$I = \frac{n \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n z_i z_j w_{ij}}{S_0 \sum_{i=1}^n z_i^2} \quad (\text{I})$$

em que,

n = número de populações (n polígonos);

$z_i = (x_i - \bar{x})$, e $z_j = (x_j - \bar{x})$ para $i \neq j = 1, \dots, n$ - Valores observados das populações i e j centradas na média da variável X em estudo; w_{ij} é o elemento da matriz de proximidade W , $n \times n$, a qual expressa a relação espacial entre as n populações, e S_0 é definida pela equação (II):

$$S_0 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} \quad (\text{II})$$

O índice I pode variar entre -1 e 1. Valores positivos representam correlação positiva, valores negativos indicam correlação negativa. Valores nulos indicam ausência de correlação espacial, quanto mais próximo dos valores inteiros 1 ou -1 mais forte será a dependência.

Ao associar a matriz de vizinhança com dependência espacial, pressupõe-se que o grau de dependência seja negativamente relacionado com a distância (CÂMARA et. al, 2004). Em outras palavras, assume-se que a intensidade da dependência espacial diminui à medida que a distância entre as unidades aumenta. De acordo com Câmara & Monteiro (2004) e Anselin *et al.* (2007), cada elemento w_{ij} da matriz de proximidade espacial W representa uma medida de proximidade entre as populações (polígonos) A_i e A_j , a qual pode ser calculada a partir de um dos seguintes critérios:

A) CONTIGUIDADE: medidas de contiguidade necessitam de informações sobre o tamanho e forma das unidades regionais; simplificando, pode-se associar contiguidade com regiões que possuem fronteira em comum, sendo que essas fronteiras podem ser definida de três maneiras distintas. A figura 5 exibe as três possíveis estruturas de vizinhança:

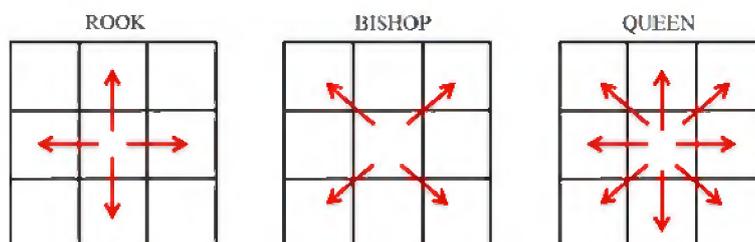


Figura 5: Estruturas de vizinhança; Matriz de Contingência. Fonte: (DOMINGUES, 2017).

(i) Torre/Rook: considera como vizinhas as unidades que possuem fronteiras comuns, em que a unidade vizinha é definida da forma $w_{ij} = 1$, caso contrário $w_{ij} = 0$.

(ii) Bispo/Bishop: considera como vizinhas as unidades que possuem vértices comuns, em que a unidade vizinha é definida da forma $w_{ij} = 1$, caso contrário $w_{ij} = 0$.

(iii) Rainha/Queen: considera como vizinhas as unidades que possuem fronteiras ou vértices comuns, em que a unidade vizinha é definida da forma $w_{ij} = 1$, caso contrário $w_{ij} = 0$.

B) DISTÂNCIA: neste tipo de matriz de vizinhança considera-se um raio de distância ou número de vizinhos mais próximos, os k primeiros com $k \in \mathbb{N}$. Os principais critérios definidos são:

(I) $w_{ij} = 1$, se o centroide de A_i está a uma determinada distância δ de A_j ; caso contrário $w_{ij} = 0$.

(II) Para k vizinhos mais próximos, $k \in \mathbb{N}$, $w_{ij}(k) = 0$ se $i = j$; $w_{ij}(k) = 1$ se $w_{ij}(k) \leq \delta_i(k)$, e $w_{ij}(k) = 0$ se $d_{ij}(k) > \delta_i(k)$, onde d_{ij} representa a distância, medida entre os centroides das áreas A_i e A_j ; $\delta_i(k)$ é um valor crítico definido previamente de forma que seja um critério para considerar as áreas como vizinhas a área A_i .

2.1.5 Índice Local de Moran (LISA)

Com o intuito de examinar padrões em maior detalhe, foi utilizado o Índice Local de Moran, pois produz um valor específico para cada área, permitindo assim a identificação de *clusters* espaciais. Segundo Celebioglu & Dall'erba (2009), a estatística *LISA*, ou índice local de Moran, pode ser expresso por I_i , representado pela equação (III):

$$I_i = \frac{x_i - \mu}{\sigma_0^2} \sum_{j=1}^n w_{ij} (x_j - \mu), \quad i = 1, \dots, n \quad (\text{III})$$

em que,

σ_0^2 : variância populacional da variável em estudo das n parcelas;

x_i : observação de uma variável de interesse na parcela i , e

μ : média das n parcelas (populações)

A estatística *LISA* I_i , para $i = 1, \dots, n$, pode ser interpretada da seguinte forma: valores positivos de I_i significam que existem agrupamentos espaciais com valores similares (alto ou baixo); valores negativos significam que existem agrupamentos espaciais com valores diferentes entre as regiões e seus vizinhos (ARAÚJO *et al.*, 2013).

A significância do índice de Moran Global e Local, segundo Nicolau *et al.* (2009), pode ser abordada por um teste de pseudo-significância, onde são geradas diferentes permutações dos valores de atributos associados às regiões. Cada permutação produz um novo arranjo espacial, onde os valores estão redistribuídos entre as áreas. Como apenas um dos arranjos corresponde à situação observada, pode-se construir uma distribuição empírica de I . Equivale-se fazer inúmeras permutações com valores de incidência da doença, atribuindo aleatoriamente às parcelas e calculando o Índice de Moran para cada uma destas permutações aleatórias; por exemplo, se fizermos isso 999 vezes, obteríamos 999 valores para o Índice de Moran, mais o valor do índice construído originalmente com os dados observados. Com estes 1000 valores de I , poderíamos construir uma distribuição do índice. Se o valor de I observado estiver na extremidade da distribuição (p -valor $< 0,001$), rejeitamos a hipótese nula de que não há autocorrelação espacial, ou seja, os dados estão agregados. Câmara *et al.* (2004) afirmam que essa técnica permite visualizar graficamente,

através do diagrama de espalhamento de Moran (*Moran Scatter Plot*), o grau de similaridade entre vizinhos. Coloca-se no eixo X o valor do indicador da área A_i normalizado e no eixo Y o valor da estatística de Moran somente entre os vizinhos de A_i (média dos vizinhos). Cada quadrante corresponde a um tipo diferente de correlação espacial; a figura 6 representa o Diagrama de Espalhamento de Moran.

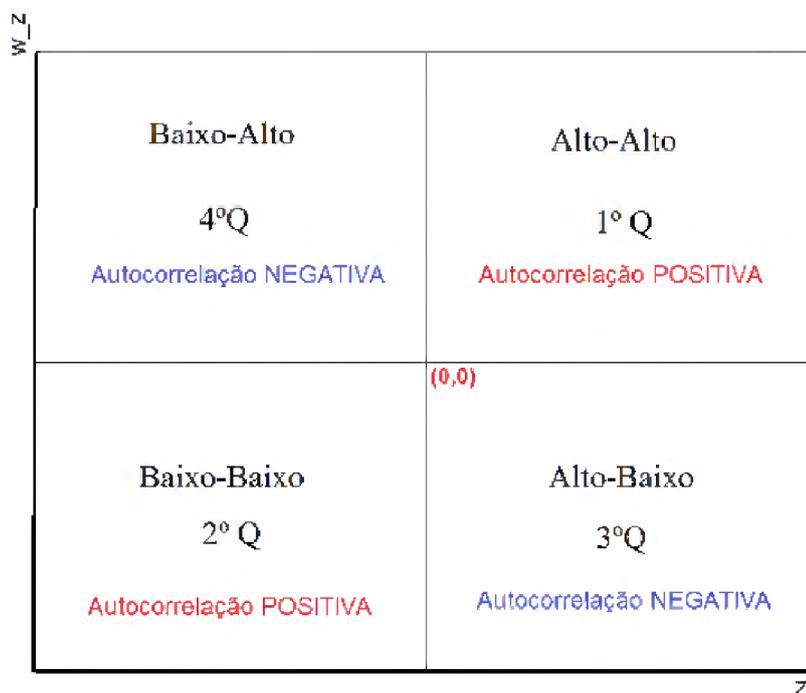


Figura 6: Diagrama de Espalhamento de Moran, localização dos quadrantes; **Fonte:** (DOMINGUES, 2017).

Os quatro quadrantes são definidos por: Q1: Alto-Alto (*High-High*) e Q2: Baixo-Baixo (*Low-Low*) para autocorrelação espacial positiva, no sentido que uma localização possui vizinhos com valores semelhantes, ou seja, os pontos localizados nestes quadrantes, indicam áreas onde o valor médio do atributo se assemelha a média dos vizinhos; Q4: Baixo-Alto (*Low-High*) e Q3: Alto-Baixo (*High-Low*) para autocorrelação espacial negativa, no sentido que uma localização possui vizinhos com valores distintos, ou seja, as áreas localizadas nestes quadrantes podem ser vistas como extremos, uma vez que não seguem o padrão observado em seus vizinhos (DOMINGUES, 2017). Segundo Anselin (2005), as áreas classificadas nos quadrantes Alto-Alto e Baixo-Baixo, com autocorrelação espacial local positiva indicam aglomerados espaciais, conhecidos por *clusters*, enquanto o Alto-Baixo e Baixo-Alto, autocorrelação espacial local negativa, são de valores atípicos espaciais, *outliers*. Os cálculos de autocorrelação espacial, Índice Global e Local de Moran foram realizados usando o *software* Geoda.

2.2 RESULTADOS E DISCUSSÃO

2.2.1 Estatística Descritiva

Inicialmente foi feita a estatística descritiva das variáveis número de plantas doentes, incidência da doença e produtividade de cacho fresco (t/ha) por parcela (PIMENTEL GOMES, 2000). Ao analisar os parâmetros estatísticos da variável número de plantas doentes por parcela (tabela 1), observa-se que a média apresentou valores crescentes com o passar dos anos. O valor mínimo obtido sempre foi zero, ou seja, por mais que a doença tenha se propagado na área, pelo menos uma parcela nunca foi infectada. Enquanto algumas parcelas foram pouco infectadas outras apresentaram valores muito altos, a exemplo do valor máximo obtido no ano de 2014, de 1916 plantas doentes. Isso refletiu no coeficiente de variação, que apresentou valores extremamente altos, variando de 142,79 a 436,7%. Observa-se que a partir do ano de 2011 a doença apresentou um crescimento vertiginoso, demonstrado pelos parâmetros média e valor máximo. A assimetria apresentou valores positivos e maiores que 1, o que demonstra que os dados estão deslocados a esquerda. Com relação aos coeficientes de curtose, que é o grau de achatamento da curva de distribuição, a variável apresentou distribuição mais alta (afunilada).

Tabela 1: Parâmetros da estatística descritiva da variável número de plantas doentes por parcela, afetadas pelo Amarelecimento Fatal, em parcelas de palma-de-óleo, durante o período de 2001 a 2014, no município de Acará/PA.

Parâmetros da Estatística Descritiva							
Ano	Nº	Valor			CV	Dispersão ¹	
		Média	Mínimo	Máximo		Assimetria	Curtose
2001	139	0.35	0	4	205,40	2,48	6,98
2002	139	0.91	0	7	157,28	2,16	5,30
2003	139	1.45	0	9	142,79	1,67	2,26
2004	139	1.84	0	10	142,50	1,67	2,01
2005	139	2.27	0	14	143,59	1,76	2,53
2006	139	2.71	0	17	141,82	1,78	2,60
2007	139	3.29	0	20	139,97	1,78	2,53
2008	139	3.91	0	21	131,79	1,55	1,63
2009	139	4.94	0	24	122,95	1,36	1,03
2010	139	7.07	0	166	224,84	7,64	73,31
2011	96	20.55	0	569	436,76	5,50	30,03
2012	96	43.95	0	733	317,01	4,13	16,58
2013	96	88.31	0	1725	262,79	4,69	27,32
2014	96	154.78	0	1916	182,40	3,36	15,75

¹ Dispersão = CV: Coeficiente de Variação (%), Nº = Número de parcelas analisadas, (Fonte: Autor, 2018).

A incidência da doença, foi calculada pela razão entre o número de plantas doentes e o total de plantas por parcela, e transformada em porcentagem. Ao analisar a estatística descritiva dessa variável (tabela 2), observa-se um comportamento similar ao de plantas doentes, como já era esperado. A média apresentou valores crescentes ao longo do período, principalmente a partir de 2011, variando de 0,01% a 3,76%. Observa-se a severidade da doença ao analisar os valores máximos obtidos, sendo que no ano de 2014 quase metade das plantas de uma parcela, a F16, apresentava sintomas da doença (43,12%). O coeficiente de variação apresentou valores extremamente altos, oscilando entre 126,77 e 530,46%. A assimetria apresentou valores positivos maiores que 1, o que demonstra que a distribuição dos dados está deslocada à esquerda na curva; já o coeficiente de curtose, apresentou distribuição de uma curva mais alta (afunilada).

Tabela 2 - Parâmetros da estatística descritiva da variável Incidência do Amarelecimento Fatal, em parcelas de palma-de-óleo, durante o período de 2001 a 2014, no município de Acará/PA.

Parâmetros da Estatística Descritiva							
Ano	Nº	Valor			Dispersão		
		Média	Mínimo	Máximo	CV	Assimetria	Curtose
2001	139	0.01	0.00	0.08	202.79	2.31	5.57
2002	139	0.02	0.00	0.14	152.656	1.93	3.81
2003	139	0.03	0.00	0.19	136.17	1.50	1.68
2004	139	0.04	0.00	0.21	133.35	1.42	1.11
2005	139	0.05	0.00	0.32	135.55	1.62	2.20
2006	139	0.06	0.00	0.35	132.29	1.51	1.63
2007	139	0.08	0.00	0.41	130.12	1.54	1.72
2008	139	0.09	0.00	0.46	126.77	1.38	1.04
2009	139	0.13	0.00	1.27	142.87	3.10	14.71
2010	139	0.21	0.00	8.79	368.70	10.56	119.09
2011	96	0.63	0.00	29.40	530.46	7.56	62.21
2012	96	1.19	0.00	34.06	363.97	5.67	37.03
2013	96	2.23	0.00	39.79	279.28	4.76	25.25
2014	96	3.76	0.00	43.12	192.84	3.69	16.86

Dispersão = CV: Coeficiente de Variação (%), Nº = Número de parcelas analisadas, (Fonte: Autor, 2018).

Apesar da produtividade ter diminuído em muitas parcelas com o passar dos anos devido ao aumento da infestação da doença na área, essa tendência não foi tão expressiva no cálculo da média de produtividade entre todas as parcelas, devido a diferença de idades das mesmas (tabela 3). Enquanto algumas parcelas tiveram uma tendência de queda com o tempo, outras aumentaram, pois ainda eram muito novas e estavam em fase de crescimento. Estas parcelas não haviam atingindo ainda a produtividade máxima que segundo Lima et al. (2010), pode ser atingida entre 8 e 12 anos de idade. Mesmo assim, observa-se uma ligeira queda na produtividade média a partir do ano de 2011, período este que coincide com o crescimento da

doença. Ao analisar o valor mínimo de produtividade, observa-se que este parâmetro aumentou até o ano de 2011, a partir deste ano apresentou uma tendência de redução, onde os menores valores de produtividade foram observados nas parcelas de maior incidência da doença, a exemplo da parcela F16 que atingiu uma taxa de infecção de 43,12% e uma produtividade de apenas 10,59 t/ha no ano de 2014. O Coeficiente de Variação foi considerado alto, variando de 10,94 a 67,5%. A assimetria predominou valores negativos e menores que 1, o que demonstra que os dados estão deslocados levemente a direita. Com relação ao coeficiente de curtose, a variável apresentou inicialmente uma distribuição mais "achatada" que a distribuição normal, denominada distribuição platicúrtica; alterando para uma distribuição mais "afunilada" a partir de 2011.

Os coeficientes de correlação de Pearson entre as variáveis incidência da doença e produtividade, apresentados na tabela 3, demonstraram uma tendência de queda dos valores. Na primeira década do estudo quando ainda havia poucas plantas com a doença, houve predomínio de valores positivos, significantes, porém baixos. Nesse período a idade da cultura provavelmente tenha influenciado mais na produtividade do que a própria incidência da doença. O valor do coeficiente foi positivo porque a doença, apesar da baixa incidência, predominava nas parcelas mais antigas, que já haviam atingido a fase adulta, logo produziam mais. Com o avanço da doença notou-se que os valores do coeficiente foram diminuindo, ficando próximos a zero (não significantes), seguido de valores negativos crescentes (significativos). Algumas parcelas que apresentaram elevada incidência da doença, quando analisadas individualmente, apresentaram forte redução de sua produtividade, porém este efeito não é notado na análise geral da área. Nos anos de 2013 e 2014 foram observados os maiores valores negativos do coeficiente, porém são valores baixos, sendo classificados como uma correlação fraca, ou seja, nos anos de maior incidência da doença houve um efeito negativo na produtividade, porém de intensidade fraca. O nível de significância utilizado foi de 5%.

Com base na tabela 4, observa-se que no ano de 2001, quando se iniciou as observações de campo foram identificadas 48 plantas doentes, de um total de 586.899 plantas. Em 2010, uma década após o início do monitoramento, apenas 983 plantas haviam sido infectadas pela doença, ou 0,167% das plantas da fazenda, um crescimento considerado baixo. A partir de 2011 a doença apresentou um crescimento alarmante atingindo o valor de 14.859 plantas infectadas em 2014, equivalendo a uma taxa de infecção de 3,6% ou a 5,15 plantas doentes por ha.

Tabela 3: Parâmetros da estatística descritiva da variável produtividade de cacho fresco (t/ha), em parcelas de palma-de-óleo e coeficiente de correlação de Pearson entre as variáveis produtividade e incidência da doença, durante o período de 2001 a 2014, no município de Acará/PA.

Parâmetros da Estatística Descritiva								
Ano	N°	Valor			Dispersão ²			Correlação ¹
		Média	Mínimo	Máximo	CV	Assimetria	Curtose	
2001	139	18.94	0.00	35.16	67.52	-0.57	-1.35	0.325*
2002	139	19.00	0.00	35.09	64.64	-0.74	-1.14	0.336*
2003	139	15.84	0.02	30.80	62.01	-0.66	-1.14	0.303*
2004	139	19.30	2.39	33.74	50.92	-0.67	-1.13	0.360*
2005	139	19.99	4.70	35.83	39.61	-0.65	-0.98	0.460*
2006	139	22.86	10.51	32.77	26.66	-0.59	-1.01	0.313*
2007	139	18.72	8.09	30.78	30.89	-0.13	-1.14	0.153 ^{ns}
2008	139	20.47	9.46	41.65	33.87	0.47	-0.82	-0.226*
2009	139	19.62	8.77	34.36	25.57	-0.04	-0.20	0.127 ^{ns}
2010	139	19.34	8.90	35.54	29.50	0.56	-0.08	0.038 ^{ns}
2011	96	21.70	13.93	26.85	10.94	-0.43	0.70	-0.067 ^{ns}
2012	96	19.42	9.30	25.45	15.04	-0.75	1.38	-0.299*
2013	96	19.68	4.42	29.02	25.04	-0.54	0.64	-0.413*
2014	96	20.26	3.98	32.11	25.22	-0.52	0.71	-0.439*

¹ Correlação = Ns: Não significativo ($P > 0,05$), *Significativo ao nível de 5% de probabilidade ($0,05 \leq P$)

² Dispersão = CV: Coeficiente de Variação (%), N° = Número de parcelas analisadas; (Fonte: Autor, 2018)

Tabela 4: Quantidade de plantas de palma-de-óleo infectadas pelo AF, taxa de crescimento da doença e porcentagem de infecção no campo; além dos dados de produção de cacho fresco por ano, em cultivo orgânico no município de Acará-PA.

Ano	Plantas Doentes					Produção		Plantas Total	Área (ha)
	PDN	PDA	PDA (ha)	TC (%)	IA (%)	Total (t)	Área (t/ha)		
2001	48	48	0,01	100	0.008	77638	18,94	586.899	4.104
2002	79	127	0,03	165	0.022	77828	19,00	586.899	4.104
2003	74	201	0,05	58	0.034	64552	15,84	586.899	4.104
2004	55	256	0,06	27	0.043	78684	19,30	586.899	4.104
2005	59	315	0,08	23	0.054	82048	19,99	586.899	4.104
2006	61	376	0,09	19	0.064	93690	22,86	586.899	4.104
2007	142	457	0,11	22	0.078	76250	18,72	586.899	4.104
2008	87	544	0,13	19	0.093	83791	20,47	586.899	4.104
2009	143	687	0,17	26	0.12	80358	19,62	586.899	4.104
2010	296	983	0,24	43	0.167	80349	19,34	586.899	4.104
2011	990	1.973	0,68	101	0.478	62987	21,70	412.439	2.884
2012	2.246	4.219	1,46	114	1.023	56262	19,42	412.439	2.884
2013	4.259	8.478	2,94	101	2.056	57252	19,68	412.439	2.884
2014	6.381	14.859	5,15	75	3.603	58175	20,26	412.439	2.884

Plantas Doentes¹ - PDN: Número de novas plantas doentes por ano, PDA: Número de plantas doentes acumulado, PDA (ha): Número de plantas doentes por ha, TC: Taxa de crescimento de plantas doentes (%), IA: Incidência da doença acumulada (%), (Fonte: Autor, 2018).

Na literatura é comum encontrar trabalhos relacionando a incidência do amarelecimento fatal com parâmetros ambientais. Venturieri et. al (2009) analisaram variáveis ambientais no sentido de explicar a ocorrência e distribuição do AF. Estas variáveis, inseridas em um sistema de informação geográfica (SIG), foram correlacionadas com áreas de plantio de palma-de-óleo do estado do Pará, com e sem a presença do AF. No trabalho a variável balanço hídrico apresentou elevada correlação negativa com o surgimento do amarelecimento fatal. Além disso, regiões com leve deficiência hídrica não foram observados casos do amarelecimento fatal, indicando dessa forma regiões com melhores condições para a expansão da cultura no Estado do Pará. Ainda segundo o mesmo autor, a má drenagem do solo em determinada época do ano pode induzir fragilidade das plantas. Desse modo, fatores abióticos, como excesso de chuva, ou encharcamento do solo, podem ser facilitadores ou até mesmo fatores essenciais para fragilizar a palma-de-óleo e deixá-la susceptível ao AF.

Moraes *et al.* (2011) compararam as condições agrometeorológicas de cidades produtoras de palma-de-óleo no estado do Pará com dados de ocorrência de AF, durante os anos de 2005 a 2006. Os autores concluíram que, no período de maior oferta pluvial em cultivos de palma, houve maior incidência do AF, indicando possíveis efeitos da umidade do solo, associadas a essa enfermidade.

Dois trabalhos já foram realizados na Fazenda Cia Palmares da Amazônia com objetivo de estudar a relação entre variáveis ambientais e ocorrência do AF, Araújo, 2016 e Amaral, 2016. Araújo, 2016 concluiu que a insolação e a precipitação influenciam diretamente na incidência do AF, enquanto Amaral, 2016, observou que durante o período de menores índices pluviométricos e maior insolação, haviam maior ocorrência de novas plantas doentes, quando comparados com períodos úmidos. Isso porque as plantas externavam os sintomas da doença mais facilmente nos períodos secos, enquanto que no período com maior precipitação, a partir de dezembro, as plantas ficam mais vigorosas.

2.2 Análise de autocorrelação espacial

2.2.1 Antes da primeira erradicação

Foi calculado o Índice Global de Moran com o intuito de analisar a autocorrelação espacial da doença na área. O valor mais baixo encontrado para o Índice foi no ano de 2001 ($I = 0,1925$). Neste período a doença ainda estava no começo da sua dispersão, apresentando uma dependência espacial menor. Conforme a doença foi se expandindo, a

agregação da sua distribuição foi crescendo, representado pelo valor do Índice de Moran, que foi de 0,5044, em 2005 e 0,4195 em 2009 (tabela 5). Observa-se que o Índice I calculado originalmente correspondeu a um extremo da distribuição simulada através das permutações para os três anos, desta forma, concluiu-se que os dados estão aglomerados e conseqüentemente, um estudo espacial sobre a doença é adequado (Anexo 4). Isto indica a presença de autocorrelação espacial, sendo ela positiva para os três anos, ou seja, parcelas com alta (baixa) incidência estão próximas a parcelas também de alta (baixa) incidência. O nível de significância estatística utilizado para o cálculo do Índice de Moran foi de 1% para o ano de 2001 e de 0,1% para os demais. O critério utilizado para determinação dos vizinhos foi o da distância entre centroides, sendo utilizado o valor de 1,29 km para os três anos, o que conferiu uma média de 8 a 10 vizinhos por área (parcela). Foi escolhido este critério e esta distância, pois apresentou o maior número de parcelas significativas e maior Índice Global de Moran. O Diagrama de Espalhamento de Moran representado nos quatro quadrantes e o teste de permutação aleatória realizado para 999 permutações, estão apresentados no Anexo 5.

Blank *et al.* 2016, estudou a severidade do cancro bacteriano na cultura do feijão, em casas de vegetação em Israel. Ele testou a auto correlação da doença em diferentes distâncias entre produtores, para determinação dos vizinhos, variando de 500 a 5000 metros, com intervalos de 500 metros. A autocorreção espacial mais forte ocorreu a uma distância de 1500m entre vizinhos.

O Índice Local de Moran tem sido bastante utilizado nos estudos de saúde pública, para ajudar na identificação de bairros com maiores problemas socioeconômicos. A exemplo disso, Domingues (2017), estudou a distribuição e o comportamento dos casos de dengue ao longo do tempo, em bairros da cidade de Rio Claro, relacionando-a com variáveis socioeconômicas e identificando os *clusters* de maior incidência da doença. No trabalho foi observado que a região noroeste da cidade apresentava maior incidência, o que pode ser uma ferramenta útil para as autoridades de saúde responsáveis, que podem tratar esta área com maior ênfase e auxiliar nas campanhas de prevenção para anos futuros.

Seffrini (2017), utilizou o Índice de Moran para investigar a correlação e autocorrelação espacial entre a produtividade de milho, e as variáveis altitude, tipo de solo, precipitação, temperatura média do ar e radiação solar, para o estado do Paraná. Zhang (2008) utilizou o índice de Moran para verificar a autocorrelação espacial da presença de carbono orgânico no solo no Sudoeste da Irlanda. O mesmo autor investigou também os pontos críticos de contaminação do solo por presença de Chumbo (Pb) na cidade de Galway

na Irlanda. O índice de Moran, portanto, pode ser utilizado em diversos estudos agrícolas que envolvam a descoberta de algum padrão espacial que esteja relacionado com a localização geográfica dos eventos nas áreas de interesse.

Através do Índice Local de Moran foi possível analisar a presença ou não de *clusters* na área, representados na figura 7. Parcelas em vermelho escuro foram classificadas no quadrante Alto-Alto (1°Q), ou seja, áreas com grande quantidade de plantas com Amarelecimento Fatal e seus vizinhos também. Regiões destacadas em azul escuro foram classificadas no quadrante Baixo-Baixo (2°Q), ou seja, áreas que apresentaram baixa quantidade de plantas doentes, bem como seus vizinhos; ambos sendo considerados autocorrelação espacial positiva. Áreas destacadas em vermelho claro ou azul claro, foram classificadas nos quadrantes Alto-Baixo (3°Q) e Baixo-Alto (4°Q) e indicaram *outliers* espaciais, ou seja, regiões com alta incidência da doença e vizinhos de baixa, ou parcelas de baixa ocorrência da doença rodeadas de parcelas com alta ocorrência da doença. Nesses quadrantes a autocorrelação foi negativa.

Ao analisar o Mapa Lisa referente ao ano de 2001 (figuras 7) confirmou-se a existência de *clusters* na área, sendo um de alta incidência a Nordeste da fazenda, composto por 11 parcelas, e dois de baixa, um ao Sul e outro a Noroeste da fazenda, ambos com 10 parcelas. Ainda em 2001, observa-se uma relevante quantidade de *outliers* próximos aos *clusters* de alta incidência. Estas áreas são parcelas de baixa incidência, porém próximas a locais de alta incidência, apresentando desta forma autocorrelação negativa (coloração azul-claro). No ano de 2005, nota-se um aumento do número de parcelas dos *clusters*, tanto os de baixa incidência quanto o de alta. Alguns *outliers* Baixo-Alto, passaram a integrar os *clusters* de alta incidência, ou seja, áreas com baixo número de casos da doença, rodeadas por áreas altamente infectadas, passaram a ter alta incidência da doença, o que demonstra a expansão da doença na fazenda (Figura 7).

Em 2009 a expansão da doença na região nordeste da fazenda ficou mais evidente ainda, pois 25 parcelas passaram a ser enquadradas no primeiro quadrante, apresentando alta incidência da doença e seus vizinhos também. Toda esta área era composta pelo material genético Avros, plantado em 1988. Sendo assim, supõe-se que este material seja mais susceptível à doença. Esta susceptibilidade pode ter sido aumentada devido à idade avançada do palmeiral, que no ano de 2010 apresentava 22 anos. Os *clusters* de baixa incidência também ficaram mais evidentes passando para 22 parcelas significativas ao Sul e 16 parcelas a Noroeste (Baixo-Baixo). Em 2011 todo o material Avros foi erradicado devido à queda na produtividade ocasionada por uma associação de fatores, infestação pelo

Amarelecimento Fatal, idade avançada e alto porte. O nível de significância para os cálculos dos Mapas LISA *Clusters* variou de 5%, 1% e 0,1%; sendo apresentados no Anexo 4.

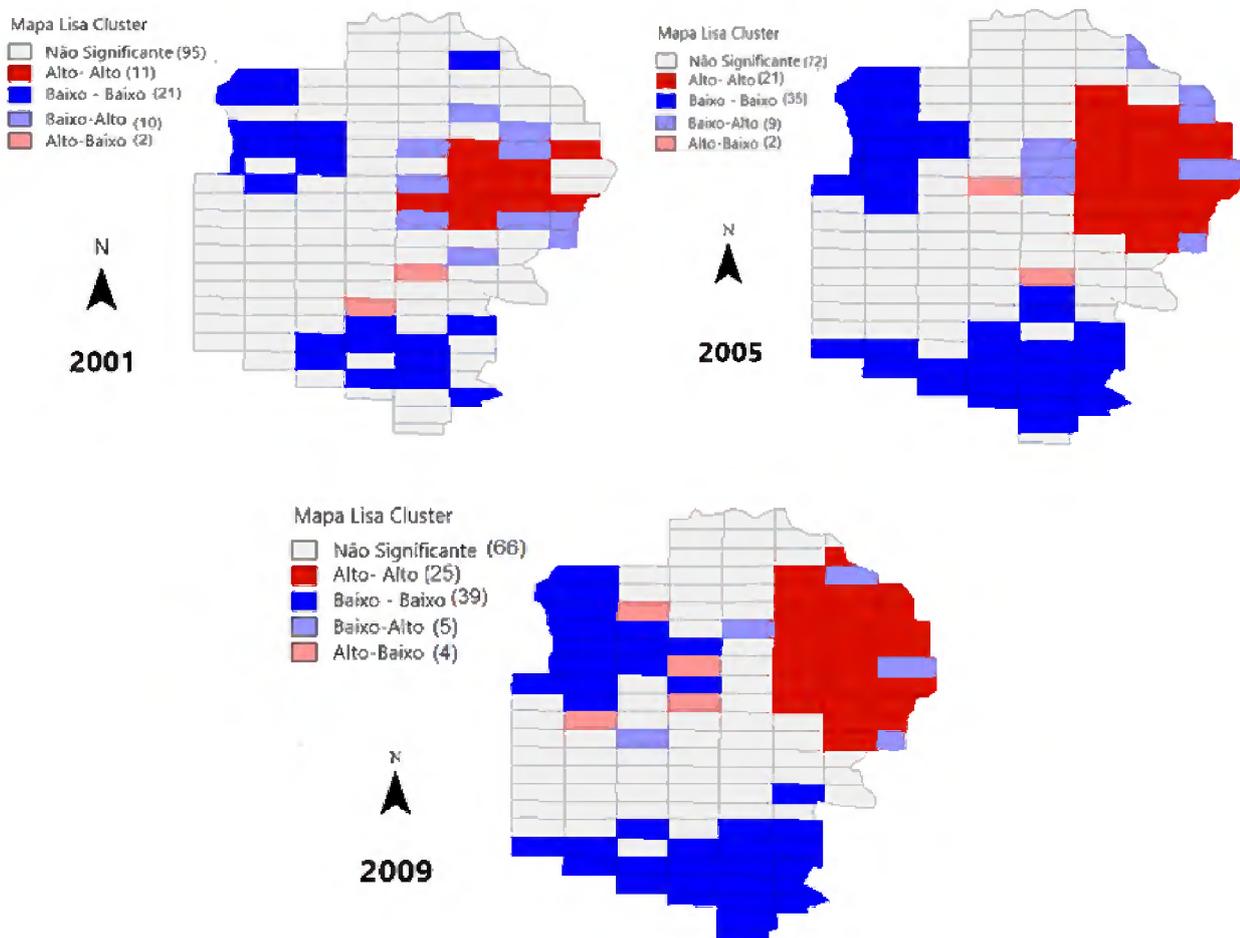


Figura 7: Mapa LISA *Cluster* para a variável número de plantas doentes por parcela, referente às 139 parcelas de palma-de-óleo da Fazenda CPA, no município de Acará/PA. Os dados referem-se aos anos de 2001, 2005 e 2009. As cores em vermelho representam parcelas de alta ocorrência da doença, enquanto as azuis baixa. A intensidade da cor informa a relação com as parcelas vizinhas, cor escura representa autocorrelação positiva, cor clara, autocorrelação negativa (Fonte: Autor, 2018).

2.2.3 Análise após a erradicação

Após a erradicação de todas as parcelas do material Avros, o amarelecimento fatal passou a apresentar uma nova distribuição na fazenda. Os critérios para escolha dos vizinhos e os níveis de significância utilizados foram mantidos.

No ano de 2011 o Índice Global de Moran ($I = 0,05614$) foi bem próximo a zero, positivo, o que demonstra uma baixa dependência espacial dos dados (Tabela 5). Além disso, no Teste de Permutação Aleatória (Anexo 5), observamos que o Índice I calculado, não correspondeu a um valor extremo na distribuição simulada através das permutações,

desta forma, aceitamos a hipótese nula de que não há autocorrelação espacial, ou seja, a distribuição dos dados na área não está agregada ($p > 0,05$).

Apesar disso, ao analisar o mapa como um todo observa-se um *cluster* de baixa incidência a sudeste da fazenda e *outliers* Baixo-Alto ao centro-oeste. Isso demonstra que estas parcelas, Baixo-Alto, apresentam baixa incidências da doença, porém seus vizinhos não, ou seja, autocorrelação negativa. Além disso duas parcelas foram destacadas com vermelho-escuro o que reforça a ideia de que a região possa vir a se tornar um *cluster* de alta incidência (figura 8).

A partir de 2012 a autocorrelação espacial da doença na área aumentou, observado pelo aumento do Índice de Moran e pelos valores de P, abaixo de 0,05 em 2012, de 0,01 em 2013 e 0,001 em 2014. Em 2012, o índice apresentou o valor de 0,1090; passando para 0,2117 em 2013 e 0,3159 em 2014 (tabela 5 e anexo 5). Ainda em 2012, observa-se algumas parcelas Alto-Alto na região centro-oeste da fazenda, rodeados por parcelas *outliers* Baixo-Alto. Estas áreas são parcelas de baixa ocorrência da doença, porém próximas a locais de alta incidência, apresentando desta forma autocorrelação negativa (coloração azul-claro). *Clusters* de baixa incidências (azul-escuro) foram formados a Sudeste da fazenda nos anos de 2012, 2013, 2014 e também a Norte nos dois últimos anos do estudo (figuras 8 e 9).

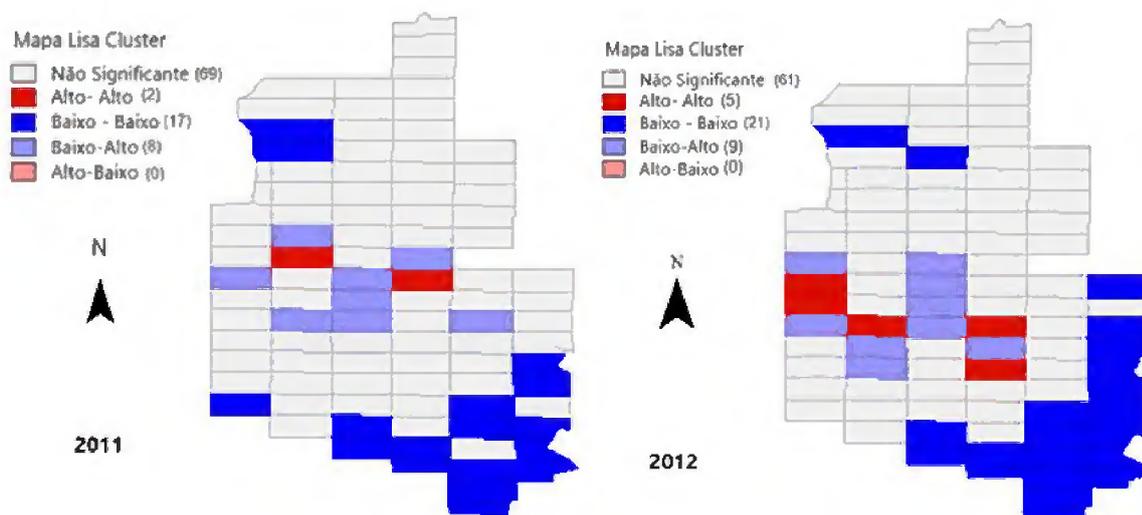


Figura 8: Mapa LISA *Cluster* para a variável número de plantas doentes por parcela, referente às 96 parcelas de palma-de-óleo da Fazenda CPA, no município de Acará/PA. Os dados referem-se aos anos de 2011 e 2012. As cores em vermelho representam parcelas de alta ocorrência da doença, enquanto as azuis baixa. A intensidade da cor informa a relação com as parcelas vizinhas, cor escura representa autocorrelação positiva, cor clara, autocorrelação negativa (Fonte: Autor, 2018).

Em 2013, o *cluster* de alta incidência (coloração vermelho-escuro) na região centro-oeste da fazenda ficou mais evidente, apresentando 8 parcelas significativas; crescendo

mais ainda em 2014, com 13 parcelas. Isto demonstra o forte crescimento da doença nessa região da fazenda. Algumas dessas parcelas são cortadas por rios ou estão próximas a ele, como por exemplo a parcela a F16, que apresentou o maior número de plantas doentes da fazenda em uma única parcela, quase 2000 plantas, o que representou um nível de infecção de 43%, considerando o ano de 2014. Além desta podemos citar as parcelas H12, H13 e H14 que também são cortadas pelo rio e apresentaram altos valores de infecção que variaram de 8 a 14%. Esses resultados condizem com os de Bergamin *et al.* (1998) e Laranjeira *et al.* (1998) que relataram maior ocorrência de plantas de palma-de-óleo doentes por AF em locais próximos a rios e córregos.

Outra observação relevante no mapa do ano de 2014 é a sequência de 5 parcelas de *outliers* (Baixo-Alto) na região central da fazenda. Estas parcelas apresentaram baixa incidência da doença mesmo estando próximas a outras com elevada ocorrência. Isto pode ser um indicativo de que esta região apresente algum fator físico, químico ou até mesmo biológico que dificulte a disseminação da doença, como por exemplo boa drenagem, melhor fertilidade ou até uma mancha com outro tipo de solo. Porém, isto necessitaria de estudos locais para uma melhor comparação. Na literatura há trabalhos que relacionam a concentração de nutrientes do solo com a ocorrência ou não do AF, como Laing, 2012 que relata a hipótese de deficiência transitória de Cálcio (Ca) ser um papel primordial na causa do AF. O nível de significância para cada parcela é apresentado nos mapas do anexo 4. O Diagrama de Espalhamento de Moran e o Teste de Permutação Aleatória realizado para 999 permutações, estão apresentados no Anexo 5.

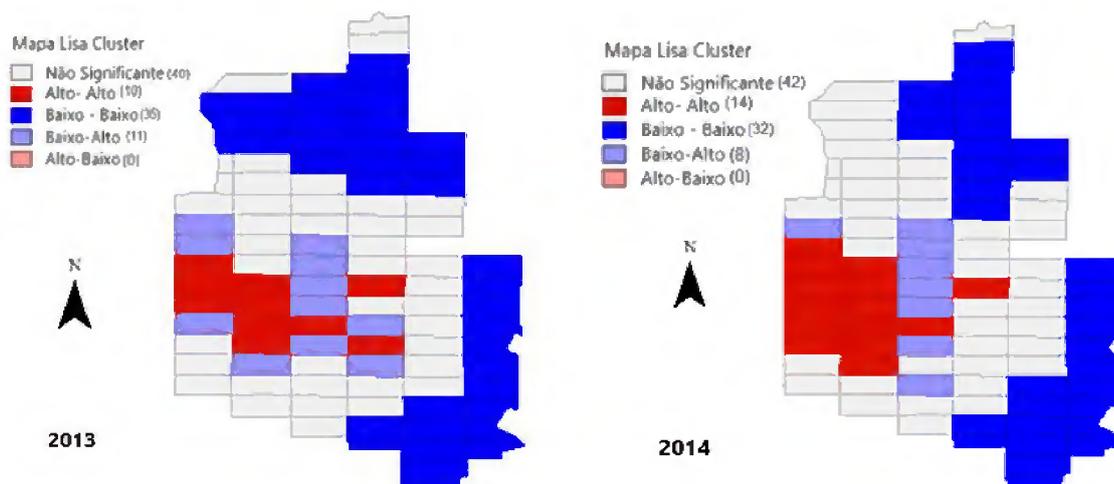


Figura 7: Mapa LISA Cluster para a variável número de plantas doentes por parcela, referente às 96 parcelas de palma-de-óleo da Fazenda CPA, no município de Acará/PA. Os dados referem-se aos anos de 2013 e 2014. As cores em vermelho representam parcelas de alta ocorrência da doença, enquanto as azuis baixa. A intensidade da cor informa a relação com as parcelas vizinhas, cor escura representa autocorrelação positiva, cor clara, autocorrelação negativa (Fonte: Autor, 2018).

Raier *et al* 2016, também utilizou o Índice de Moran em seus estudos, analisando a produtividade da agropecuária na região Sul do Brasil, dividindo-a em microrregiões. Por meio de uma Análise Exploratória dos Dados Espaciais (AEDE), confirmou-se a hipótese de que a distribuição espacial da produtividade da terra não era aleatória, pelo contrário, existia uma correlação positiva nos dados. Isso significa que as microrregiões com elevada/baixa produtividade eram rodeadas por microrregiões com alta/baixa produtividade. E, mediante a análise do mapa LISA *clusters*, evidenciaram-se alguns agrupamentos locais (*clusters*), localizados, sobretudo, no Rio Grande do Sul, isso poderia auxiliar nos programas do governo de fomento a produtividade dos estados.

Na tabela 5 é apresentado um resumo referente à análise do Índice Global de Moran para os anos de estudo, onde são destacados o valor do Índice de Moran, o valor de P e o tipo de distribuição encontrado naquele ano.

Tabela 5: Parâmetros da Análise do Índice Global de Moran para a variável número de plantas de palma-de-óleo doentes com Amarelecimento Fatal, por parcela, discriminado pelos anos.

Ano	Índice de Moran	Valor de P	Modelo	Nível de Significância (%)
2001	0,1925	0,002	Agregado	1,0
2005	0,5044	0,001	Agregado	0,1
2009	0,4195	0,001	Agregado	0,1
2011	0,0561	0,1470	Aleatório	*
2012	0,1090	0,0122	Agregado	5,0
2013	0,2117	0,0020	Agregado	1,0
2014	0,3159	0,0010	Agregado	0,1

* Não significante (Fonte: Autor, 2018)

Os resultados desse trabalho, se assemelham aos de Sales, 2011; Silva, 2015 e Amaral, 2016 que também estudaram a distribuição espaço-temporal do Amarelecimento Fatal na cultura da palma-de-óleo no estado do Pará e chegaram à conclusão de que se tratava de uma distribuição agregada, reforçando ainda que a sua causa seja biótica. O Índice de Moran demonstrou eficiência no estudo da dispersão e evolução do Amarelecimento Fatal na fazenda. Ele pode ser uma ótima ferramenta de auxílio na mitigação da doença, indicando parcelas-chaves para o seu correto manejo, como por exemplo: parcelas em que se deve aumentar a frequência do monitoramento da doença, parcelas que necessitem de tratamentos fitossanitários para redução do foco e até mesmo indicar parcelas que precisem ser erradicadas, com possível troca de material genético. O inverso pode ser realizado em parcelas de baixa incidência, como redução da frequência

do monitoramento da doença, prorrogação de renovação de parcelas e material genético. Ao demonstrar parcelas-chaves, o Índice de Moran pode também ser um indicativo de condições favoráveis e/ou desfavoráveis ao desenvolvimento do AF, como tipo de solo, fertilidade, umidade, drenagem entre outros.

Estudos recentes também utilizaram o Índice Global de Moran para avaliar a evolução das doenças nas plantas e também demonstraram viabilidade desta ferramenta. Byamukama *et al.*, 2016, quantificou, mapeou e analisou a dinâmica espacial do vírus da mancha da vagem do feijoeiro (BPMV) do inglês *Bean pod mottle virus*, em municípios produtores de feijão, no estado de Iowa dos EUA. Por meio do Índice de Moran, foi observado agrupamento da doença nos municípios em dois dos três anos de cultivo analisados. Lu *et al.* 2010, estudaram a dependência espacial do Vírus do Mosaico da Soja (SMV), do inglês *Soybean mosaic virus*, no estado de Iowa. Eles observaram que no início do desenvolvimento da cultura a doença apresentava distribuição aleatória pelo fato da infecção inicial se dar por sementes contaminadas. Aproximando-se do final do ciclo da cultura, ocorria aumento do valor do Índice de Moran, o que caracterizou uma distribuição agregada. Wrublack (2013) estudou a dependência espacial da produtividade de Canola no estado do Paraná, por meio do Índice Global de Moran. Em seu trabalho a autora concluiu que a cultura apresentava autocorrelação espacial significativa a 5%.

2.3 CONCLUSÕES

O Amarelecimento Fatal apresentou crescimento lento na primeira década do estudo. A partir do ano de 2011 a doença se dispersou rapidamente na fazenda. Através do Índice Local e Global de Moran, foi possível observar a presença de autocorrelação espacial do Amarelecimento Fatal na cultura da palma-de-óleo, sendo ela positiva. Isso demonstra que os dados ocorreram de forma agregada entre as parcelas vizinhas, ou seja, parcela com alta (baixa) ocorrência da doença estavam próximas a parcelas com alta (baixa) incidência da doença. Até o ano de 2010 (antes da primeira erradicação) foi observado *clusters* de alta incidência na região Nordeste da fazenda, onde estava plantado o material genético Avros e de baixa incidência a Noroeste e Sul. Isto demonstrou uma maior susceptibilidade do material Avros a doença, que provavelmente foi intensificada pela sua idade, por se tratar do material mais antigo na área.

A partir do ano de 2011, após a erradicação do material Avros, a doença apresentou uma nova distribuição em campo. A autocorrelação positiva foi mantida e novos *clusters* foram gerados, um de alta incidência a Centro-Oeste e dois de baixa incidência, um a Sudeste e outro a Norte da fazenda. Algumas dessas parcelas de alta incidência estavam próximas a cursos d'água, o que provavelmente influenciou no crescimento da doença. Verificou-se também uma sequência de 5 parcelas de *outliers* (Baixo-Alto) na região central da fazenda. Provavelmente nesse local algum fator tenha desfavorecido o desenvolvimento da doença, necessitando de maiores estudos para sua determinação.

O Índice de Moran demonstrou ser uma ferramenta eficiente para o estudo da epidemiologia, podendo auxiliar na determinação de fatores favoráveis ou não ao AF e até mesmo no manejo da doença em uma propriedade, como por exemplo ao indicar parcelas que precisem de um maior monitoramento, que exijam tratos fitossanitários ou até mesmo a erradicação e renovação.

REFERÊNCIAS

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

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. 54 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) Universidade Federal Rural da Amazônia. Belém, 2015.

ANSELIN L. EXPLORING SPATIAL DATA WITH GEODATM : A Workbook. Spatial Analysis. Laboratory Department of Geography - *University of Illinois*, Urbana-Champaign Urbana, IL 61801. Revised Version, March 6, 2005.

ARAÚJO, Everton C. de; URIBE-OPAZO, Miguel A.; JOHANN, Jerry Adriani. **Modelo de regressão espacial para estimativa da produtividade da soja associada a variáveis agrometeorológicas na região oeste do estado do Paraná**. Eng. Agríc., Jaboticabal , v. 34, n. 2, p. 286-299, abr. 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE ÓLEO DE PALMA ABRAPALMA, **Sobre a palma**. Disponível em: <<http://www.abrapalma.org/pt/biblioteca/>> Acesso em: 05 de out. de 2017.

BLANK L.; COHEN Y.; BORENSTEIN M.; *et al.*, 2016. *Variables associated with severity of bacterial canker and wilt caused by *Clavibacter michiganensis* subsp. *michiganensis* in tomato greenhouses*. **Phytopathology** 106, 254–61.

BYAMUKAMA E, EGGENBERGER SK, COELHO-NETTO RA, ROBERTSON AE, NUTTER FW Jr. 2014. *Geospatial and temporal analyses of bean pod mottle virus epidemics in soybean at three spatial scales*. **Phytopathology** 104:365–78

CÂMARA G.; CARVALHO M.S.; CRUZ O.G.; CORREA V. Análise espacial de áreas. In. Embrapa Cerrados. Análise espacial de dados geográficos. **Planaltina**, DF: EMBRAPA; 2004. p.157-209.

CELEBIOGLU, F.; DALL'ERBA, S. *Spatial Disparities across the regions of Turkey: an exploratory spatial data analysis*, *The Annals of Regional Sciences*, v.45, n.2, p.379-400, 2009.

De FRANQUEVILLE, H. 2003. *Oil Palm bud rot in Latin America*. **Experimental Agriculture** 39: 225-240.

DOMINGUES, J. **Técnicas de Processos Espaciais e Espaço Temporais com Aplicações em Dados de Dengue**. 2017. 91f. Dissertação (Mestrado em Biometria). Instituto de Biociências – Universidade Estadual Paulista, Botucatu, SP, 2017

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Embrapa Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**, 3 ed. rev. ampl. Brasília, DF : Embrapa, 2013. 353f.

FRANKE, J., GEBHARDT, S., MENZ, G., AND HELFRICH, H. P. 2009. *Geostatistical Analysis of the Spatiotemporal Dynamics of Powdery Mildew and Leaf Rust in Wheat*. *Phytopathology* 99: 974 – 984.

FUNDAÇÃO AMAZONIA DE AMPARO A ESTUDOS E PESQUISA DO PARÁ. FAPESPA. **Boletim Agropecuário do Estado do Pará 2015**. 1 ed. Belém: Fapespa, 2015, 38 f.

LAING, D. Deficiência temporária de cálcio como causa primária do amarelecimento fatal do dendezeiro. **Informações Agronômicas**. Nº 137. Março. 2012.

LARKIN, R. P., GUMPERTZ, M. L., AND RISTAINO, J. B. 1995. *Geostatistical Analysis of Phytophthora Epidemic Development in Commercial Bell Pepper Fields*. *Phytopathology* 85: 191 – 203.

LIMA, S. M. V.; FREITAS FILHO, A. de; CASTRO, A. M. G. de; SOUZA, H. R. de. Desempenho da cadeia produtiva do dendê na Amazônia Legal. Belém: PRODEAM, 2002. 162 p. Trabalho realizado no âmbito do Acordo de Cooperação Técnica SUDAM/OEA, mediante contrato de consultoria com a Fundação de Apoio ao Desenvolvimento da Universidade Federal de Pernambuco-FADE e cooperação técnica da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária-EMBRAPA.

Lu, X., Robertson, A. E., Byamukama, E. and Nutter, F. W. Jr., *Prevalence, Incidence, and Spatial Dependence of Soybean mosaic virus in Iowa, Phytopathology* 0, V.100, N.9, p 931-940 Set. 2010

MORAES, J. R. S. C.; MARTORANO, L. G.; BOARI, A. J.; MONTEIRO, D. C. A. Condições térmicas e pluvias 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-2011.

NELSON, M. R., ORUM, T. V., AND GARCIA, R. J. 1999. *Applications of Geographic Information Systems and Geostatistics in Plant Disease Epidemiology and Management. Plant Disease* 83: 308- 319.

NICOLAU, R.; MACHADO, A.; NUNES, B. Análise da variação concelhia da mortalidade anual média por neoplasias malignas dos órgãos do aparelho respiratório e intra-torácicos em Portugal Continental. **Revista Portuguesa de Saúde Pública**, v.27, n.2, p.7-16, 2009.

PIMENTEL GOMES, F. Curso de Estatística Experimental, 14 ed. Piracicaba: Degaspari, 2000. 477 P.

RAIHER, A. P., *et al.* Convergência da produtividade agropecuária do Sul do Brasil: uma análise espacial. **Rev. Econ. Sociol. Rural**, Brasília DF, V. 54, N. 3, P. 517-536. 2016

SANTOS S.M.; SOUZA W.V. Organizadores. Fundação Oswaldo Cruz. Introdução à Estatística Espacial para a Saúde Pública - Brasília : Ministério da Saúde, 2007.120 p. : il.

– (Série B. Textos Básicos de Saúde) (Série Capacitação e Atualização em Geoprocessamento em Saúde; 3).

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.

SEFFRIN, R. **Análise exploratória de dados espaciais aplicada a produtividade de milho no estado do Paraná.** 2017. 96 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Tecnologias Computacionais Para O Agronegócio, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, 2017.

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.

TORRES, G. A., SARRIA, G. A., MARTINEZ, G., VARON, F., DRENTH, A., AND GUEST, D. I. 2016. *Bud rot caused by *Phytophthora palmivora*: A destructive emerging disease of oil palm.* *Phytopathology* 106: 320-329.

VENTURIERI, A.; FERNANDES, W.R.; BOARI, A.J.; VASCONCELOS, M.A.; **Relação entre ocorrência do amarelecimento fatal do dendezeiro (*Elaeis guineensis* Jacq.) e variáveis ambientais no estado do PARÁ,** Anais, XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, Brasil, 25-30 abril 2009, INPE, p. 523-530.

WRUBLACK, S. C. *et al.* **Spatial distribution of Canola culture in the State of Paraná (Brazil) between the agricultural years of 2005 and 2009.** *Ciencia e investigación agraria*, v. 40, n. 3, p. 523–535., 2013.

ZHANG, C. *et al.* **Use of local Moran's I and GIS to identify pollution hotspots of Pb in urban soils of Galway, Ireland.** *Science of the Total Environment*, v. 398, n. 1–3, p. 212–221, 2008.

CAPÍTULO II

DISTRIBUIÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL DO AMARELECIMENTO FATAL EM DIFERENTES MATERIAIS GENÉTICOS DE PALMA-DE-ÓLEO, EM SISTEMA DE PRODUÇÃO ORGÂNICO NA AMAZÔNIA ORIENTAL

RESUMO

A palma-de-óleo é a cultura agrícola com o maior potencial de produção de óleo vegetal, chegando a produzir de 5 a 6 toneladas por ano. Entretanto uma doença de etiologia desconhecida, conhecida por Amarelecimento Fatal tem causado muito prejuízo a produtores brasileiros, principalmente no estado do Pará. Com poucos métodos de controle, o uso de materiais genéticos resistentes ou tolerantes ao AF se tornou uma das ferramentas mais importantes no controle da doença. Desta forma, o estudo da evolução da doença em materiais genéticos distintos é de suma importância para a seleção de plantas mais tolerantes, possibilitando a continuidade do cultivo da Palma-de-Óleo em áreas atacadas por AF. Este trabalho teve o objetivo de analisar a distribuição espaço-temporal do AF em diferentes materiais genéticos. Para tanto foram analisadas separadamente, parcelas dos materiais genéticos Avros, Deli x Lamé e Deli x Lamé (EMBRAPA); plantados de forma gradativa entre os anos de 1988 e 2001. Em 2011 o material Avros foi erradicado sendo substituído pelo híbrido interespecífico Coari. Os modelos dos semivariogramas que melhor se ajustaram a distribuição da doença foram o Gaussiano, o Esférico e Exponencial, com predominância do primeiro modelo. Estes modelos reforçam o conceito do AF ter uma causa biótica. O material Avros apresentou o maior alcance médio, de 2.939 metros, seguido pelo Deli-Lamé (2.169 metros) e 853 metros para Deli-Lamé (EMBRAPA). Já a dependência espacial foi predominantemente moderada para o material Avros e forte para os demais materiais. Os três materiais genéticos testados, apresentaram distribuição espacial, parâmetros estatísticos e geoestatísticos distintos entre si, sendo considerados susceptíveis ao amarelecimento fatal.

Palavras Chaves: Óleo vegetal, semivariograma, híbridos interespecíficos.

SPATIAL-TEMPORAL DISTRIBUTION OF FATAL YELLOWING IN OIL PALM OF DIFFERENT GENETIC MATERIALS, IN AN ORGANIC SYSTEM PRODUCTION IN THE EASTERN AMAZON.

ABSTRACT

Oil palm is the agricultural crop with the greatest potential of vegetable oil production, reaching 5 to 6 tons per year. However, a disease of unknown etiology, known as Fatal Yellowing, has caused a great deal of damage to Brazilian producers, especially in the state of Pará. With few control methods, the use of resistant or tolerant genetic materials has become one of the most important tool against the disease. Thus, the study of the evolution of the disease in distinct genetic materials is of utmost importance for the selection of more tolerant plants, allowing the continuity of the oil palm cultivation in areas attacked by FY. This work aimed to analyze the spatial-temporal distribution of LY in different genetic materials. For that, plots of Avros, Deli x Lamé and Deli x Lamé (EMBRAPA) genetic materials were analyzed separately; planted gradually between 1988 and 2001. In 2011 the Avros material was eradicated being replaced by the interspecific hybrids Coari. The semivariogram models that best fitted the distribution of the disease were the Gaussian, the Spherical and Exponential, with predominance of the first model. These models reinforce the concept of FY having a biotic cause. The Avros material had the longest reach of 2,939 meters, followed by Deli-Lamé (2,169 meters) and 853 meters for Deli-Lamé (EMBRAPA). The space dependence was predominantly moderate for the Avros material and strong for the other materials.. The three genetic materials tested showed different spatial distribution, statistical and geostatistical parameters, and were considered susceptible to fatal yellowing.

Keywords: Vegetable oil, semivariogram, interspecific hybrids.

3. INTRODUÇÃO

A palma-de-óleo (*Elaeis guineensis*), principal fonte de óleo vegetal no mundo, possui um enorme potencial de crescimento e expansão no Brasil, principalmente na região Amazônica, onde quase 32 milhões de hectares de áreas já desmatadas na Amazônia Legal estão aptos ao desenvolvimento da cultura (RAMALHO FILHO *et al.*, 2010). Entretanto, um dos entraves para essa expansão tem sido o Amarelecimento Fatal, doença de causa desconhecida, mas que tem destruído centenas de hectares na região (BOARI, *et al.*, 2008). Poucos são os métodos de controle do AF e um dos mais eficazes tem sido o uso de cultivares resistentes ou mais tolerantes à doença (LOPES *et al.*, 2012).

A palma-de-óleo africana não possui genes relacionados à resistência do AF, porém outra palmeira do mesmo gênero, a palma-americana ou caiaué, (*Elaeis oleifera* (Kunth) Cortés), apresenta; não sendo afetada por esta anomalia. Quando cruzada com a espécie africana, o caiaué pode transferir essa resistência aos híbridos F1, que por sua vez também não desenvolvem a anomalia (LOPES *et al.*, 2012). Além da resistência ao AF o caiaué apresenta outras características agrônômica relevantes que podem ser transferidas aos híbridos, como menor crescimento de estirpe, elevada taxa de ácidos graxos insaturados, resistência a outras pragas e doenças da palma-de-óleo (CUNHA *et al.*, 2012). Entre os maiores problemas do híbrido interespecífico estão a baixa fertilidade dos pólenes, alta variabilidade da fertilidade feminina, que acarreta baixa taxa extração de óleo, além de uma maior suscetibilidade à fusariose (BOARI, *et al.*, 2008). A baixa viabilidade do pólen associada muitas vezes a presença de barreira física (palha) nas inflorescências faz com que haja a necessidade de polinização assistida, caso contrário a produtividade do híbrido é tão baixa que inviabiliza o seu uso. Evidentemente que este procedimento encarece os custos de produção, dificultando assim a expansão do uso dos híbridos interespecíficos no país, principalmente para pequenos produtores. Por isso encontrar materiais de palma-de-óleo menos susceptíveis ao AF se torna tão importante.

O estudo da distribuição espacial do AF pode ajudar no entendimento sobre a sua origem e disseminação, auxiliando assim no manejo da doença (BERGAMIN FILHO *et al.*, 2007). Este trabalho objetivou estudar e comparar a dispersão espaço-temporal do amarelecimento fatal, e parâmetros geoestatísticos, de diferentes materiais genéticos de palma-de-óleo, no município de Acará, estado do Pará.

3.1 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado na Fazenda Companhia Palmares da Amazônia (CPA), pertencente ao grupo AGROPALMA, localizada no município de Acará (PA), de coordenadas geográficas centrais $2^{\circ}15'25.40''\text{S}$; $48^{\circ}37'27.26''\text{W}$. O clima da região é do tipo Ami, segundo a classificação de Köppen, com maiores precipitações nos meses de janeiro a maio e menores de agosto a novembro. A temperatura média anual é de aproximadamente 26°C e a umidade relativa do ar de 80%. A fazenda apresenta um solo altamente intemperizado com predomínio de o Latossolo-Amarelo, textura média-argilosa (EMBRAPA, 2013).

Na fazenda existem dois sistemas de produção de palma-de-óleo: o orgânico, alvo do nosso estudo, localizado mais ao norte e o convencional, localizado mais ao Sul, mostrados na figura 10.

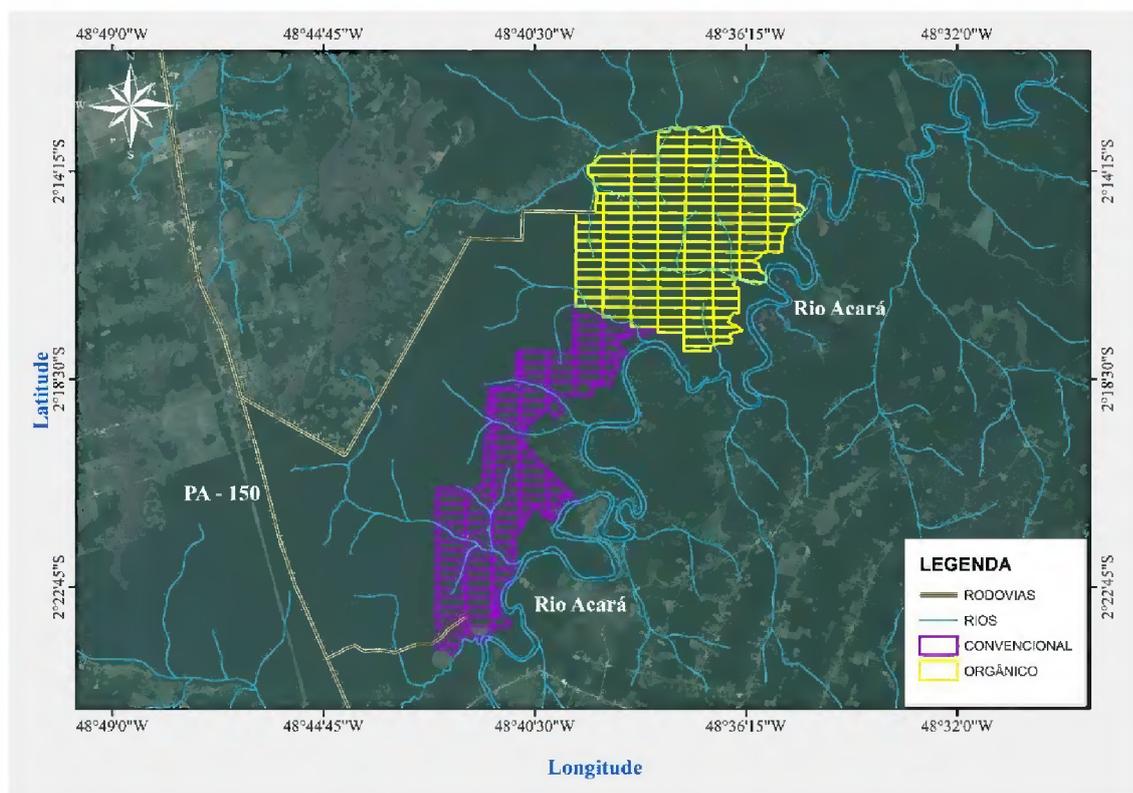


Figura 10: Fazenda Companhia Palmares da Amazônia, mostrando o sistema de produção orgânico e o convencional, localizada no município de Acará PA (Fonte: Autor, 2018).

3.1.1 Descrição do Experimento

Constituído pela área de produção orgânica da Fazenda Cia Palmares da Amazônia, o experimento foi dividido em 139 talhões (parcelas), sendo determinadas por uma identificação alfanumérica, onde as letras variavam de “A” ao “H”. O tamanho da parcela variou conforme a sua localização e disposição em campo, mas apresentaram um tamanho médio de 30 ha, totalizando 4.107,25 ha.

As mudas de palma-de-óleo foram plantadas formando um Triângulo Equilátero, distantes uma das outras em 9 metros totalizando 507.067 plantas. Inicialmente os plantios das mudas foram realizados de forma escalonada, nos anos 1988, 1989, 1990, 1996, 2000 e 2001, conforme figura 11. Nessa primeira fase de plantios os materiais genéticos utilizados foram Avros, Deli x Lamé e Deli x Lamé (Embrapa), distribuídos de acordo com a figura 12. Foram utilizadas na área 10 variedades do Deli x Lamé sendo elas: C1001F, C2001, C7701, C2023, C2501, C3701, C1101F, C2001, C2310 e C2528; e para o material Deli x Lamé (EMBRAPA) apenas duas: C2301 e C2501. As variedades do material Avros não foram informadas pela empresa. Algumas parcelas foram compostas por mais de um material genético, denominadas de “mistura”, não sendo utilizados no trabalho os seus dados.

A partir do ano de 2001 foi iniciado o monitoramento do Amarelecimento Fatal na fazenda, onde mensalmente um grupo de pessoas treinadas (pragueiros), analisava planta por planta, afim de identificar qualquer praga, doença ou anomalia no pomar, inclusive o AF. Plantas identificadas com sintoma de AF eram registradas, anotando-se sua localização e a data da observação. Plantas muito infectadas com a doença foram erradicadas, e a data da erradicação, anotada. Como nenhum dos três materiais genéticos é resistente ao AF muitas plantas morreram devido a doença, ou foram erradicadas, devido a anomalia ou à idade avançada. No ano de 2011 o material Avros foi totalmente erradicado, sendo substituído pelo híbrido interespecífico Coari, considerado resistente ao AF, porém seus dados não foram utilizados no trabalho. Conforme a doença ia se alastrando novas erradicações iam sendo realizadas. Em 2015, outra grande erradicação foi realizada na fazenda, tornando inviável a continuação do estudo na área. Foram utilizados também os dados de produção de cacho fresco por parcela.

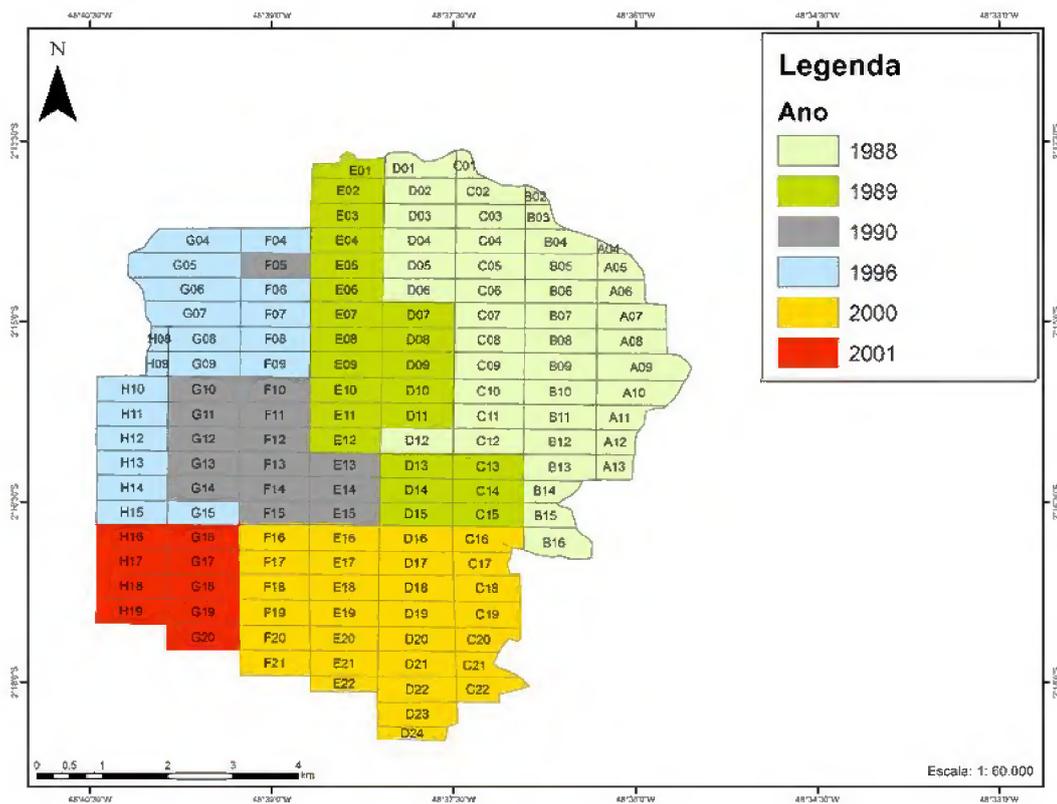


Figura 18: Anos de plantio das parcelas de palma-de-óleo da Fazenda Companhia Palmeares da Amazônia (Fonte: Autor, 2018).

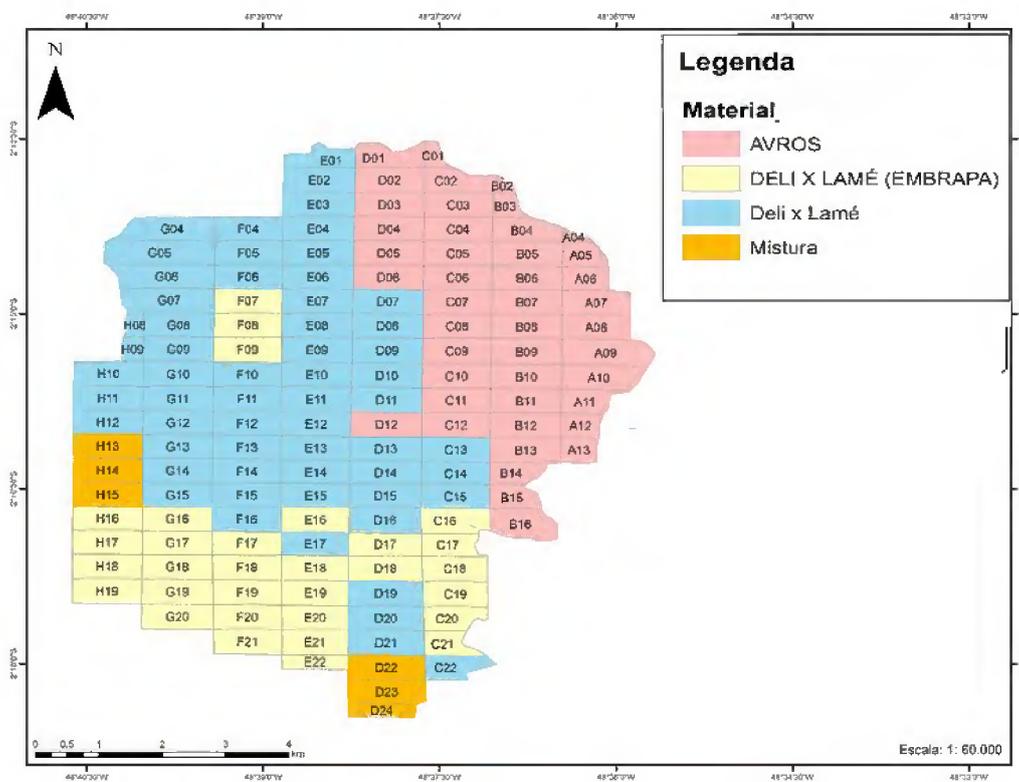


Figura 9: Material Genético de palma-de-óleo utilizado no experimento até o ano de 2010 (Fonte: Autor, 2018).

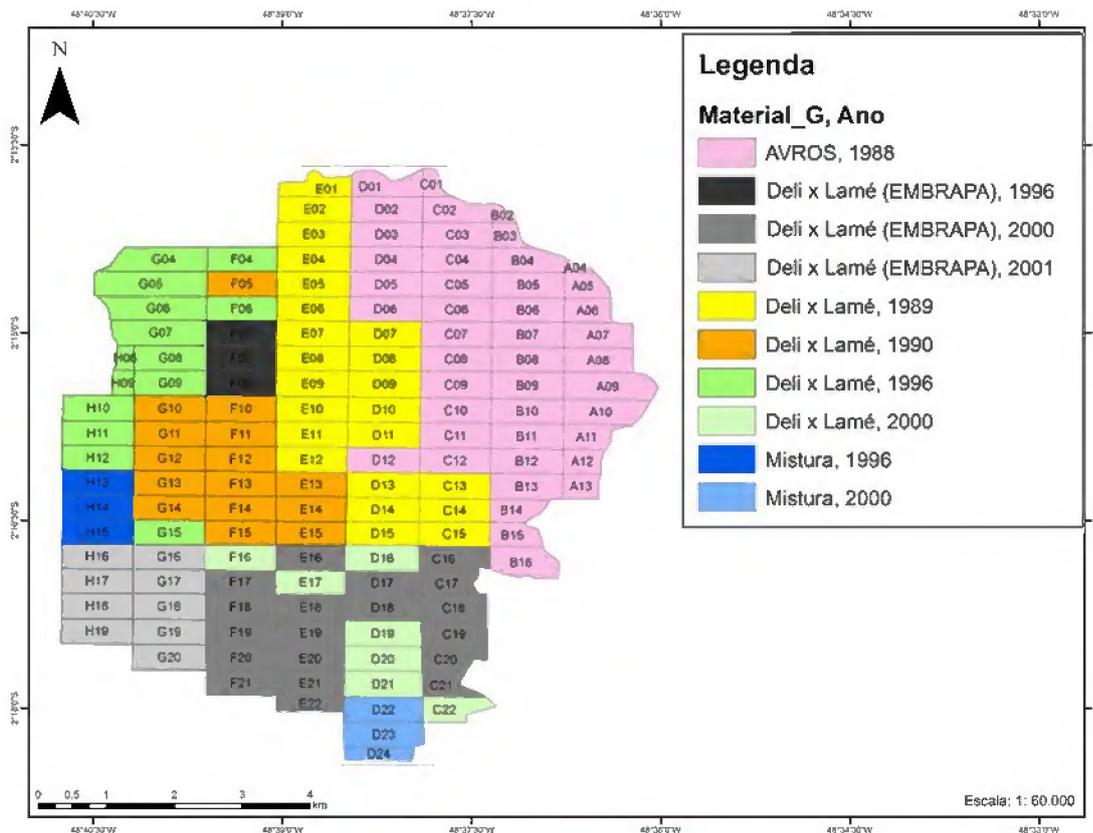


Figura 13: Material genético e ano de plantio das parcelas de palma-de-óleo da Fazenda Companhia Palmeiras da Amazônia (Fonte: Autor, 2018).

Com base nos dados coletados foram calculados os seguintes parâmetros:

- **PDN:** Constituído pelo número de novas plantas doentes identificados por ano.
- **PDA:** Representado pelo número de plantas doentes acumulada, ou seja, resultado da soma do número de novas plantas doente de um ano mais o número de plantas doentes do ano anterior.
- **PDA/ha:** Resultado da divisão do PDA pela área total ocupada pelo material em ha.
- **TC:** Taxa de Crescimento, representa o crescimento do PDA de um ano para o ano seguinte, dada em porcentagem.
- **IA:** Incidência da Doença Acumulada (IA) – representa a porcentagem da população infectada, com base no PDA de cada ano
- **Produção Total** – Quantidade de cacho fresco produzido anualmente por parcela, medido em toneladas (t).
- **Produtividade** - Quantidade de cacho fresco produzido por área, medido em toneladas por hectare (t/ha)

Estes parâmetros foram calculados para cada ano de estudo e por parcelas de plantio, durante o período de 2001 a 2014. Todos os dados foram divididos conforme o material genético estudado, Avros, Deli x Lamé e Deli x Lamé (EMBRAPA) e analisados individualmente. Foi realizado também uma Correlação de Pearson entre as variáveis incidência da doença e produtividade, para estudar o efeito da doença na produção da cultura.

3.1.2 Análise Estatística Descritiva

Foi feita a análise estatística descritiva das variáveis: número de plantas doentes por parcela, incidência da doença e da produtividade de cachos (t/ha) por material genético/ano pelo software STATISTICA 7. Foram analisadas as seguintes variáveis: média, valor máximo, mínimo, coeficiente de variação, curtose e assimetria (PIMENTEL GOMES, 2000).

3.1.3 Análise Geoestatística

A partir da Geoestatística analisou-se a distribuição espacial da doença em campo, além da sua evolução e expansão com o passar dos anos. Inicialmente foi feita a modelagem dos semivariogramas e posteriormente a elaboração dos mapas de Krigagem. (VIEIRA *et al.*, 1983). Para tanto todas as parcelas foram georreferenciadas, sendo utilizado o ponto central (centroide) como referência e o número total de plantas doentes por parcela ano. As planilhas de estudo foram elaboradas conforme o material genético da planta. Os dados foram submetidos à análise Geoestatística por meio do *software* GS⁺ com objetivo de verificar a existência de dependência espacial, por meio do semivariograma experimental, descrito pela equação IV:

$$y^*(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2 \quad (\text{IV})$$

Onde $y^*(h)$ é a semivariância estimada a partir de uma distância h , $N(h)$ é o número total de pares de observações $[Z(x_i) - Z(x_i + h)]$, que são separados por uma distância h . A partir daí os modelos de semivariogramas foram ajustados aos dados conforme o seu comportamento. Os modelos que mais se adequaram a distribuição dos dados foram o gaussiano, o exponencial, e o esférico. Dos três o modelo de semivariograma que mais se

ajustou ao estudo foi o Gaussiano, seguido do Esférico e do Exponencial. As fórmulas para cada modelo são descritas nas equações V, VI, VII.

A) Modelo Esférico

$$\gamma(h) = 0 \Rightarrow h = 0$$

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

$$\gamma(h) = C_0 + C_1 \Rightarrow h > a \quad (\text{V})$$

Onde C_0 é o efeito pepita ou semivariância mínima; também conhecido por erro amostral, trata-se da variabilidade nos pontos mais próximos, menores que os observados na amostragem. C_1 é o patamar ou semivariância máximo, ponto de estabilização do semivariograma, a partir do qual a semivariância não varia mais, mesmo com o aumento da distância “h”. O “a” é o alcance ou raio de agregação, distância onde as amostras apresentam-se correlacionadas espacialmente, caracterizando assim a dependência espacial entre elas. O alcance constitui-se na distância onde o patamar é atingido, ele 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). O modelo esférico é obtido selecionando-se os valores do efeito pepita (C_0) e do patamar (C_0+C_1), traçando-se uma reta que intercepte o eixo y em C_0 e que seja tangente aos primeiros pontos próximos de $h = 0$. Essa reta cruzará o patamar à distância $a' = (2/3)a$. Desse modo, o alcance (a) será $a = 3a'/2$, e esse modelo é linear até aproximadamente $(1/3)a$ (VIEIRA, 2000).

B) Modelo Exponencial

$$\gamma(h) = 0 \Rightarrow h = 0$$

$$\gamma(h) = C_0 + C_1 \left\{ 1 - \exp \left[-\frac{3h}{a} \right] \right\} \Rightarrow h > 0$$

(VI)

Os parâmetros C_0 e C_1 desse modelo são determinados da mesma maneira que para o esférico (VIEIRA, 2000), no entanto, a diferença entre o modelo esférico e o exponencial é que esse último atinge o patamar assintoticamente, com alcance prático definido como a distância na qual o valor do modelo é de 95% do patamar (ISSAAKS & SRIVASTAVA, 1989).

C) Modelo Gaussiano

$$\gamma(h) = 0 \Rightarrow h = 0$$

$$\gamma(h) = C_0 + C_1 \left\{ 1 - \exp \left[-3 \frac{h^2}{a} \right] \right\} \Rightarrow h > 0 \quad \text{(VII)}$$

Semelhante ao modelo exponencial, o modelo gaussiano atinge o patamar assintoticamente, e o parâmetro é definido como o alcance prático ou distância na qual o valor do modelo é de 95% do patamar (ISAAKS & SRIVASTAVA, 1989). No entanto, o que caracteriza esse modelo é o seu ponto de inflexão próximo à origem.

D) Efeito pepita puro

$$\gamma(h) = C \quad \text{(VIII)}$$

Em alguns casos a análise geoestatística da variável pode não apresentar dependência espacial, que é denominado efeito pepita puro. Trata-se de uma indicação clara de que esses atributos são espacialmente independentes, apresentam distribuição casual ou de que o espaçamento de amostragem usado é maior que o necessário para revelar a dependência espacial e de que a única estatística aplicável é a clássica (SILVA *et al.*, 1989). O efeito pepita puro é importante e indica variabilidade não explicada, podendo ser decorrente de erros de medidas ou micro variações não detectadas, considerando a distância de amostragem utilizada; é necessário, portanto, menor distância entre os pontos de amostragem para se detectar a dependência. (CAMBARDELLA *et al.*, 1994; SALVIANO *et al.*, 1998).

3.1.4 Índices de Dependência Espacial (IDE)

Para determinar quanto da variância espacial está presente na variância total da amostra, foi calculado o Índice de Dependência Espacial (IDE) ou parâmetro k . Este índice é obtido pela relação $C_1 / (C_0 + C_1)$, e caracteriza quanto uma amostra influencia em outra;

no caso, quanto que uma planta doente interfere na sanidade de uma planta próxima. A dependência espacial foi classificada de acordo com os intervalos propostos por Zimback (2001), que considera dependência espacial fraca ($k < 0,25$), moderada ($0,25 < k < 0,75$) e forte ($k > 0,75$).

3.1.5 Krigagem

A krigagem é um interpolador geoestatístico que permite estimar valores de variáveis distribuídas no espaço, utilizando as propriedades estruturais do semivariograma. Segundo Silva Junior (2001), a krigagem pode ser chamada de interpolador, pois pondera os valores dos pontos vizinhos a ser estimado obedecendo os critérios de não tendenciosidade e de variância mínima. Neste sentido, a krigagem nada mais é do que uma medida ponderada dos valores observados de uma determinada variável dentro de uma vizinhança. Somente os pontos que estão espacialmente relacionados com o local a ser estimado são usados na krigagem (VIEIRA *et al.*, 1983). Desta forma, para a elaboração dos mapas de estudo, foi necessário interpolar os pontos amostrados para a obtenção de uma estimativa. Essa estimativa (z^*) é uma combinação linear dos valores das medidas vizinhas (X_0), como segue a equação:

$$z^*(x_0) = \sum_{i=1}^N \lambda_i z(x_i) \quad \text{(IX)}$$

em que:

z^* = estimativa,

X_0 = combinação linear dos valores das medidas vizinhas,

N = número dos valores medidos envolvidos na estimativa $z(x_i)$,

i = peso associado a cada valor medido.

Para a elaboração dos mapas de Krigagem foram utilizados os *softwares* SURFER 11 e GS⁺.

3.1.6 Validação Cruzada

A validação cruzada é um método de seleção do modelo semivariográfico, pois permite selecionar o modelo matemático que melhor descreve a dependência espacial das observações das variáveis em função das distâncias. Para Montes *et al.* (2005), a ideia da validação cruzada consiste em validar a capacidade do modelo ajustado de semivariograma associado à incerteza do atributo não amostrado. Na validação cruzada supõe-se que um elemento da amostra, não tenha sido observado. Para isto, retira-se o valor amostrado e

obtém-se a estimativa do mesmo pela krigagem, usando os valores dos pontos vizinhos. Este processo é realizado para todos os pontos amostrados. Ao final para cada ponto existirá o valor verdadeiro e o valor estimado e, portanto, o erro de estimação. Com isso os dados podem ser plotados formando uma reta cujos coeficientes servirão para validar o modelo estatístico (coeficiente linear e angular).

3.2 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A seguir são descritos os resultados obtidos para cada material genético isoladamente.

3.2.1 Material Genético Avros

O material Avros teve seu plantio realizado no ano de 1988, constituindo-se no material mais antigo do experimento. Localizado mais a Nordeste da fazenda, ao todo foram 42 parcelas de tamanhos variados, com valor médio de 28.61 ha, totalizando 1.201 ha (figura 14).

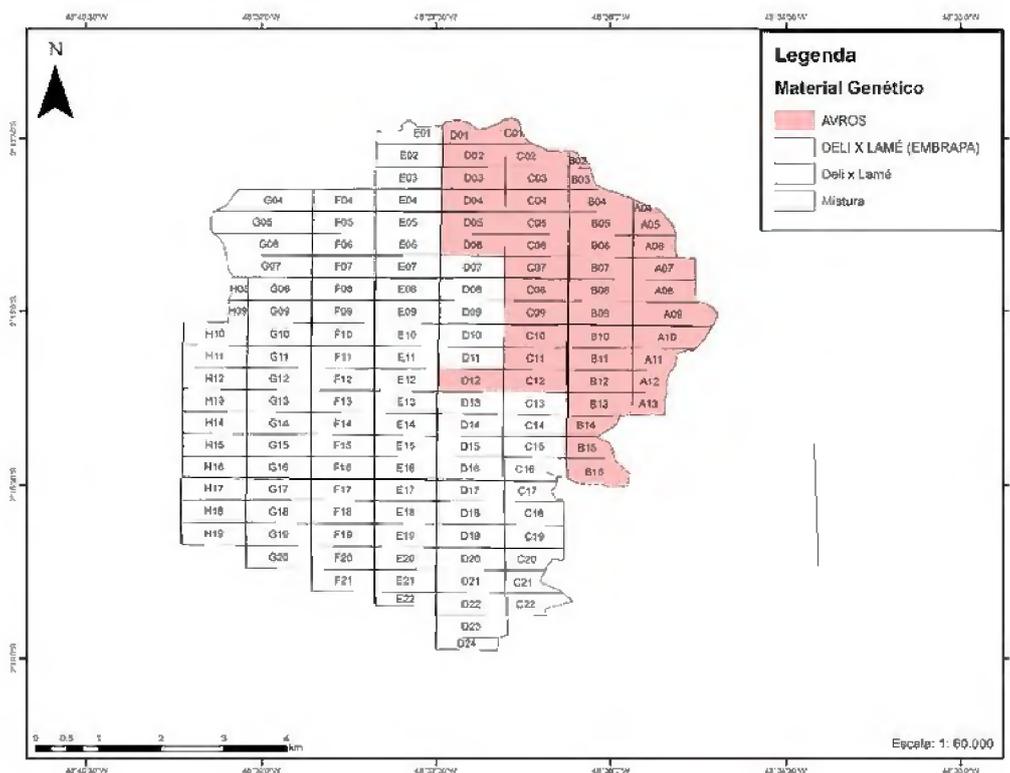


Figura 14: Localização do Material Genético Avros na fazenda CPA, município de Acará PA. (Fonte: Autor, 2018).

Os dados anuais de plantas doentes demonstram um crescimento lento, porém contínuo de infecção no campo. No ano de 2001, quando se iniciou as observações de campo foram identificadas 33 plantas doentes em campo, de um total de 171.843 plantas.

Isso resultou em uma taxa de infecção inicial muito baixa de 0.019%. A doença avançou de forma praticamente constante, variando de 40 a 55 novas plantas infectadas por ano, terminando o ano de 2010 com 475 plantas infectadas, equivalente a 0.276% da população, ou a 0,4 plantas doentes por ha (tabela 6).

A produtividade média apresentou uma tendência de queda com o passar dos anos, reduzindo de 28,72 toneladas de cacho fresco por hectare em 2001 para apenas 13,82 t/ha em 2010. Esta redução se tornou mais expressiva a partir de 2007, quando o pomar ainda apresentava 19 anos de idade. Em 2010 a manutenção do material Avros se tornou-se economicamente inviável, devido à baixa produtividade do mesmo, sendo totalmente erradicado e substituído pelo híbrido interespecífico Coari. A palma-de-óleo tem uma vida útil média de 25 anos variando de acordo com os tratos culturais dela, sanidade além das condições edafoclimáticas do local (BARCELOS *et al.*, 1995). Desta forma é natural que a produtividade da palma-de-óleo diminua com o tempo, principalmente em palmeirais de idade avançada. Segundo Silva (2006) a estimativa de produtividade para a cultivar AVROS aos 22 anos de cultivo seria de 25,17 t/ha bem abaixo do valor encontrado de 13,82 t/ha para a mesma idade. Desta forma não podemos descartar a possibilidade de a queda na produção ter sido causada por outro fator além da idade avançada do plantio, como condições climáticas e sanidade do pomar; no caso a infecção pelo AF, que apesar de ter sido baixa pode ter influenciado negativamente na produtividade das parcelas e na vida útil do palmeiral (tabela 6).

Tabela 6: Número de plantas infectadas pelo AF, taxa de crescimento da doença e porcentagem de infecção da área; além dos dados de produção de cacho fresco por ano, considerando 42 parcelas de palma-de-óleo do material genético Avros, em cultivo orgânico no município de Acará-PA.

ANO	Idade	PDN	PDA	Plantas Doentes ¹			Produção	
				PDA (ha)	TC (%)	IA (%)	Total (t)	Área (t/ha)
2001	13	33	33	0.0275	-	0.019	34.616	28,72
2002	14	56	89	0.0741	169.7	0.052	32.04	26,67
2003	15	52	141	0.1174	58.43	0.082	23.932	19,82
2004	16	40	181	0.1507	28.37	0.105	29.201	24,61
2005	17	46	227	0.1890	25.41	0.132	30.755	25,59
2006	18	47	274	0.2281	20.7	0.159	31.029	25,72
2007	19	41	315	0.2623	14.96	0.183	22.218	18,58
2008	20	54	369	0.3072	17.14	0.215	19.066	16,05
2009	21	55	424	0.3530	14.91	0.247	23.514	19,62
2010	22	51	475	0.3955	12.03	0.276	16.549	13,82

Plantas Doentes¹ - PDN: Número de novas plantas doentes por ano, **PDA:** Número de plantas doentes acumulado, **PDA (ha):** Número de plantas doentes por ha, **TC:** Taxa de crescimento de plantas doentes (%), **IA:** Incidência da doença acumulada (%); (Fonte: Autor, 2018).

Nas tabelas 7, 8 e 9 são apresentados os parâmetros da análise da estatística descritiva das variáveis: número de plantas doentes, incidência da doença e produtividade de cacho fresco, respectivamente.

Analisando as variáveis número de plantas doentes e incidência da doença (tabela 7 e 8), observa-se que a partir de 2006 todas as parcelas apresentavam pelo menos uma planta infectada. O número máximo de plantas doentes encontrado em uma parcela foi de 28 plantas, que equivaleu a 1,2% de incidência, valor considerado baixo quando comparado com os outros materiais em outras épocas. O Coeficiente de Variação oscilou entre 61,74 e 133,44 %, na tabela 7 e 56,28 e 129,75 %, na tabela 8, sendo considerado muito alto. A assimetria e curtose foram utilizadas para estudar a forma da distribuição de probabilidade das variáveis. Para as duas variáveis a assimetria apresentou valores positivos e predominantemente menores que 1, o que demonstra que os dados estavam levemente deslocados a esquerda, em relação a uma distribuição normal. Com relação ao coeficiente de curtose, que é o grau de achatamento da curva de distribuição, a variável apresentou valores predominantemente negativos, o que confere uma distribuição mais "achatada" que a distribuição normal, denominada distribuição platicúrtica, que tende a imprimir às amostras uma maior variabilidade (PIMENTEL GOMES, 2000).

Ao analisar a variável produtividade observa-se uma tendência de queda dos valores mínimo e máximo, refletido também na média conforme já analisado (tabela 9). O Coeficiente de Variação oscilou entre 8,7% e 19,7% sendo classificado predominantemente como uma variação média. A assimetria apresentou todos os valores positivos e menores que 1, o que demonstra que os dados estavam levemente deslocados à esquerda, já o coeficiente de curtose demonstrou uma curva de distribuição mais afunilada. Os coeficientes de correlação de Pearson entre as variáveis incidência da doença e produtividade foram predominantemente não significantes, exceto para os anos de 2003 e 2007. Estes resultados ocorreram devido à baixa incidência da doença neste material genético, não caracterizando uma relação expressiva com a produtividade.

Tabela 7: Parâmetros da Estatística Descritiva da variável número de plantas afetadas pelo Amarelecimento Fatal por parcela, considerando 42 parcelas do material genético Avros, no município de Acará/PA.

Parâmetros da Estatística Descritiva						
Ano	Valor			Dispersão*		
	Média	Mínimo	Máximo	CV (%)	Assimetria	Curtose
2001	0.79	0	4	133.44	1.25	0.95
2002	2.12	0	7	90.39	1.05	0.65
2003	3.36	0	9	75.53	0.48	-0.78
2004	4.31	0	10	74.71	0.44	-1.15
2005	5.40	0	14	73.45	0.57	-0.83
2006	6.52	1	17	70.14	0.64	-0.84
2007	7.50	1	20	73.22	0.71	-0.75
2008	8.79	1	21	64.71	0.56	-0.80
2009	10.10	2	23	58.04	0.49	-0.74
2010	11.31	2	28	61.74	0.63	-0.54

* Dispersão: CV: Coeficiente de Variação (%); (Fonte: Autor, 2018).

Tabela 8: Parâmetros da Estatística Descritiva da variável Incidência do Amarelecimento Fatal em palma-de-óleo, considerando 42 parcelas do material genético Avros, localizados no município de Acará/PA.

Parâmetros da Estatística Descritiva						
	Valor			Dispersão*		
	Média	Mínimo	Máximo	CV (%)	Assimetria	Curtose
2001	0.019	0.000	0.082	129.75	1.07	0.22
2002	0.049	0.000	0.144	84.21	0.78	-0.06
2003	0.078	0.000	0.189	68.14	0.35	-0.74
2004	0.101	0.000	0.208	64.03	0.21	-1.23
2005	0.127	0.000	0.321	63.64	0.55	-0.49
2006	0.155	0.021	0.350	57.61	0.44	-0.74
2007	0.177	0.021	0.411	60.61	0.56	-0.68
2008	0.218	0.021	0.466	56,28	0.32	-0.81
2009	0.260	0.041	1.026	65,45	2.20	8.86
2010	0.290	0.041	1.212	69,31	2.39	9.76

* Dispersão: CV: Coeficiente de Variação (%); (Fonte: Autor, 2018).

Tabela 95: Parâmetros da Estatística Descritiva da variável produtividade de cacho fresco, em toneladas por ha, e coeficiente de correlação de Pearson entre as variáveis produtividade e incidência da doença considerando 42 parcelas do material genético Avros, localizados no município de Acará/PA.

	Parâmetros da Estatística Descritiva						
	Valor			Dispersão ¹			Correlação ²
	Média	Mínimo	Máximo	CV (%)	Assimetria	Curtose	
2001	28.72	18.92	35.16	10.85	0.83	1.20	0.178 ^{Ns}
2002	26.67	17.57	32.19	10.24	0.79	1.81	-0.256 ^{Ns}
2003	19.82	12.31	23.85	11.83	0.97	1.60	-0.358*
2004	24.61	18.41	33.74	12.82	0.41	0.58	-0.291 ^{Ns}
2005	25.59	18.80	35.83	11.61	0.71	2.56	0.152 ^{Ns}
2006	25.72	18.91	30.09	8.70	0.79	1.24	-0.226 ^{Ns}
2007	18.58	11.48	24.79	16.09	0.03	-0.32	0.321*
2008	16.05	9.46	24.06	19.70	0.48	0.44	-0.214 ^{Ns}
2009	19.62	11.88	26.04	15.93	0.18	0.14	0.080 ^{Ns}
2010	13.82	8.90	20.45	19.11	0.29	-0.38	-0.034 ^{Ns}

¹ Dispersão: CV: Coeficiente de Variação (%); (Fonte: Autor, 2018).

² Correlação = Ns: Não significativo ($P > 0,05$), *Significativo ao nível de 5% de probabilidade ($0,05 \leq P$)

3.2.1.1 Análise Geoestatística

Nos dois primeiros anos a distribuição foi caracterizada por um semivariograma do tipo efeito pepita puro, ou seja, as plantas doentes estavam distribuídas de forma aleatória no local (independência espacial), não caracterizando nenhum tipo de agregação. Isto segundo Van de Lande e Zadoks (1999), indicaria o início de uma infecção, considerando de origem biótica.

A partir de 2003 o modelo que mais se ajustou à distribuição da doença foi o Gaussiano, permanecendo assim até o ano de 2010, onde o modelo Esférico, obteve o melhor ajuste (Anexo 1). Modelos Gaussianos demonstram dispersões que seguem algum sentido ou direção, orientados por qualquer fator ambiental, por exemplo o sentido do vento, da chuva, ou até mesmo da enxurrada. Já o modelo esférico, se ajustou melhor no último ano devido ao aumento da infestação da doença, que passou a se dispersar em vários sentidos.

Por meio do semivariograma é possível descrever, tanto qualitativa como quantitativamente, a variação espacial e obter os parâmetros que determinam a krigagem. Desta forma obteve-se os valores do efeito pepita (C_0), patamar (C_0+C_1), alcance (A_0) e coeficiente de determinação (r^2) e Índice de Dependência Espacial (IDE). O efeito pepita (C_0) variou de 4,01 a 17,00; enquanto o patamar (C_0+C_1) de 8,978 a 60,48. A dependência espacial analisada pelo IDE foi aumentando com o passar dos anos, apresentando um valor

inicial de 0,553 em 2003, chegando a 0,719 em 2010; sendo classificada sempre como moderada (tabela 10).

O alcance da dependência espacial, também conhecido por raio de agregação, é um parâmetro fundamental na interpretação do semivariograma, ele indica a distância até onde os pontos amostrais têm correlação entre si, deste modo, os pontos localizados em uma área cujo raio seja o alcance são mais semelhantes entre si, do que os separados por distâncias maiores (CARVALHO *et al.*, 2002). Para o material Avros o alcance (A_0) foi considerado sempre alto variando de 2.428 a 3.165 metros e valor médio de 2.939 metros. Caso houvesse o interesse em realizar novos plantios de palma-de-óleo, do material Avros na fazenda ou próximo a ela, dever-se-ia respeitar a distância do alcance entre os pomares antigos (caso eles ainda existissem) e os novos plantios, a fim de que as plantas doentes antigas, não interfiram na sanidade do plantio novo.

A geoestatística tem sido muito utilizada para estudar a distribuição espacial tanto de pragas quanto de doenças em plantas, sendo o alcance, um dos resultados mais relevantes para os estudos. ROBERTO *et al.* (2002) estudaram a dependência espacial da clorose variegada dos citros (CVC) e também verificaram distribuição agregada da doença no campo, com um alcance de dependência espacial das plantas doentes de 10 a 14 m. Farias *et al.* (2008) estudando a distribuição espacial da lagarta-do-cartucho, *Spodoptera frugiperda*, na cultura do milho, encontraram raio de agregação que variou de 21 a 47 metros. Leal *et al.* (2010) avaliaram a distribuição espacial de Huanglongbing (greening) e observaram que a doença apresentou distribuição agregada com raio de agregação de 300 a 560 metros.

O coeficiente de determinação (r^2) apresentou ótimos valores, sempre acima de 0,90 o que demonstra uma boa correlação entre o modelo empírico do semivariograma e o calculado (tabela 10). A validação cruzada comprovou a confiabilidade dos dados devido aos excelentes valores obtidos, coeficiente angular (b) sempre acima de 0,85 e próximo a um e coeficiente linear (a), bem baixo, próximo a zero.

Tabela 10: Modelos e parâmetros dos semivariogramas ajustados aos dados de plantas afetadas pelo AF, no município de Acará/PA, para o material genético AVROS e os parâmetros da validação cruzada.

Ano	Mod	Semivariograma ¹					Validação Cruzada ²			
		C ₀	(C ₀ +C ₁)	A ₀	r ²	IDE	Classe	a	B	r ²
2001										
2002										
2003	Gau	4.01	8.978	2960	0.996	0.553	Mod	0.36	0.891	0.198
2004	Gau	5.67	13.25	2428	0.935	0.572	Mod	0.47	0.885	0.309
2005	Gau	8.89	20.13	2785	0.920	0.558	Mod	0.29	0.928	0.333
2006	Gau	11.09	28.81	3163	0.939	0.615	Mod	0.36	0.939	0.389
2007	Gau	14.6	42.63	3149	0.979	0.658	Mod	0.37	0.955	0.372
2008	Gau	15.06	44.84	3163	0.931	0.664	Mod	0.59	0.940	0.372
2009	Gau	16.25	47.73	3165	0.941	0.660	Mod	0.83	0.914	0.398
2010	Esf	17	60.48	2701	0.934	0.719	Mod	1.52	0.860	0.324

¹Mod: Gau: Modelo Gaussiano, Esf: Modelo Esférico, C⁰: efeito pepita, (C⁰+C¹): patamar, A₀: alcance, r²: coeficiente de determinação, IDE: índice de dependência espacial. Classe, Mod: Moderada.

²Validação Cruzada, a: coeficiente linear; b: Coeficiente angular; r²: coeficiente de correlação. (Fonte: Autor, 2018).

3.2.1.2 Mapas de Krigagem

Com base nos semivariogramas foram gerados os mapas de Krigagem referentes aos anos de 2003, 2006, 2008, 2010 (figuras 15 e 16). As cores laranja e vermelho caracterizam parcelas com maior ocorrência de plantas doentes. Observa-se que desde 2003 houve uma concentração de casos da doença na parte central da área e menor incidência a Norte e a Sul. Essa distribuição se manteve parecida até 2010, porém com o aumentando dos casos de doença em toda a área, mas principalmente na região central. Não foi possível observar correlação entre a ocorrência da doença e proximidade com os rios da propriedade.

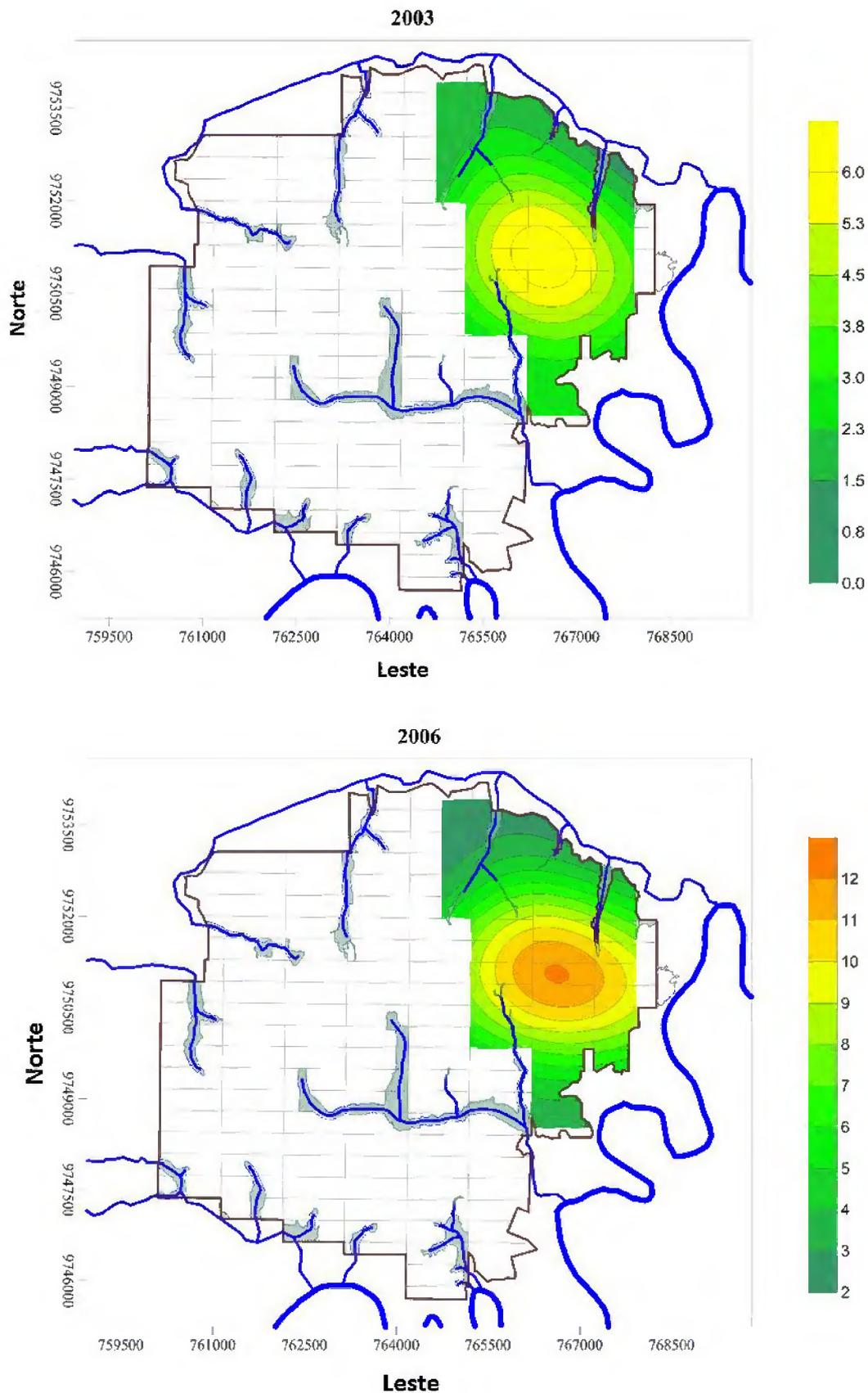


Figura 15 Mapas de distribuição espacial e temporal do Amarelecimento Fatal referentes aos anos de 2003 e 2006 para as 42 parcelas de palma-de-óleo material Avros. A escala de cores a direita representa o número de plantas doentes por parcela. (Fonte: Autor, 2018).

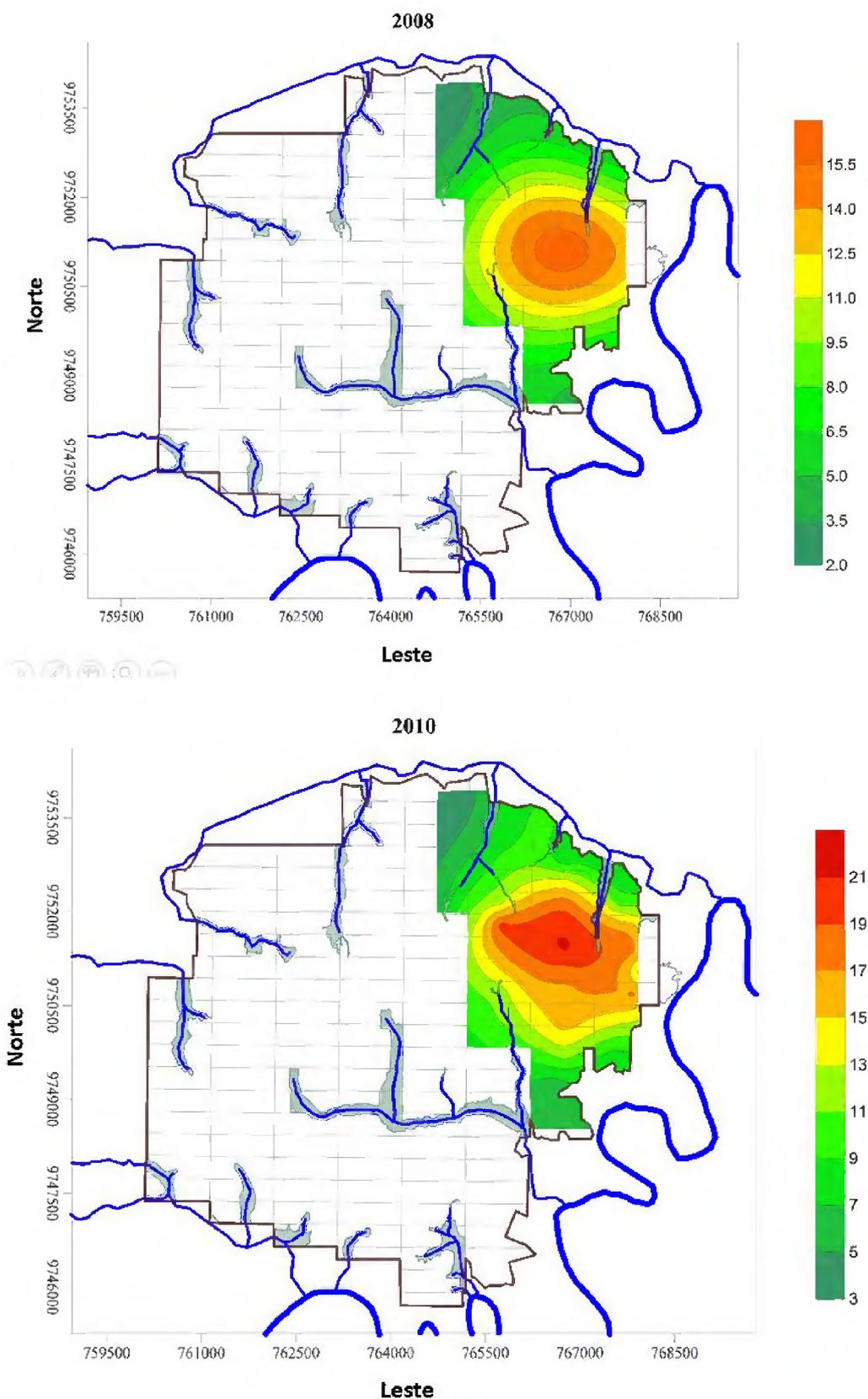


Figura 16: Mapas de distribuição espacial e temporal do Amarelecimento Fatal referentes aos anos de 2008 e 2010 para as 42 parcelas de palma-de-óleo material Avros. A escala de cores a direita representa o número de plantas doentes por parcela (Fonte: Autor, 2018).

3.2.2 Material Genético Deli x Lamé

Este material caracteriza-se por ser um pouco mais antigo com parcelas plantadas predominantemente nos anos de 1989 e 1990, algumas no ano de 1996 e uma no ano de 2000. Constitui no material de maior extensão do estudo, ao todo foram 56 parcelas, de tamanho médio igual a 29,13 ha o que totalizou uma área de 1631 ha e 233.289 plantas (figura 17). Foram utilizadas 10 variedades do Deli x Lamé no experimento, sendo elas: C1001F, C2001, C7701, C2023, C2501, C3701, C1101F, C2001, C2310 e C2528.

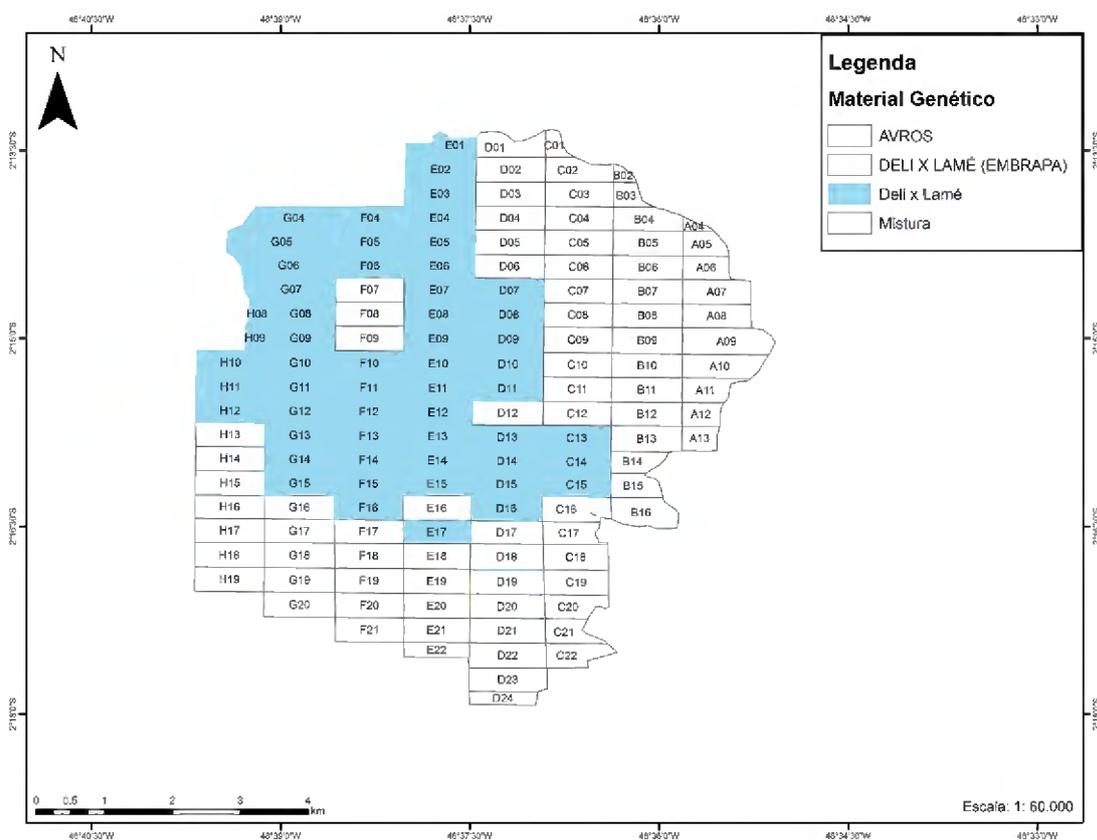


Figura 17: Localização do Material Genético Deli x Lamé na fazenda CPA, município de Acará PA. (Fonte: Autor, 2018)

A variedade Deli x Lamé foi originalmente desenvolvida na Costa do Marfim e introduzidas na Costa Rica em 1980. Os cachos dessas variedades são considerados pequenos, com peso abaixo de 18 kg e teor de óleo menor que 26%, porém com uma tolerância alta a períodos de seca. A geração parental das variedades Lamé foi desenvolvida entre 1955 e 1973 sendo originadas de 21 plantas da variedade Tenera. As variedades comerciais das progênes da Deli x Lamé possuem frutos alongados, com cascas finas, alta produção de cachos, plantas de folhas longas e caules curtos. A variedade Deli x Lamé é

considerada a variedade padrão de quase todos os plantios de palma-de-óleo no mundo (ALVES, *et al* 2013).

Através da tabela 11, observa-se que até o ano de 2008 a doença manteve um crescimento de infecção relativamente baixo e constante, aumentando entre 8 a 22 novas plantas infectadas ao ano. A partir de 2010 essa taxa aumentou drasticamente atingindo o valor de 10.106 plantas doentes em 2014, representando uma média de 6,2 plantas doentes por ha ou 181 plantas doentes por parcela. No mesmo ano a cultura atingiu sua infecção máxima, de 4,33%. Desse total 6288 plantas haviam sido infectadas nos últimos dois anos o que demonstra a severidade da doença. Em relação a produção de cacho fresco, sua produtividade média máxima foi atingida no ano de 2008 (27,02 t/ha), a partir de então observou-se uma tendência de queda, finalizando o ano de 2014 com produtividade média de 21,13 t/ha. Isso também é observado ao analisar os valores de produtividade mínimos e máximos da tabela 14, onde os valores apresentaram uma tendência de queda a partir de 2009, atingindo o valor mínimo de 3,98 t/ha em 2014, ou seja, os anos de maior crescimento e incidência da doença, foram também os anos de tendência de queda e menores produtividades.

Ao analisar o coeficiente de variação das tabelas 12 e 13 observa-se a altíssima variabilidade deste material, oscilando de 182,28 a 346,25%, para variável número de plantas doentes e de 131,07 a 454,42% para a incidência da doença. Isto demonstra como a distribuição da doença no campo é irregular e não normal, ou seja, enquanto algumas parcelas apresentam valores elevados de plantas doentes, outras não. Logo, esse estudo não pode ser analisado pela estatística descritiva e sim pela geoestatística. A exemplo disso, temos a parcela F16, com 1.916 plantas doentes de um total de 4460, ou seja, uma taxa de infecção de 43%. A produtividade desta parcela no ano de 2014 foi de apenas 10,59 t/ha. Em contrapartida algumas parcelas foram muito pouco infectadas, sendo que até o ano de 2013 ainda haviam parcelas sem nenhum caso da doença. Analisando a assimetria e a curtose das variáveis número de plantas doentes e incidência, observamos uma distribuição semelhantes entre elas. Os valores positivos e maiores que 1 da assimetria demonstram que os dados estão deslocados a esquerda. Em relação à curtose, a variável apresentou distribuição mais afunilada (tabelas 12 e 13). A Análise da estatística descritiva da variável produtividade (tabela 14), mostra que seu coeficiente de variação foi médio e de boa precisão, oscilando entre 12,37 e 30,32%. Já a assimetria e curtose da distribuição da probabilidade da variável, demonstra uma curva predominantemente deslocada a direita com distribuição mais afunilada. Ainda na tabela 14, os coeficientes de correlação entre as variáveis incidência da doença e produtividade não foram significativos até o ano de 2012.

Entretanto nos anos de 2013 e 2014, período de maior ocorrência da doença, a correlação foi significativa, negativa, classificada como moderada. Isso demonstra o efeito nocivo da doença na produtividade da cultura.

Tabela 11: Número de plantas infectadas pelo AF, taxa de crescimento da doença e porcentagem de infecção na área; além dos dados de produção de cacho fresco por ano, considerando as 56 parcelas de palma-de-óleo do material genético Deli Lamé, em cultivo orgânico no município de Acará-PA.

ANO	PDN	Plantas Doentes ¹			Produção		
		PDA	PDA (ha)	TC (%)	IA (%)	Total (t)	Por área (t/ha)
2001	11	11	0.01	-	0,005	40579	24,79
2002	20	31	0.02	182	0,013	42707	26,09
2003	18	49	0.03	58	0,021	36903	22,95
2004	15	64	0.04	31	0,027	41412	25,42
2005	8	72	0.04	13	0,031	38797	23,47
2006	9	81	0.05	13	0,035	42847	26,53
2007	13	94	0.06	16	0,040	37313	23,17
2008	22	116	0.07	23	0,050	43572	27,02
2009	76	192	0.12	66	0,082	38111	23,69
2010	237	429	0.26	123	0,184	39665	24,58
2011	1449	1878	1.15	338	0,805	36536	22,17
2012	1940	3818	2.34	103	1,637	32174	19,85
2013	2801	6619	4.06	73	2,837	32367	19,61
2014	3487	10106	6.20	53	4,332	34719	21,13

Plantas Doentes¹ - PDN: Número de novas plantas doentes por ano; **PDA:** Número de plantas doentes acumulado; **PDA (ha):** Número de plantas doentes por ha; **TC:** Taxa de crescimento de plantas doentes (%), **IA:** Incidência da doença acumulada (%); (Fonte: Autor, 2018).

Tabela 12: Parâmetros da estatística descritiva da variável número de plantas doentes por parcela, afetadas pelo AF em palma-de-óleo, considerando 56 parcelas do material genético Deli Lamé, localizados no município de Acará/PA.

Ano	Parâmetros da Análise Estatística Descritiva					
	Valores			Dispersão ¹		
	Média	Mínimo	Máximo	CV (%)	Assimetria	Curtose
2001	0,1964	0,0	1	204,09	1,57	0,48
2002	0,5536	0,0	3	145,82	1,22	0,39
2003	0,8750	0,0	5	139,65	1,43	1,52
2004	1,1429	0,0	5	132,89	1,33	0,70
2005	1,2857	0,0	6	138,91	1,42	0,82
2006	1,4464	0,0	8	138,85	1,58	1,82
2007	1,6786	0,0	9	133,02	1,65	2,53
2008	2,0714	0,0	14	133,04	2,13	5,98
2009	3,4286	0,0	24	149,64	2,46	6,70
2010	7,6607	0,0	166	306,30	5,97	39,28
2011	33,536	0,0	569	346,25	4,11	16,16
2012	68,178	0,0	733	261,12	3,06	8,26
2013	118,20	0,0	1725	245,74	3,85	17,43
2014	180,46	2,0	1916	182,28	3,31	13,83

¹ Dispersão: CV: Coeficiente de Variação (%); (Fonte: Autor, 2018)

Tabela 6: Parâmetros da estatística descritiva da variável Incidência do Amarelecimento Fatal em palma-de-óleo, considerando 56 parcelas do material genético Deli Lamé, localizados no município de Acará/PA.

Ano	Parâmetros da Análise Estatística Descritiva					
	Valores			Dispersão ¹		
	Média	Mínimo	Máximo	CV (%)	Assimetria	Curtose
2001	0.00	0.00	0.03	207.58	1.67	1.00
2002	0.01	0.00	0.07	150.35	1.23	0.32
2003	0.02	0.00	0.11	138.88	1.27	0.99
2004	0.02	0.00	0.11	133.07	1.21	0.33
2005	0.03	0.00	0.13	137.83	1.31	0.61
2006	0.03	0.00	0.16	135.52	1.44	1.40
2007	0.04	0.00	0.20	131.07	1.59	2.26
2008	0.05	0.00	0.31	131.85	2.06	5.47
2009	0.09	0.00	1.27	203.92	5.19	32.65
2010	0.25	0.00	8.79	454.42	7.49	57.74
2011	0.95	0.00	29.40	432.59	6.05	39.79
2012	1.75	0.00	34.06	304.49	4.53	23.37
2013	2.91	0.00	40.33	251.10	3.89	16.33
2014	4.57	0.02	43.12	185.00	3.32	12.68

¹ Dispersão: CV: Coeficiente de Variação (%); (Fonte: Autor, 2018)

Tabela 7: Parâmetros da estatística descritiva da variável produtividade de cacho fresco (t/ha) e coeficiente de correlação de Pearson entre as variáveis produtividade e incidência da doença, considerando 56 parcelas de palma-de-óleo, do material genético Deli Lamé, localizados no município de Acará/PA.

Ano	Parâmetros da Análise Estatística Descritiva						Correlação ²
	Valores			Dispersão ¹			
	Média	Mínimo	Máximo	CV (%)	Assimetria	Curtose	
2001	24,79	0,00	34,25	30,32	-1,06	0,54	0.195 ^{Ns}
2002	26,09	0,00	35,09	23,19	-1,59	4,88	0.120 ^{Ns}
2003	22,95	1,23	30,80	22,18	-1,89	4,90	0.168 ^{Ns}
2004	25,42	2,83	31,81	20,39	-1,78	5,15	0.192 ^{Ns}
2005	23,47	8,68	29,51	17,32	-0,88	1,54	0.150 ^{Ns}
2006	26,53	13,65	32,77	14,07	-0,84	1,39	-0.032 ^{Ns}
2007	23,17	11,11	30,78	16,21	-0,80	1,51	-0.174 ^{Ns}
2008	27,02	16,89	41,65	15,01	0,66	2,13	-0.167 ^{Ns}
2009	23,69	15,13	34,36	13,86	0,81	2,46	-0.194 ^{Ns}
2010	24,58	18,00	35,54	16,94	0,73	0,25	0.036 ^{Ns}
2011	22,17	13,93	26,85	12,37	-0,72	0,66	-0.122 ^{Ns}
2012	19,85	9,30	30,82	17,02	-0,26	3,08	-0.084 ^{Ns}
2013	19,61	4,42	27,55	25,24	-1,15	1,98	-0.538*
2014	21,13	3,98	29,83	26,45	-1,32	1,75	-0.554*

¹ Dispersão = CV: Coeficiente de Variação (%)

² Correlação = Ns: Não significativo ($P > 0,05$), *Significativo ao nível de 5% de probabilidade ($0,05 \leq P$)

Fonte: (Autor, 2018).

3.2.2.1 Análise Geoestatística

A distribuição espacial do amarelecimento fatal da palma-de-óleo, neste material, ajustou-se aos modelos gaussiano, esférico e exponencial, com ligeira predominância do primeiro modelo (Anexo 2). Exponencial e Gaussiano são os modelos mais empregados nos estudos da dispersão de doenças em plantas e condizem com os trabalhos de Larkin et. al. (1995) e Pale et. al. (2011). No primeiro ano do estudo não foi possível ajustar nenhum modelo, devido à baixa incidência da doença, caracterizando assim, como efeito pepita puro. O alcance (**a**) apresentou uma forte variação ao longo dos anos, com valor mínimo de 653 metros, máximo 4320 e médio de 2169 metros. O efeito pepita (C_0) variou de 0,067 a 24.000, enquanto o patamar oscilou entre 0,64 e 137600. A dependência espacial foi predominantemente caracterizada como forte com apenas dois anos de dependência moderada. O coeficiente de determinação (r^2) obteve ótimos ajustes com predominância de valores acima de 0,9. A validação cruzada foi satisfatória principalmente nos anos em que o coeficiente de determinação não foi tão elevado (anos de 2011, 2012 e 2014), pois nesses anos o coeficiente angular (**b**) apresentou valores bem próximos a 1 (tabela 15).

Tabela 8: Modelos e parâmetros dos semivariogramas e da validação cruzada, ajustados ao número de plantas afetadas pelo AF por parcela de cultivo, no município de Acará/PA. Para tanto foram considerados 56 parcelas do material genético Deli x Lamé.

Ano	Mod	Semivariograma ¹					Validação Cruzada ²			
		C_0	(C_0+C_1)	A	r^2	IDE	Classe	A	b	r^2
2001		Efeito Pepita Puro								
2002	Gau	0,067	0,64	653	0,907	0,895	Forte	0,15	0,72	0,16
2003	Exp	0,387	1,60	1443	0,918	0,759	Forte	0,16	0,82	0,151
2004	Esf	0,418	2,43	1227	0,987	0,828	Forte	0,15	0,88	0,302
2005	Gau	0,719	3,35	1103	0,986	0,785	Forte	0,27	0,83	0,318
2006	Gau	1,443	4,29	1497	0,998	0,664	Mod.	0,3	0,83	0,254
2007	Gau	1,84	5,36	1650	0,999	0,656	Mod.	0,35	0,83	0,253
2008	Exp	1,89	8,59	2955	0,992	0,78	Forte	0,63	0,73	0,14
2009	Exp	7,54	30,8	3096	0,931	0,755	Forte	0,54	0,87	0,181
2010	Gau	1,00	540,9	821	0,93	0,998	Forte	0,67	3,27	0,181
2011	Esf	830	14260	1269	0,551	0,942	Forte	3,00	0,90	0,319
2012	Exp	6600	40500	4242	0,852	0,837	Forte	2,32	0,99	0,387
2013	Esf	24000	112200	4320	0,938	0,786	Forte	10,73	0,94	0,339
2014	Esf	21800	137600	3916	0,852	0,842	Forte	11,27	0,98	0,414

¹ Mod: Gau: Modelo Gaussiano, Exp: Modelo Exponencial, Esf: Modelo Esférico, C_0 : efeito pepita, (C_0+C_1): patamar, A_0 : alcance, r^2 : coeficiente de determinação, IDE: índice de dependência espacial, Classe, Mod: Moderada.

² Validação Cruzada, a: coeficiente linear; b: Coeficiente angular; r^2 : coeficiente de correlação (%) (Fonte: Autor, 2018)

3.2.2.2 Mapas de Krigagem

Analisando os mapas de Krigagem observamos que inicialmente a doença apresentava pequenos focos de ocorrência, porém em razoável quantidade, distribuídos de forma mais aleatória pela área e pouco agregada (Figura 18). No ano de 2009, esta agregação aumentou e uma maior incidência da doença foi notada a Sul da área, que representava a região Centro-oeste da fazenda. Nos anos de 2012 e 2014 toda a parte ao sul da área estava altamente infectada pela doença (Figura 19), apresentando valores alarmantes. Algumas das parcelas de maior ocorrência da doença neste material estiveram próximas a uma das ramificações do igarapé, ao sul da área. A exemplo da parcela F16, que apresentou infecção de 43% e era cortada por uma ramificação do rio. A maior umidade do local pode ter contribuído para o aumento da infecção da doença. Esses resultados condizem com os de Bergamin *et al.* (1998) e Laranjeira *et al.* (1998) que relataram maior ocorrência de plantas de palma-de-óleo doentes por AF em locais próximos a rios e córregos, e também com o de Torres *et al.* (2016), que indicam que o agente causal do Amarelecimento Fatal seria o fungo *Phytophthora palmivora*, cuja disseminação ocorre através de escoamento de água.

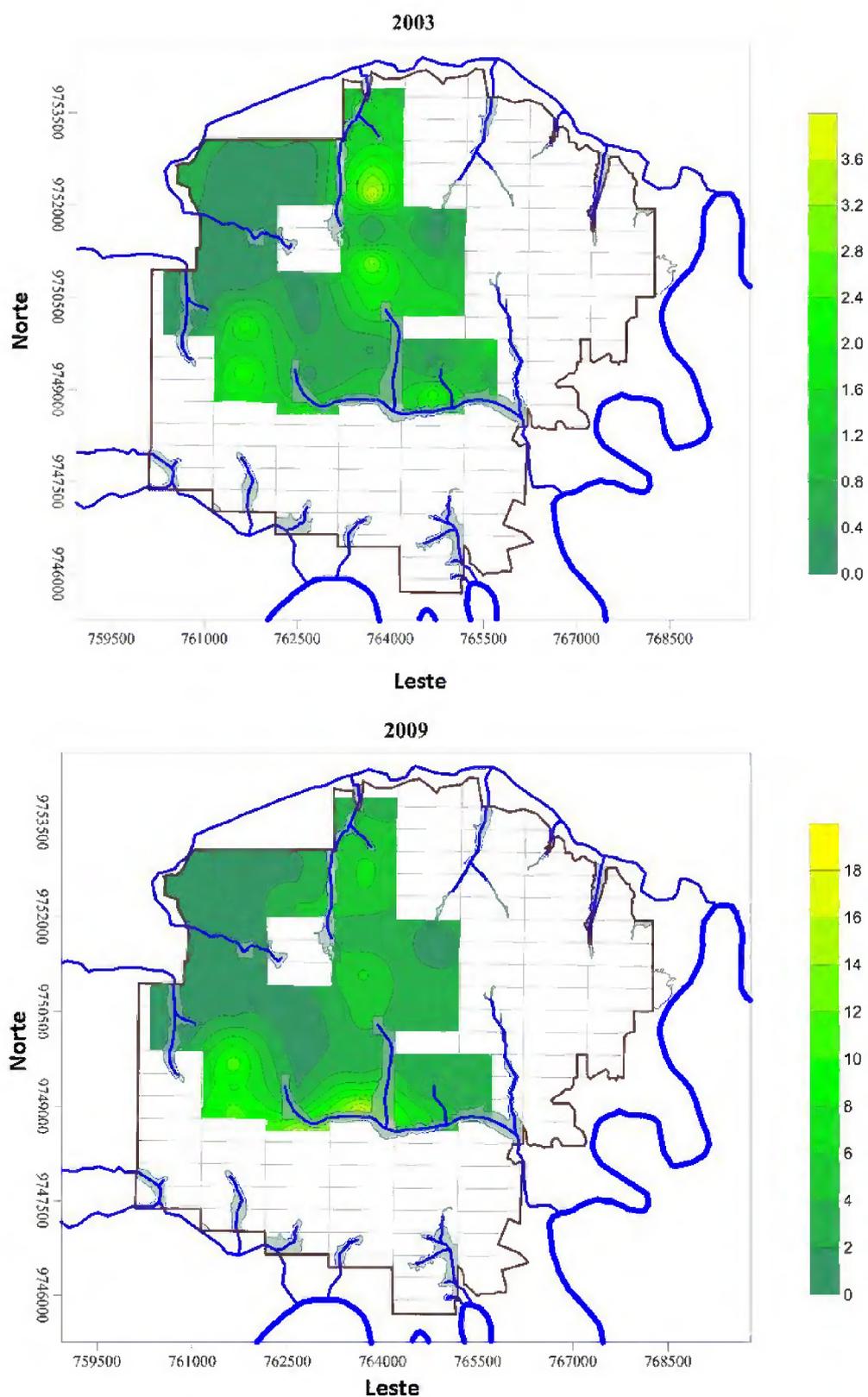


Figura 1810: Mapas de distribuição espacial e temporal do Amarelecimento Fatal referentes aos anos de 2003 e 2009 para as 56 parcelas de palma-de-óleo material Deli x Lamé. A escala de cores a direita representa o número de plantas doentes por parcela. (Fonte: Autor, 2018).

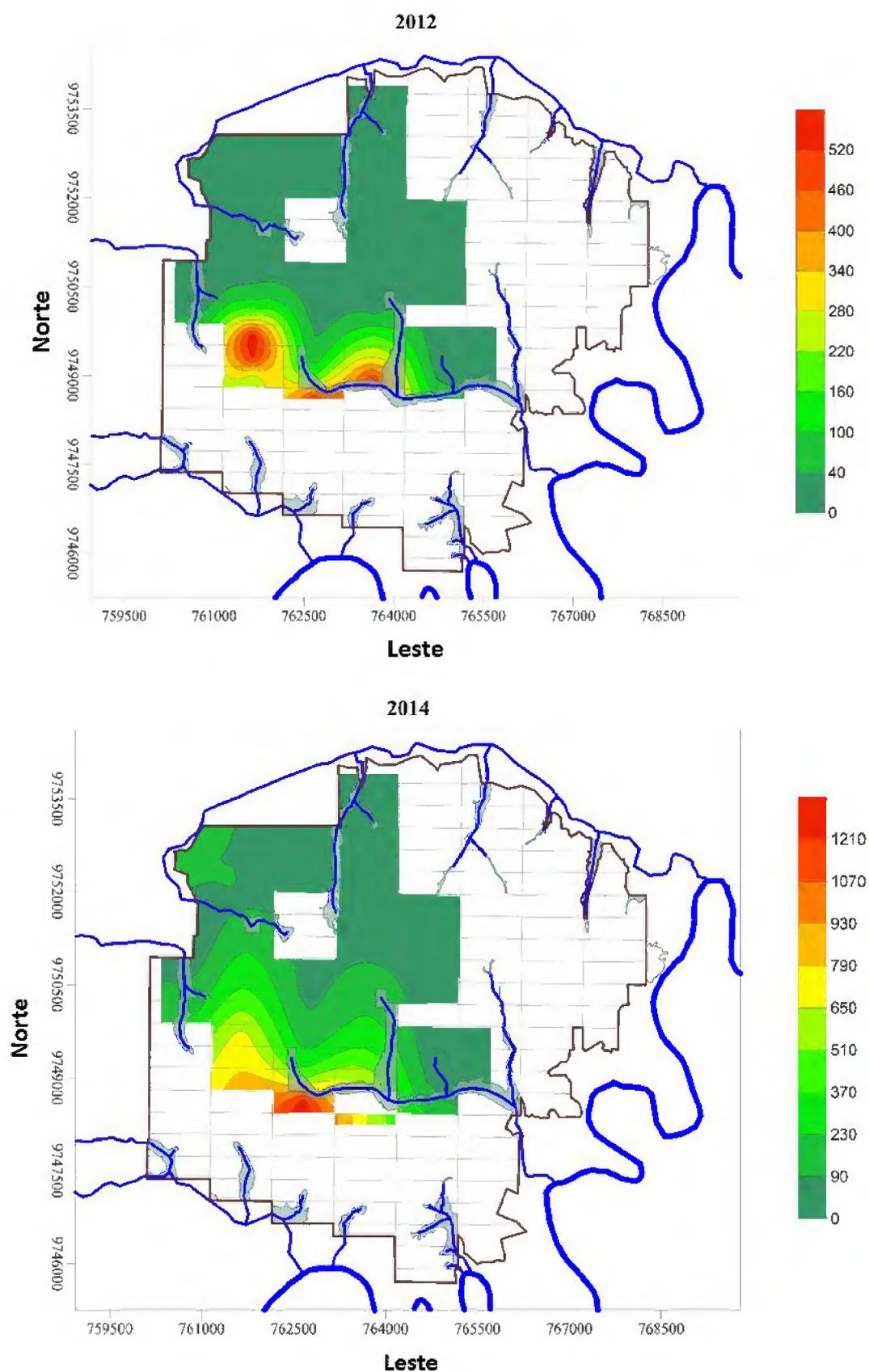


Figura 19: Mapas de distribuição espacial e temporal do Amarelecimento Fatal referentes aos anos de 2012 e 2014 para as 56 parcelas de palma-de-óleo material Deli x Lamé. A escala de cores a direita representa o número de plantas doentes por parcela. (Fonte: Autor, 2018)

3.2.3 Material Genético Deli x Lamé (EMBRAPA)

O material Deli x Lamé (EMBRAPA) foi plantado predominantemente nos anos de 2000 e 2001 e algumas parcelas em 1996, caracterizando-se, portanto, por ser um material mais novo que os demais em estudo. Sendo assim a área do material Deli x Lamé (Embrapa) era composta pela área A¹ (anos de plantio 2000 e 2001), constituída por 28 parcelas de tamanho médio de 30,45 ha, totalizando 853 ha de área e 121.925 plantas, contido pelas variedades C2301 e C2501 e a área A², constituída por 3 parcelas da variedade C2501 com tamanho total de 85,11 ha e 12.170 plantas, plantadas em 1996 (figura 20). Como as parcelas da Área A² eram poucas (apenas 3) e estavam distantes das demais, elas não foram consideradas nos cálculos estatísticos e geoestatísticos do material Deli Lamé (EMBRAPA), sendo descartados.

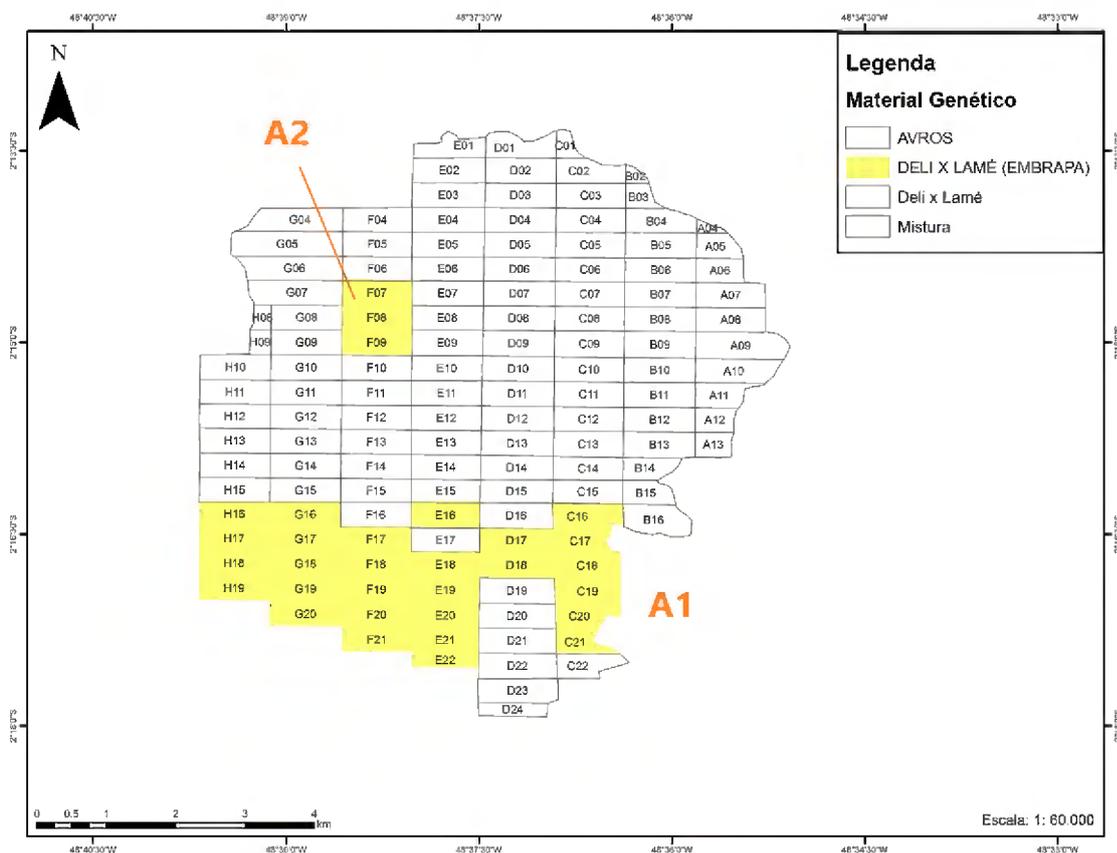


Figura 20: Localização das parcelas de palma-de-óleo do material genético Deli x Lamé (Embrapa), na fazenda CPA, município de Acará/PA, delimitando as duas áreas A¹ e A² (Fonte: Autor, 2018).

Analisando os dados anuais de plantas doentes do material Deli x Lamé (EMBRAPA) (apenas a área A¹), observa-se um crescimento bastante lento da doença nos 10 primeiros anos do estudo, variando de 1 a 5 novas plantas infectadas por ano (tabela 16). A partir de 2011 o número de plantas doentes aumentou consideravelmente,

culminando em 2.651 plantas infectadas no ano de 2014, o que representou uma taxa de infecção de 2,17%, ou 3,1 plantas doentes por ha.

Segundo LIMA *et al.*, 2002, a palma-de-óleo é uma cultura que começa a produzir comercialmente 3 anos após o plantio, atingindo a produtividade máxima entre os 7 e 12 anos. Após esse período há uma estabilidade na sua produção até a idade de 16/17 anos, quando se inicia uma ligeira e constante queda na produção. Como o plantio do Deli Lamé (EMBRAPA) era recente, era natural que a produtividade média das parcelas amentasse com o passar dos anos; isso ocorreu até o ano de 2011, onde ela atingiu uma produtividade média de 20,78 t/ha. Entretanto essa produtividade não se manteve estável, apresentando uma tendência de queda e atingindo o valor de 18,43 t/ha em 2014 (tabela 16). O mesmo comportamento pode ser observado quando analisamos o valor mínimo de produtividade na tabela 19, quando a partir de 2011 esta variável apresentou uma tendência de queda. Entretanto ao estudarmos a correlação entre as variáveis produtividade e incidência da doença, observamos ausência de significância para todos os anos, como mostra a tabela 20.

Tabela 9: Quantidade de plantas de palma-de-óleo infectadas pelo AF, taxa de crescimento da doença e porcentagem de infecção no campo; além dos dados de produção de cacho fresco por ano, para o material Deli-Lamé (EMBRAPA), área A1.

ANO	Idade	Plantas Doentes ¹			TC (%)	IA (%)	Produção	
		PDN	PDA	PDA (ha)			Total (t)	Por área (t/ha)
2001	1	-	2	0.002	50,0	0,0016	0,00	0,00
2002	2	1	3	0.004	66,7	0,0025	0,00	0,00
2003	3	2	5	0.006	0,0	0,0040	709	0,81
2004	4	0	5	0.006	20,0	0,0040	3663	4,26
2005	5	1	6	0.007	16,7	0,0049	6574	7,63
2006	6	1	7	0.008	57,1	0,0057	12014	13,97
2007	7	4	11	0.013	18,2	0,0090	9869	11,41
2008	8	2	13	0.015	38,5	0,0107	12860	14,86
2009	9	5	18	0.021	5,6	0,0148	11790	13,66
2010	10	1	19	0.022	42,1	0,0156	15126	17,59
2011	11	8	27	0.032	329,6	0,0221	17723	20,78
2012	12	89	116	0.136	565,5	0,0951	16897	19,59
2013	13	656	772	0.905	243,4	0,6400	16959	19,78
2014	14	1879	2651	3.108	50,0	2,1743	15772	18,43

Plantas Doentes¹ - PDN: Número de novas plantas doentes por ano, PDA: Número de plantas doentes acumulado, PDA (ha): Número de plantas doentes por ha TC: Taxa de crescimento de plantas doentes (%), IA: Incidência da doença acumulada (%); (Fonte: Autor, 2018).

Ao analisar os parâmetros estatísticos da variável plantas doentes e taxa de incidência (tabelas 17 e 18), observa-se que a média de ambas as variáveis apresentou valores crescentes com o passar dos anos. Neste material o valor mínimo obtido nunca diferenciou de zero, ou seja, por mais que a doença tenha se propagado na área, pelo menos uma parcela nunca foi infectada. Enquanto algumas parcelas foram pouco infectadas outras apresentaram valores relevantes, a exemplo do valor máximo obtido no ano de 2014, de 503 plantas doentes em uma única parcela, ou 10,34% de infecção (Parcela G16). Evidentemente que isso se reflete no coeficiente de variação das variáveis, que apresentou valores extremamente altos, oscilando de 145,70 a 367,17% para a variável número de plantas e 139,32 a 367,17% para incidência. A assimetria apresentou valores positivos e maiores que 1, o que demonstra que os dados estão deslocados a esquerda, já em relação ao coeficiente de curtose, ambas as variáveis apresentaram distribuição mais alta (afunilada)

Tabela 10: Parâmetros da estatística descritiva da variável número de plantas doentes afetadas pelo AF em cultivo de palma-de-óleo, considerando 28 parcelas do material genético Deli Lamé (EMBRAPA), localizados no município de Acará/PA.

Ano	Parâmetros da Análise da Estatística Descritiva			Dispersão ¹		
	Média	Mínimo	Máximo	CV	Assimetria	Curtose
2001	0,07	0,00	1,00	367,17	3,52	11,18
2002	0,11	0,00	1,00	293,97	2,69	5,61
2003	0,18	0,00	2,00	266,33	2,81	7,85
2004	0,18	0,00	2,00	266,33	2,81	7,85
2005	0,21	0,00	2,00	265,12	2,64	6,03
2006	0,25	0,00	3,00	280,21	3,09	9,56
2007	0,39	0,00	4,00	243,36	2,93	8,63
2008	0,46	0,00	5,00	258,74	3,13	9,54
2009	0,64	0,00	6,00	228,83	2,93	8,40
2010	0,68	0,00	6,00	216,19	2,88	8,20
2011	0,96	0,00	8,00	217,68	2,53	5,58
2012	4,14	0,00	30,00	196,29	2,19	3,99
2013	27,57	0,00	197,00	168,07	2,36	6,10
2014	94,68	0,00	503,00	145,70	1,68	2,18

¹ Dispersão: CV: Coeficiente de Variação (%); (Fonte: Autor, 2018).

Tabela 11: Parâmetros da estatística descritiva da variável Incidência do Amarelecimento Fatal em palma-de-óleo, considerando 28 parcelas do material genético Deli Lamé (EMBRAPA), localizados no município de Acará/PA.

Ano	Parâmetros da Análise da Estatística Descritiva Valores			Dispersão ¹		
	Média	Mínimo	Máximo	CV (%)	Assimetria	Curtose
2001	0.001	0.00	0.02	367.17	3.52	11.18
2002	0.002	0.00	0.02	293.97	2.69	5.61
2003	0.004	0.00	0.04	266.31	2.81	7.84
2004	0.004	0.00	0.04	266.31	2.81	7.84
2005	0.004	0.00	0.04	265.09	2.64	6.02
2006	0.005	0.00	0.06	280.17	3.09	9.56
2007	0.009	0.00	0.08	232.29	2.68	7.13
2008	0.010	0.00	0.10	246.93	2.94	8.46
2009	0.014	0.00	0.12	218.35	2.78	7.65
2010	0.015	0.00	0.12	206.75	2.73	7.48
2011	0.021	0.00	0.16	209.96	2.46	5.31
2012	0.093	0.00	0.68	199.33	2.30	4.57
2013	0.613	0.00	4.05	161.48	2.12	4.66
2014	2.058	0.00	10.34	139.32	1.54	1.70

¹ Dispersão: CV: Coeficiente de Variação (%); (Fonte: Autor, 2018)

Tabela 12: Parâmetros da estatística descritiva da variável produtividade de cacho fresco (t/ha) em palma-de-óleo, e coeficiente de correlação de Pearson entre as variáveis produtividade e incidência da doença considerando 28 parcelas do material genético Deli Lamé (EMBRAPA), localizados no município de Acará/PA.

Ano	Parâmetros da Análise Estatística Descritiva Valores				Dispersão ¹			² Correlação
	Média	Mínimo	Máximo	CV (%)	Assimetria	Curtose		
2001	0,00	0,00	0,00	0,00	X	X	-0.086 ^{Ns}	
2002	0,00	0,00	0,00	0,00	X	X	-0.107 ^{Ns}	
2003	0,81	0,02	2,18	91,18	0,74	-1,09	0.122 ^{Ns}	
2004	4,26	2,39	6,97	27,83	0,66	-0,29	0.091 ^{Ns}	
2005	7,63	4,70	11,33	24,42	0,41	-0,77	0.145 ^{Ns}	
2006	13,97	10,51	16,51	10,82	-0,84	0,45	0.131 ^{Ns}	
2007	11,41	8,09	15,85	15,65	0,15	0,22	0.019 ^{Ns}	
2008	14,86	10,45	19,60	16,97	0,23	-1,14	0.098 ^{Ns}	
2009	13,66	10,87	17,12	14,07	0,39	-0,84	0.112 ^{Ns}	
2010	17,59	14,33	20,67	12,12	-0,06	-1,34	-0.033 ^{Ns}	
2011	20,78	16,67	23,10	7,39	-0,83	0,41	0.115 ^{Ns}	
2012	19,59	13,92	24,37	14,74	-0,20	-1,04	0.130 ^{Ns}	
2013	19,78	12,00	29,02	25,41	0,39	-1,04	0.265 ^{Ns}	
2014	18,43	11,26	26,87	20,45	0,15	-0,24	0.053 ^{Ns}	

¹ Dispersão: CV: Coeficiente de Variação (%)

² Correlação = Ns: Não significativo (P > 0,05); (Fonte: Autor, 2018).

3.2.3.1 Análise Geoestatística

Analisando os modelos de semivariogramas que melhor se ajustaram observa-se predominância da distribuição Gaussiana, exceto para os dois últimos anos, 2013 e 2014, onde o melhor ajuste foi obtido com o modelo Esférico (Anexo 3). O modelo Gaussiano demonstra que a evolução da doença apresentou um sentido de dispersão, orientado por algum fator que geralmente é ambiental, por exemplo direção do vento ou até mesmo da chuva. Nos últimos dois anos o modelo de melhor ajuste foi o esférico, justamente devido a elevada infestação da doença na área, pois passou a ter uma dispersão em vários sentidos. O efeito pepita (C_0) variou de 0,0083 a 2300, enquanto o patamar ($C_0 + C$) de 0,0928 a 27430. A dependência espacial (IDE) variou de 0,734 a 1,0 com predominância de valores acima de 0,9; sendo caracterizada como uma dependência forte para todos os anos, exceto para 2003 onde foi classificada como moderada. Estes resultados se assemelhando aos de Amaral, 2016, que ao estudar a dispersão do amarelecimento fatal em palma-de-óleo no Pará, também obteve IDE classificados como fortes. O alcance (A) variou de 710 a 1323 metros com valor médio de 1.162 metros. O coeficiente de determinação (r^2) apresentou valores próximos a 1 na maioria dos anos, o que demonstra um bom ajuste dos modelos. A validação cruzada foi satisfatória principalmente nos anos em que o coeficiente de determinação não foi tão elevado, anos de 2012, 2013 e 2014. Nesses anos o coeficiente angular apresentou valores bem próximos a 1 (tabela 20).

Tabela 13: Modelos e parâmetros dos semivariogramas ajustados aos dados de plantas afetadas pelo AF, no município de Acará/PA, considerando o material genético Deli x Lamé (EMBRAPA) e os parâmetros da validação cruzada.

Ano	Mod	Semivariograma					Validação Cruzada			
		Co	(Co+C)	A	r2	IDE	Classe	a	b	r ²
2001	Gau	0,0083	0,093	1323	0,91	0,911	Forte	0,01	0,98	0,709
2002	Gau	0,0001	0,140	883	0,90	0,999	Forte	0,03	0,625	0,278
2003	Gau	0,0767	0,288	1124	0,99	0,734	Mod	0,05	0,682	0,157
2004	Gau	0,0527	0,279	973	0,98	0,811	Forte	0,05	0,675	0,172
2005	Gau	0,001	0,392	847	0,98	0,997	Forte	0,13	0,356	0,069
2006	Gau	0,11	0,608	902	0,99	0,819	Forte	0,12	0,516	0,078
2007	Gau	0,001	1,141	710	0,95	0,999	Forte	0,29	0,276	0,019
2008	Gau	0,176	1,811	1020	0,86	0,903	Forte	0,11	0,611	0,353
2009	Gau	0,001	2,692	786	0,96	1,000	Forte	0,48	0,265	0,024
2010	Gau	0,001	2,813	838	0,84	1,000	Forte	0,47	0,321	0,041
2011	Gau	0,09	5,287	738	0,93	0,983	Forte	0,38	0,582	0,173
2012	Gau	0,1	83,8	1405	0,71	0,999	Forte	0,04	0,942	0,899
2013	Esf	1	2533	1722	0,53	1,000	Forte	1,09	0,969	0,568
2014	Esf	2300	27430	2990	0,53	0,916	Forte	-2,6	1,022	0,718

¹Mod: Gau: Modelo Gaussiano, Esf: Modelo Esférico, C⁰: efeito pepita, (C⁰+C¹): patamar, A₀: alcance, r²: coeficiente de determinação, IDE: índice de dependência espacial, Classe, Mod: Moderada. ²Validação Cruzada: a: coeficiente linear; b: Coeficiente angular; r²: coeficiente de correlação (Fonte: Autor, 2018).

3.2.3.2 Mapa de Krigagem

Os mapas de Krigagem estão representados nas figuras 21 e 22. No ano de 2003 observamos poucos casos de doença na área e uma distribuição mais aleatória, a observar pela escala de cores a direita onde os números variaram de 0 a 1,4. Já no ano de 2009 a doença começou a se dispersar de forma mais agregada, apresentando dois pontos de maior concentração ao Norte da área. Em 2012 a doença continuou a se expandir e os pequenos pontos de alta concentração atingiram várias parcelas, além de aumentar o número de plantas doentes por parcela, conforme pode-se observar pelo crescimento dos valores na escala. Por fim no ano de 2014, toda a parte Noroeste da área estava altamente infectada pela doença. Não foi possível observar correlação expressiva entre a ocorrência da doença e proximidade com os rios da propriedade.

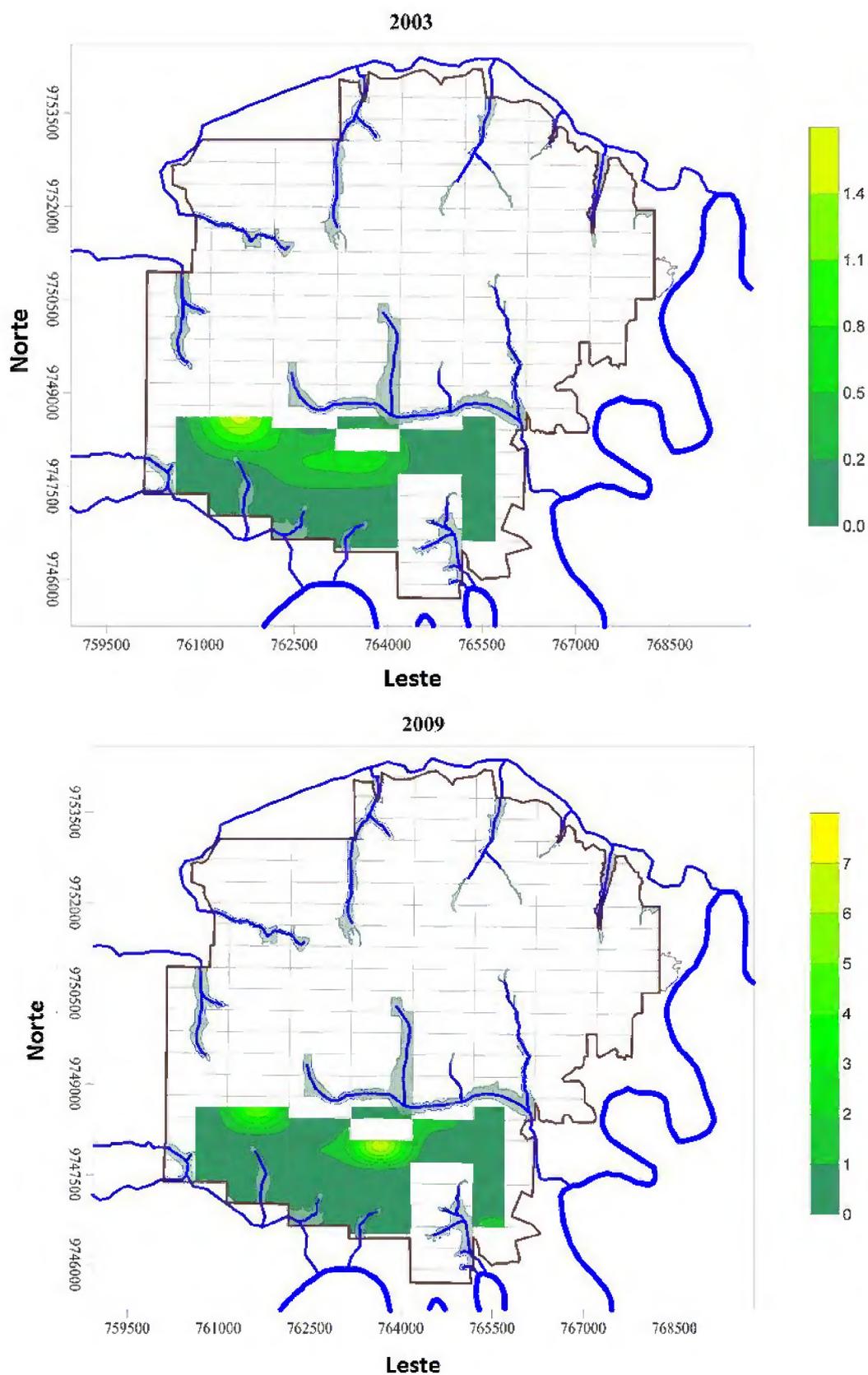


Figura 21: Mapas de distribuição espacial e temporal do Amarelecimento Fatal referentes aos anos de 2003 e 2009 para as 28 parcelas de palma-de-óleo do material Deli x Lamé (EMBRAPA). A escala de cores a direita representa o número de plantas doentes por parcela. (Fonte: Autor, 2018).

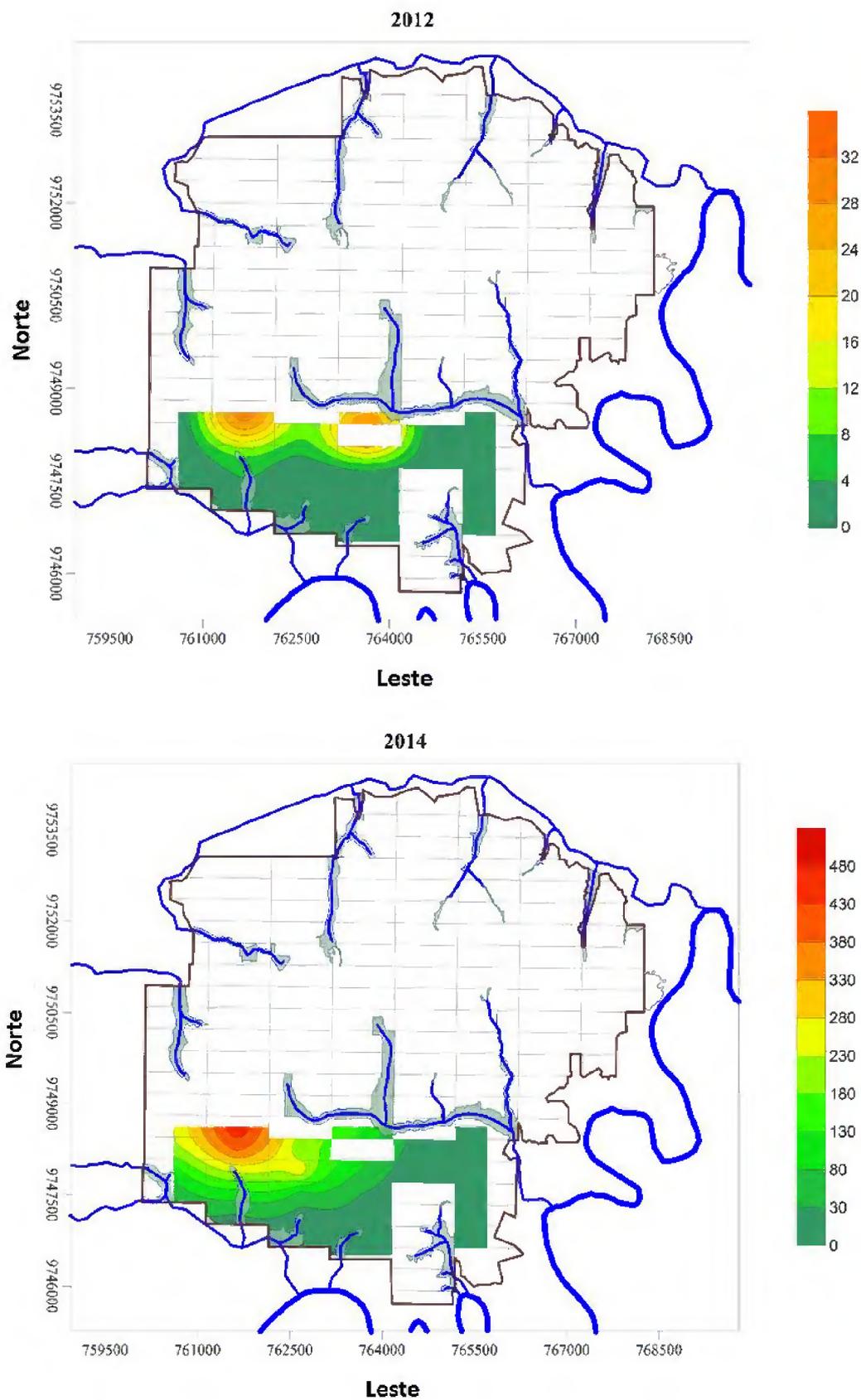


Figura 11: Mapas de distribuição espacial e temporal do Amarelecimento Fatal referentes aos anos de 2012 e 2014 para as 28 parcelas de palma-de-óleo do material Deli x Lamé (EMBRAPA). A escala de cores a direita representa o número de plantas doentes por parcela. (Fonte: Autor, 2018).

3.3 Comparação entre os materiais genéticos

Ao analisar os modelos de semivariogramas dos materiais genéticos observamos a ocorrência dos modelos Gaussiano, Exponencial e Esféricos, com predominância do primeiro modelo. Estes modelos descrevem a dispersão de pragas e doença de fatores bióticos e condizem com os modelos utilizados por Farias, *et al.*, 2002, ao estudar a dispersão de *Rotylenchulus Reniformis* em algodão, Alves *et al.*, 2006, ao estudar o ataque *Colletotrichum* spp. em feijoeiro e algodoeiro e Tales, 2011, ao estudar a distribuição espacial do Amarelecimento Fatal na cultura da palma-de-óleo. Estes resultados reforçam a ideia de o amarelecimento fatal apresentar uma causa biótica. Os materiais Deli Lamé e Avros apresentaram Efeito Pepita Puro no primeiro e nos dois primeiros anos do estudo, respectivamente, o que caracterizou início da infestação e aleatoriedade de distribuição (SILVA *et al.*, 1989). Comparando o Índice de Dependência Espacial entre os Materiais Genéticos, observamos um IDE predominantemente forte para os materiais Deli x Lamé e Deli x Lamé (EMBRAPA), e moderado para o material Avros; ou seja, a doença se dispersou de forma muito mais agregada nos materiais Deli x Lamé e Deli x Lamé (EMBRAPA), que no material Avros.

O alcance da dependência espacial (A) é um importante parâmetro nos estudos de geoestatística, pois 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. Observa-se que dentre os três materiais, o material Avros foi o que apresentou os maiores valores (A médio = 2.939 m), seguido pelo material Deli Lamé (A médio = 2.169 m) e por fim Deli Lamé (EMBRAPA) com alcance igual a 853 metros. Isso representa dizer que uma planta ou parcela doente do material Avros estaria influenciando na sanidade de outra planta a uma distância maior do que os outros materiais, ou seja, o raio de influência do material Avros seria maior. Na prática isso interferiria caso novos plantios de palma-de-óleo fossem realizados, ou até mesmo se um viveiro de mudas fosse implantado na fazenda, por exemplo. O local para esses novos plantios ou viveiro só seria considerado um local seguro, caso a distância do Alcance, determinada para cada material genético, fosse respeitada entre os antigos plantios e os novos. Esses altos valores de alcance se assemelham aos encontrados por Miranda e Medeiros (2018), que ao estudarem a dispersão do amarelecimento fatal em palma-de-óleo, no município de Moju, Pará durante os anos de 2011 a 2017, obtiveram valores de Alcance que variaram de 1710 a 2220 m.

Ao comparar os dados de incidência da doença e número de plantas doentes total e por área entre os materiais genéticos observamos valores bem superiores no material Deli x Lamé. Este material apresentou uma Taxa de Infecção final de 4,33 % equivalente a 6,2 plantas doentes por ha, enquanto o Deli Lamé (EMBRAPA) obteve 2,17 % de Taxa de Infecção e 3,11 plantas doentes por ha e o material Avros 0,276% e 0,396 plantas doentes respectivamente. Apesar do material Avros ter apresentado baixíssima infecção, não podemos considerá-lo um material tolerante, pois ele já havia sido totalmente erradicado quando a doença expandiu fortemente na fazenda. Além do mais, a doença se alastrou inicialmente nele, demonstrando assim sua susceptibilidade à doença. Em relação a produtividade o material genético que apresentou a correlação mais expressiva com a incidência da doença foi o Deli Lamé, que nos anos de maior ocorrência da doença, apresentou correlação negativa moderada, demonstrando assim o efeito prejudicial da doença na produtividade da cultura. Na tabela 21 é mostrado um resumo comparativo entre os materiais genéticos com os principais parâmetros estatísticos e geoestatísticos analisados.

Tabela 21: Modelo de Semivariograma predominante, Classificação predominante do IDE, Alcance máximo, mínimo e médio, Número de plantas doentes final acumulado (PDA), Número de plantas doentes final acumulado por ha e Infecção acumulada final da doença (IA) e obtida para cada material genéticos de palma-de-óleo, testados na Fazenda Cia dos Palmares da Amazônia, Acará PA.

Parâmetros	Material Genético		
	Avros	Deli Lamé	Deli Lamé (EMBRAPA)
Modelo	Gaussiano	Gau ¹ / Exp ² / Esf ³	Gaussiano
IDE	Moderado	Forte	Forte
Alcance Máximo	3165	4320	2990
Alcance Mínimo	2701	653	786
Alcance Médio	2.939	2.169	853
PDA (Máx.)	475	10106	2651
PDA (ha) (Máx.)	0,3955	6,2	3,11
IA (%) (Máx.)	0.276	4,33	2,17

Modelo: ¹ Gau: Gaussiano, ² Exp: Exponencial, ³ Esf: Esférico. IDE: índice de Dependência Espacial
Fonte: (Autor, 2018)

3.3 CONCLUSÕES

Os três materiais genéticos testados, Avros, Deli Lamé e Deli Lamé (EMBRAPA), apresentaram distribuição espacial, parâmetros estatísticos e geoestatísticos distintos entre si, sendo os três considerados susceptíveis ao Amarelecimento Fatal. Os modelos de semivariogramas que melhor se ajustaram a distribuição da doença foram o Gaussiano, o Esférico e Exponencial, com predominância do primeiro modelo. Isto reforça o propósito de que o Amarelecimento Fatal tenha causa biótica.

O material Avros apresentou o maior alcance médio entre os três materiais (2.939 metros), seguido pelo Deli x Lamé (2.169 metros) e por último o Deli x Lamé (Embrapa), com 853 metros. No critério da dependência espacial, o material Avros demonstrou dependência predominantemente moderada, enquanto os demais materiais, forte. No material Deli Lamé foi possível observar maior ocorrência de plantas doentes às proximidades do rio. Nos anos de maior ocorrência da doença, 2013 e 2014, o material genético Deli Lamé apresentou correlação negativa moderada entre as variáveis incidência e produtividade.

REFERÊNCIAS

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

ALVES, S. A. et al.; Caracterização dos recursos genéticos dos plantios de dendê no Estado do Pará. **Bioenergia em revista: diálogos**, ano 3, n. 1, p. 20-31, jan./jun. 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. 54 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) Universidade Federal Rural da Amazônia. Belém, 2015.

BARCELOS, E. *et al.* Coleção Plantar – Dendê. Embrapa – SPI, Brasília. 1995. 67p.

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, n.3, p. 391-396, 1998.

BERGAMIN FILHO, A.; HAU, B.; AMORIM, L.; LARANJEIRA, F., F.; Análise espacial e temporal de epidemias de patógenos de solo, In: POLTRONIERI, L, S,; VERZIGNASSI, J, R, **Fitossanidade na Amazônia: inovações tecnológicas, Belém, PA**: Embrapa Amazônia Oriental, p, 17-36, 2007.

BOARI, A. de J. Estudos realizados sobre o amarelecimento fatal do dendezeiro (*Elaeis Guineensis Jacq*).Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2008, 66p.

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 Sci, Soc, Am, J., 58:1501-1511, 1994.

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

CUNHA, R. N. V.; LOPES, R.; ROCHA, R. N. C.; LIMA, W. A. A.; TEIXEIRA, P. C.; BARCELOS, E.; RODRIGUES, M. R. L.; RIOS, S, A, *Domestication and breeding of the american oil palm*, In: BOÉM, A.; LOPES, M. T. G.; CLEMENT, C. R.; NODA, H. (Ed.), *Domestication and breeding: Amazon species*, Viçosa: Suprema, 2012, p. 275-296.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, EMBRAPA-Solos, **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**, 3 ed. Rev. ampl. Brasília, DF: Embrapa. 2013. 353 f.

FARIAS, P. R. S. *et al. Spatial analysis of the distribution of Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) *and losses in maize crop productivity using geostatistics. Neotropical Entomology*, v. 37, n. 3. p. 321-327, 2008.

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

ISSAASKS, E. H.; SRIVASTAVA, R. M. *An introduction to applied geostatistical*, Oxford: University Press, 1989.

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, n.3, p.397-403, 1998.

LEAL, R. M. *et al.* Distribuição espacial de Huanglongbing (Greening) em citros utilizando a geoestatística. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 32, n. 3, p. 808-818, 2010.

LIMA, S. M. V.; FREITAS FILHO, A. de; CASTRO, A. M .G. de; SOUZA, H. R. de. Desempenho da cadeia produtiva do dendê na Amazônia Legal. Belém: PRODEAM, 2002. 162 p. Trabalho realizado no âmbito do Acordo de Cooperação Técnica SUDAM/OEA,

mediante contrato de consultoria com a Fundação de Apoio ao Desenvolvimento da Universidade Federal de Pernambuco-FADE e cooperação técnica da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária-EMBRAPA.

LOPES R., CUNHA, R. N. V., RESENDE, M. D. V., Produção de cachos e parâmetros genéticos de híbridos de caiaué com dendezeiro, *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*, v, 47, n, 10, p, 1496-1503, p, 2012.

MIRANDA, J. R. C. e MEDEIROS, W. V. **Distribuição espacial e temporal do amarelecimento fatal da palma de óleo (*Elaeis guineensis* jacq.) com uso da geoestatística, no município de Mojú – Pará.** 2018. 35 f. Trabalho de Conclusão de Curso de Agronomia. Universidade Federal Rural da Amazônia. Belém, 2018.

MONTES, F.; HERNÁNDEZ, J. M.; CAÑELLAS, ISABEL, *A geostatistical approach to cork production sampling estimation in Quercus suber forests, Canadian Journal of Forest Research*, vol,35, p,2787-2796, 2005.

PIMENTEL GOMES, F.; Curso de Estatística Experimental, 14 ed. Piracicaba: Degaspari, 2000, 477 p.

RAMALHO FILHO, A.; MOTTA, P, E, F.; NAIME, U, J.; GONCALVES, A, O;; TEIXEIRA, W, G, **Zoneamento agroecológico para a cultura da dendezeiro nas áreas desmatadas da Amazônia Legal**, In: RAMALHO FILHO, A.; MOTTA, P. E. F.; FREITAS, P. L.; TEIXEIRA, W. G. T.; **Zoneamento agroecológico, produção e manejo para a cultura da dendezeiro na Amazônia**, Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2010, p. 57-68.

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

SALVIANO, A. A. C.; VIEIRA, S.R. & SPAROVEK, G.; Variabilidade espacial de atributos de solo e de *Crotalaria juncea* L. em área severamente erodida, **R. Bras. Ci. Solo.** 22:115-122, 1998.

SILVA, A.P.; LIBARDI, P.L. & VIEIRA, S. R., Variabilidade espacial da resistência a penetração de um Latossolo Vermelho-Escuro ao longo de uma transeção, **R. Bras. Ci. Solo**, 13:1-5, 1989.

SILVA JUNIOR, R. L., **Variabilidade espacial do índice de cone correlacionada com mapas de produtividade**. Piracicaba. 2001, 132p. Dissertação (Mestrado) Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Universidade de São Paulo, 2001.

SILVA, J. S. de O. **Produtividade de óleo de palma na cultura do dendê na Amazônia Oriental: influência do clima e do material genético**. 2006. 65f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia), Universidade Federal de Viçosa. Viçosa-MG.

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

TORRES, G. A.; SARRIA; G. A.; MARTINEZ; G.; VARON, F.; DRENTH, A.; GUEST, D. I. *Bud rot caused by *Phytophthora palmivora*: A destructive emergencing disease of oil palm. **Phytopathology**. 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.*

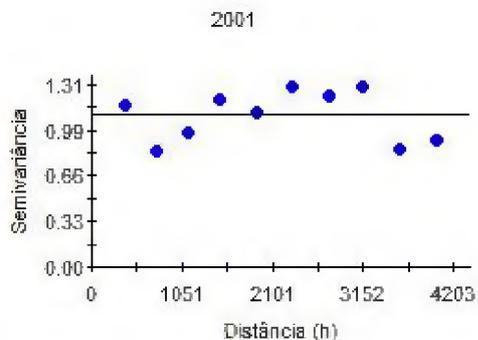
VIEIRA, S. R.; Geoestatística aplicada à agricultura de precisão, In: BOREN, A, *et al.* **Agricultura de precisão**, Viçosa: UFV. 2000, p.93-108.

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.

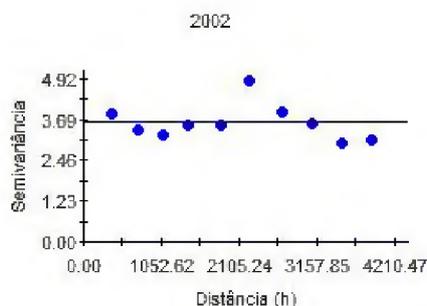
ZIMBACK, C. R. L. Análise espacial de atributos químicos de solos para fins de mapeamento da fertilidade, 2001. 114 f. Tese (Livre-Docência) - Faculdade de Ciências Agrárias, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2001.

ANEXO 1

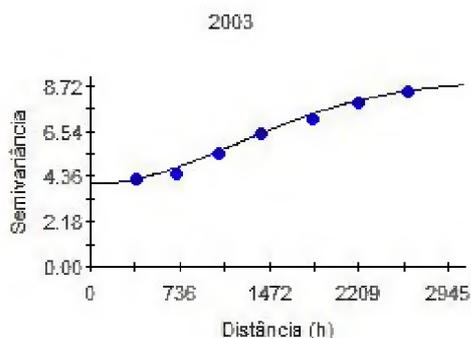
Semivariogramas ajustados para o material genético Avros



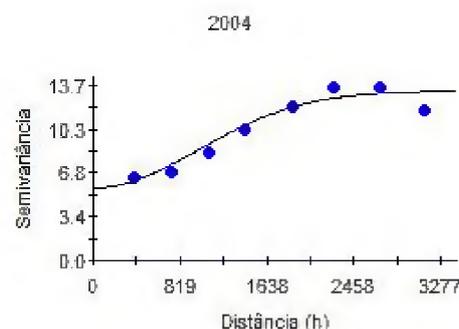
Linear model ($C_0 = 1.10248$; $C_0 + C = 1.10248$; $A_0 = 3978.02$; $RSS = 0.295$)



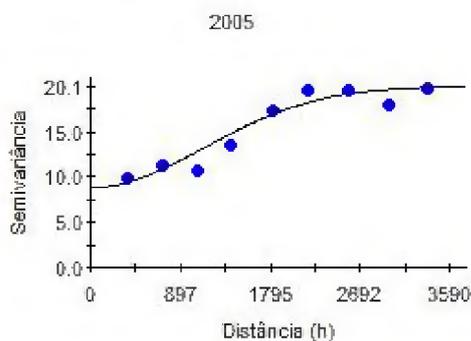
Linear model ($C_0 = 3.65002$; $C_0 + C = 3.65002$; $A_0 = 3879.19$; $RSS = 2.69$)



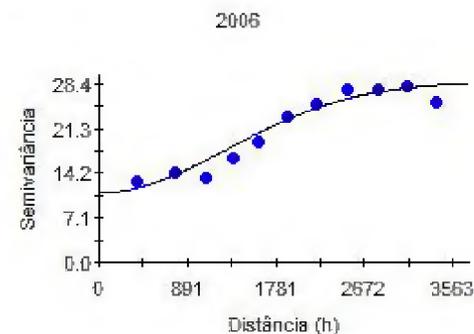
Gaussian model ($C_0 = 4.01000$; $C_0 + C = 8.97800$; $A_0 = 1709$; $RSS = 0.0567$)



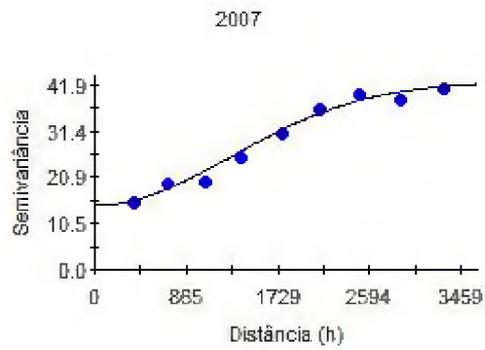
Gaussian model ($C_0 = 5.67000$; $C_0 + C = 13.25000$; $A_0 = 1402$; $RSS = 3.56$)



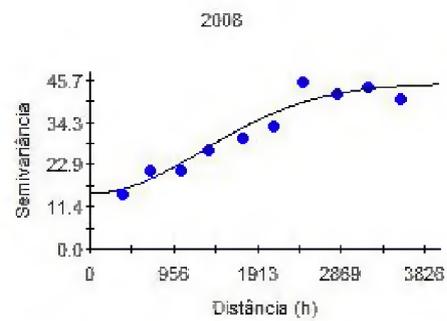
Gaussian model ($C_0 = 8.89000$; $C_0 + C = 20.13000$; $A_0 = 1608$; $RSS = 11.1$)



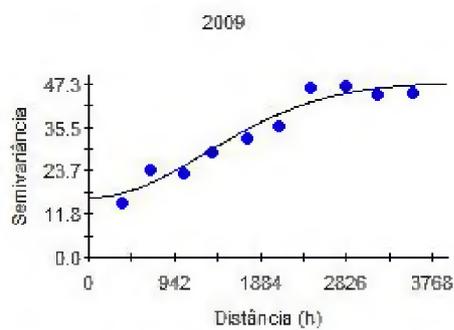
Gaussian model ($C_0 = 11.09000$; $C_0 + C = 28.81000$; $A_0 = 182$; $RSS = 22.3$)



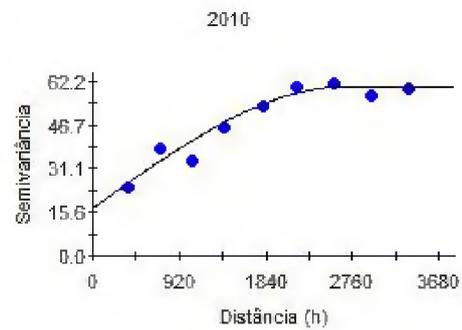
Gaussian model ($C_0 = 14.60000$; $C_0 + C = 42.63000$; $A_0 = 181$
RSS = 16.5)



Gaussian model ($C_0 = 15.06000$; $C_0 + C = 44.84000$; $A_0 = 182$
RSS = 72.6)



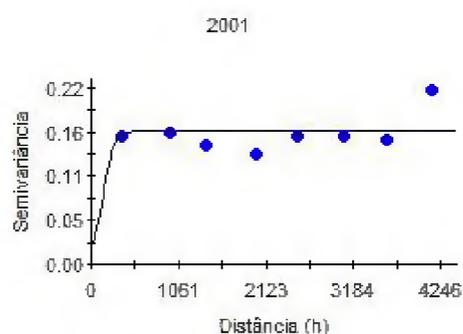
Gaussian model ($C_0 = 16.25000$; $C_0 + C = 47.73000$; $A_0 = 182$
RSS = 69.0)



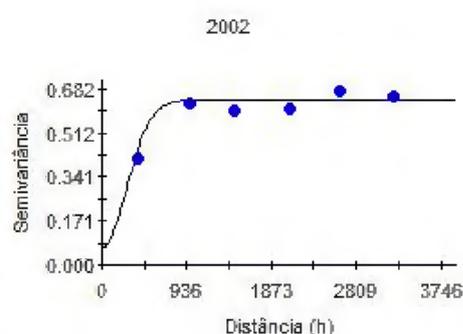
Spherical model ($C_0 = 17.00000$; $C_0 + C = 60.48000$; $A_0 = 270$
RSS = 94.8)

ANEXO 2

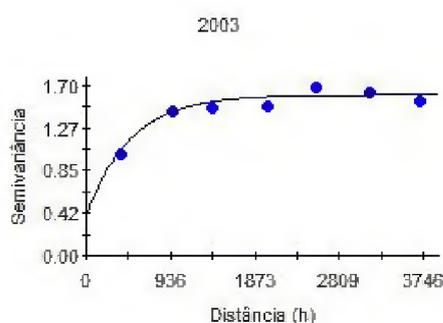
Semivariogramas ajustados para o material genético Deli Lamé



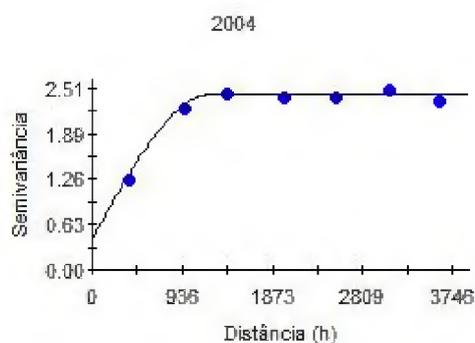
Gaussian model ($C_0 = 0.02710$; $C_0 + C = 0.16420$; $A_0 = 193.0$
RSS = $3.860E-03$)



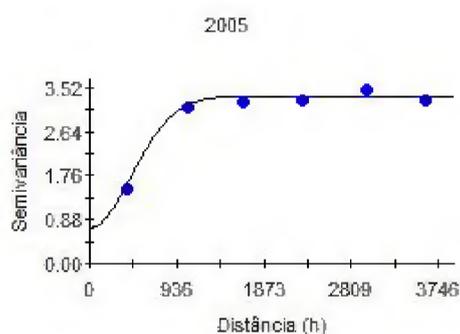
Gaussian model ($C_0 = 0.06700$; $C_0 + C = 0.64000$; $A_0 = 377.0$
RSS = $4.101E-03$)



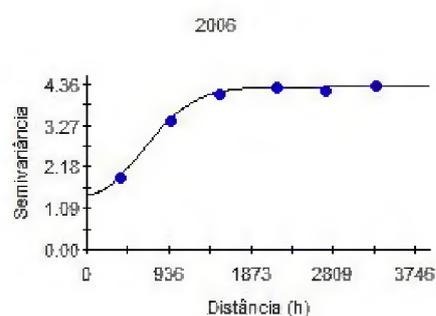
Exponential model ($C_0 = 0.38700$; $C_0 + C = 1.60300$; $A_0 = 481$
RSS = 0.0231)



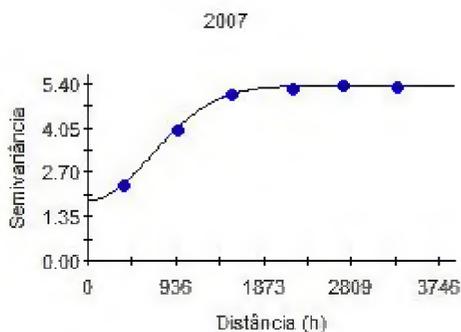
Spherical model ($C_0 = 0.41800$; $C_0 + C = 2.42900$; $A_0 = 1227.1$
RSS = 0.0143)



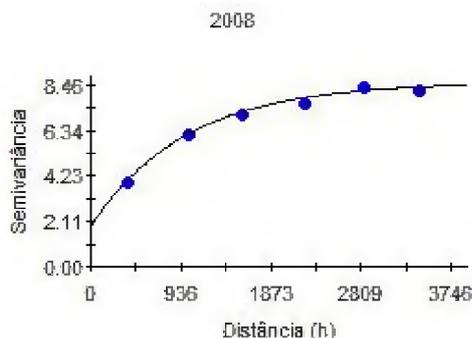
Gaussian model ($C_0 = 0.71900$; $C_0 + C = 3.34800$; $A_0 = 637.0$
RSS = 0.0383)



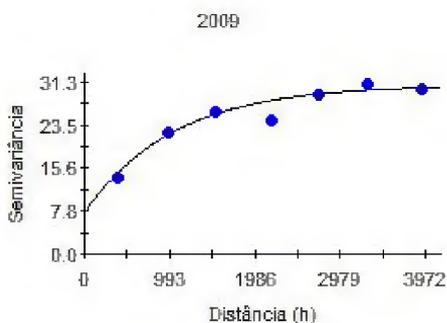
Gaussian model ($C_0 = 1.44300$; $C_0 + C = 4.29000$; $A_0 = 864.0$
RSS = $9.554E-03$)



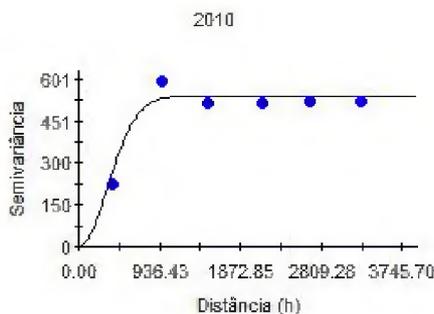
Gaussian model ($C_0 = 1.84000$; $C_0 + C = 5.35600$; $A_0 = 953.0$; $RSS = 9.305E-03$)



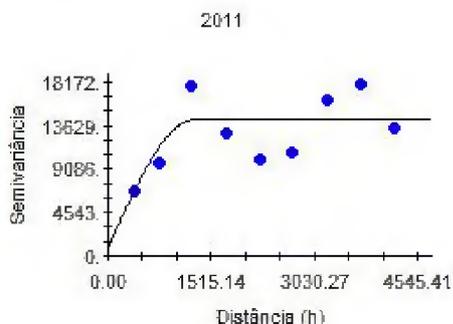
Exponential model ($C_0 = 1.89000$; $C_0 + C = 8.59100$; $A_0 = 985$; $RSS = 0.107$)



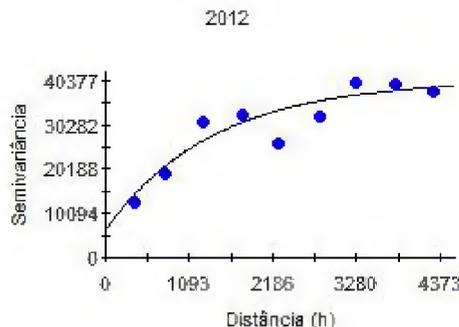
Exponential model ($C_0 = 7.54000$; $C_0 + C = 30.80000$; $A_0 = 10$; $RSS = 14.5$)



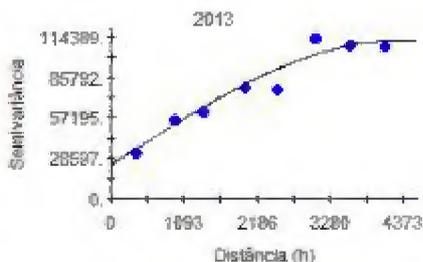
Gaussian model ($C_0 = 1.00000$; $C_0 + C = 540.90000$; $A_0 = 47$; $RSS = 6090.$)



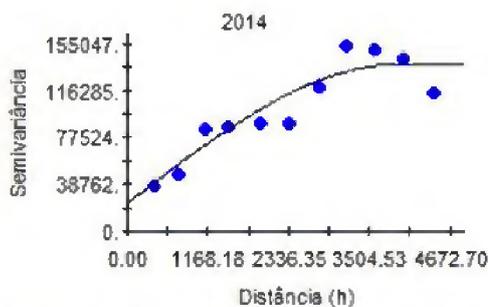
Spherical model ($C_0 = 830.00000$; $C_0 + C = 14260.00000$; $A_0 =$; $RSS = 6.41E+07$)



Exponential model ($C_0 = 6600.00000$; $C_0 + C = 40500.00000$; $A_0 =$; $RSS = 1.05E+08$)



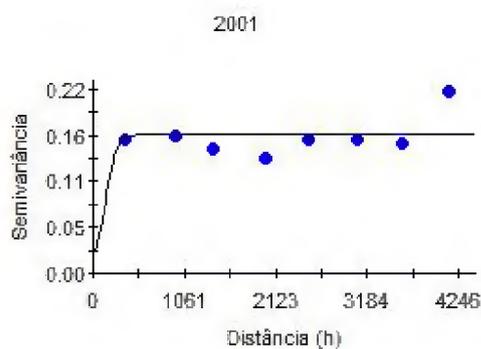
Spherical model ($C_0 = 24000.00000$; $C_0 + C = 112200.00000$; $A_0 =$; $RSS = 3.85E+08$)



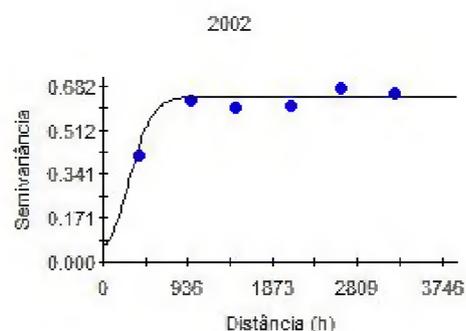
Spherical model ($C_0 = 23100.00000$; $C_0 + C = 138100.00000$; $A_0 =$; $RSS = 2.22E+09$)

ANEXO 3

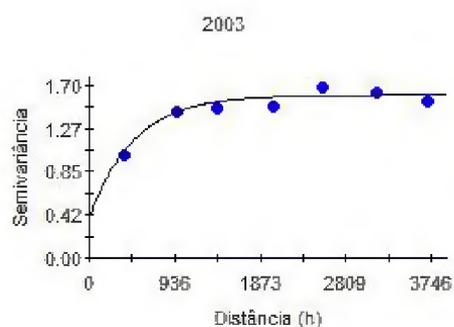
Semivariogramas ajustados para o material genético Deli x Lamé (EMBRAPA)



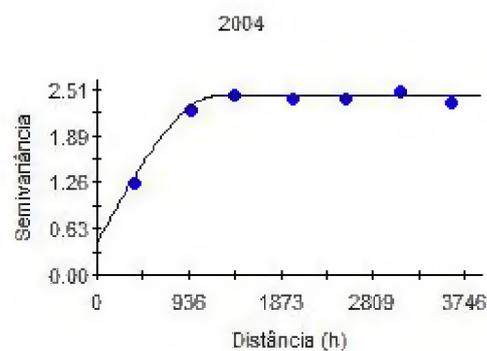
Gaussian model ($C_0 = 0.02710$; $C_0 + C = 0.16420$; $A_0 = 193.0$
RSS = $3.860E-03$)



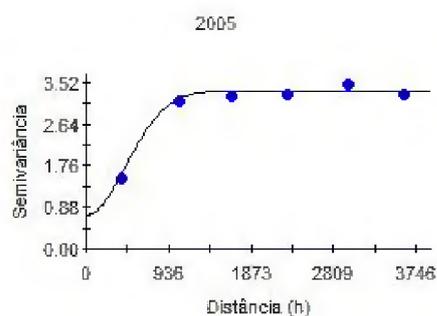
Gaussian model ($C_0 = 0.06700$; $C_0 + C = 0.64000$; $A_0 = 377.0$
RSS = $4.101E-03$)



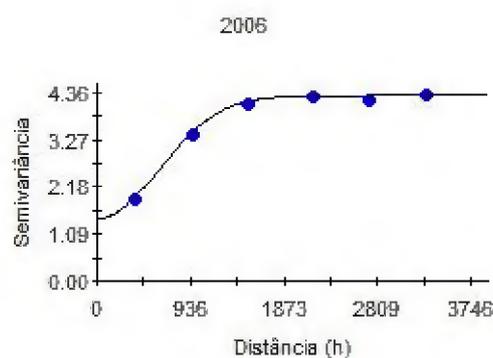
Exponential model ($C_0 = 0.38700$; $C_0 + C = 1.60300$; $A_0 = 481$
RSS = 0.0231)



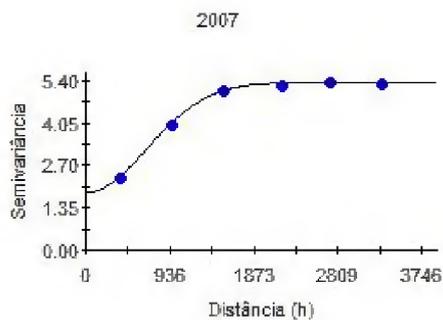
Spherical model ($C_0 = 0.41800$; $C_0 + C = 2.42900$; $A_0 = 1227.1$
RSS = 0.0143)



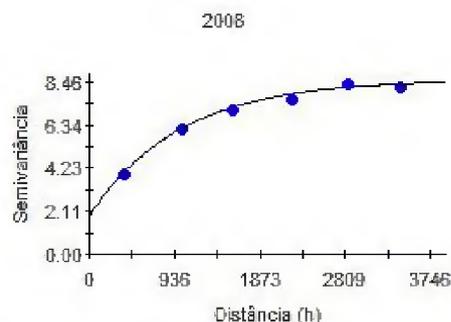
Gaussian model ($C_0 = 0.71900$; $C_0 + C = 3.34800$; $A_0 = 637.0$
RSS = 0.0383)



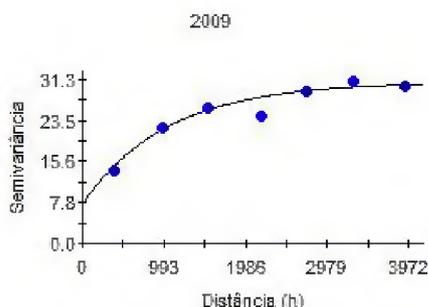
Gaussian model ($C_0 = 1.44300$; $C_0 + C = 4.29000$; $A_0 = 864.0$
RSS = $9.554E-03$)



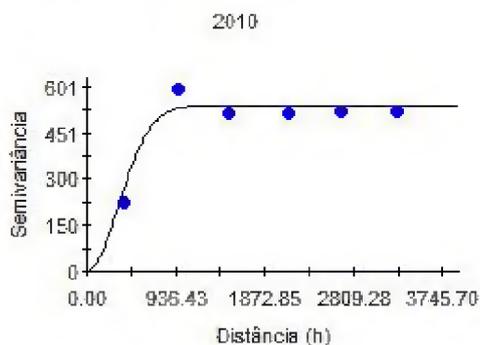
Gaussian model ($C_0 = 1.84000$; $C_0 + C = 5.35600$; $A_0 = 953.0$; $RSS = 9.305E-03$)



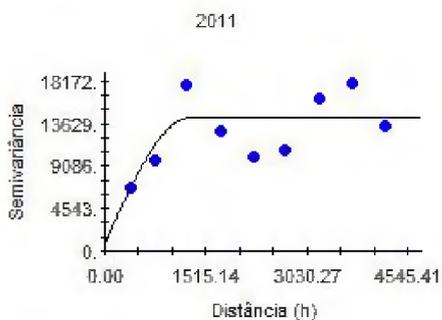
Exponential model ($C_0 = 1.89000$; $C_0 + C = 8.59100$; $A_0 = 985$; $RSS = 0.107$)



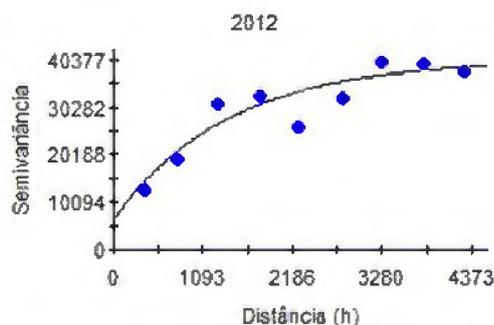
Exponential model ($C_0 = 7.54000$; $C_0 + C = 30.80000$; $A_0 = 7$; $RSS = 14.5$)



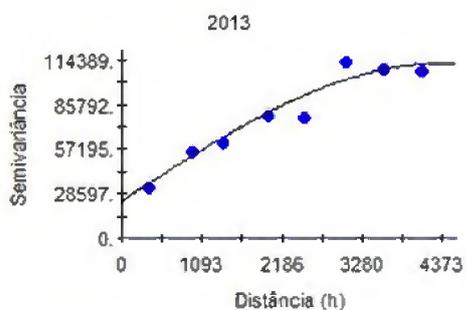
Gaussian model ($C_0 = 1.00000$; $C_0 + C = 540.90000$; $A_0 = 474$; $RSS = 6090.$)



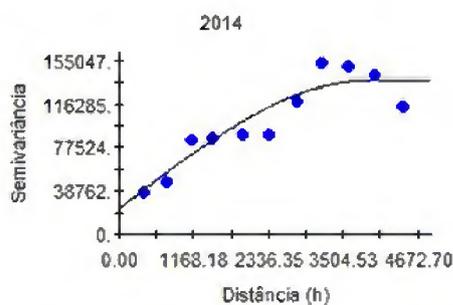
Spherical model ($C_0 = 830.00000$; $C_0 + C = 14260.00000$; $A_0 = 1$; $RSS = 6.41E+07$)



Exponential model ($C_0 = 6600.00000$; $C_0 + C = 40500.00000$; $RSS = 1.05E+08$)



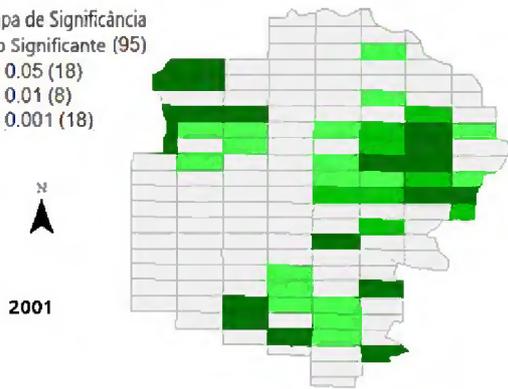
Spherical model ($C_0 = 24000.00000$; $C_0 + C = 112200.00000$; $RSS = 3.65E+08$)



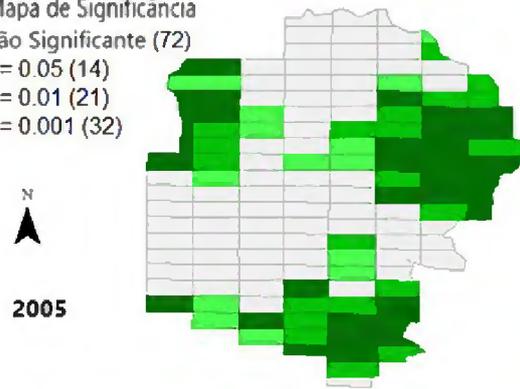
Spherical model ($C_0 = 23100.00000$; $C_0 + C = 138100.00000$; $RSS = 2.22E+09$)

ANEXO 4 - LISA Mapas de Significância

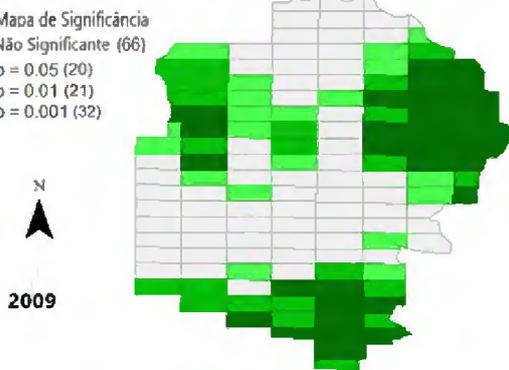
LISA Mapa de Significância
 □ Não Significante (95)
 ■ $p = 0.05$ (18)
 ■ $p = 0.01$ (8)
 ■ $p = 0.001$ (18)



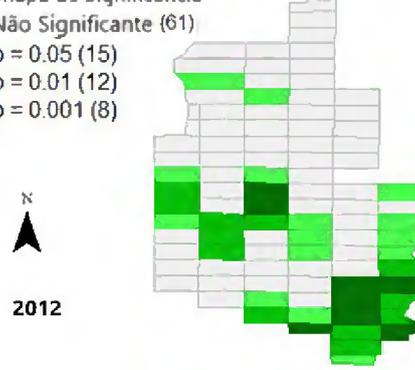
LISA Mapa de Significância
 □ Não Significante (72)
 ■ $p = 0.05$ (14)
 ■ $p = 0.01$ (21)
 ■ $p = 0.001$ (32)



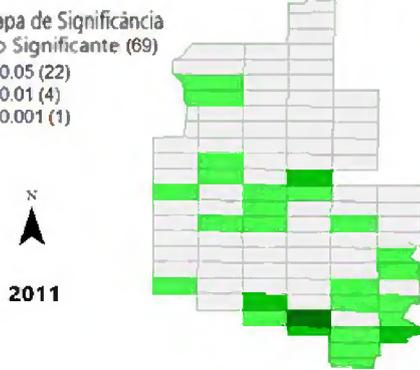
LISA Mapa de Significância
 □ Não Significante (66)
 ■ $p = 0.05$ (20)
 ■ $p = 0.01$ (21)
 ■ $p = 0.001$ (32)



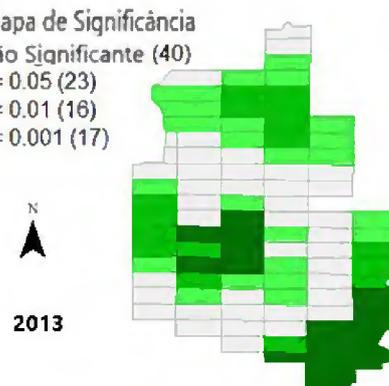
LISA Mapa de Significância
 □ Não Significante (61)
 ■ $p = 0.05$ (15)
 ■ $p = 0.01$ (12)
 ■ $p = 0.001$ (8)



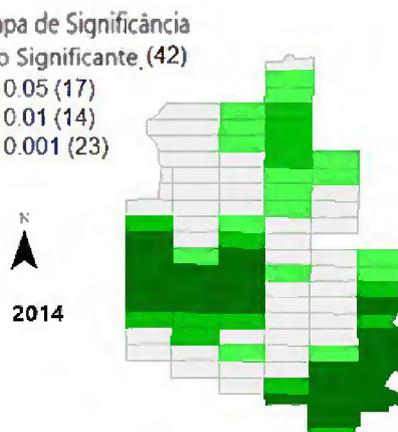
LISA Mapa de Significância
 □ Não Significante (69)
 ■ $p = 0.05$ (22)
 ■ $p = 0.01$ (4)
 ■ $p = 0.001$ (1)



LISA Mapa de Significância
 □ Não Significante (40)
 ■ $p = 0.05$ (23)
 ■ $p = 0.01$ (16)
 ■ $p = 0.001$ (17)



LISA Mapa de Significância
 □ Não Significante (42)
 ■ $p = 0.05$ (17)
 ■ $p = 0.01$ (14)
 ■ $p = 0.001$ (23)



ANEXO 5

Índice Global de Moran (a) e Teste de permutação aleatória por ano (b).

