



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

WENDY VIEIRA MEDEIROS

**ANÁLISE ESPAÇO-TEMPORAL DO PATOSSISTEMA DO ANEL VERMELHO EM
PALMA-DE-ÓLEO NA AMAZÔNIA ORIENTAL**

BELÉM

2019

WENDY VIEIRA MEDEIROS

**ANÁLISE ESPAÇO-TEMPORAL DO PATOSSISTEMA DO ANEL VERMELHO EM
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.

Área de concentração: Agronomia

Orientador: Prof. Dr. Paulo Roberto Silva Farias

BELÉM

2019

WENDY VIEIRA MEDEIROS

**ANÁLISE ESPAÇO-TEMPORAL DO PATOSSISTEMA DO ANEL VERMELHO EM
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. Área de Concentração: Agronomia.

Aprovado em 14 de fevereiro de 2020

BANCA EXAMINADORA:

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

Dra. Alessandra Daniele de Sousa Brandão – 1º Examinador
CIKEL

Dr. Ricardo Salles Tinoco – 2º Examinador
Acrotech

Dr. Gilson Sanchez Chia – 3º Examinador
AGROPALMA

AGRADECIMIENTO

Listas de Ilustrações

Figura 1: Mapa de localização da fazenda Agropar, pertencente a empresa Agropalma, PA-Brasil.....	21
Figura 2: Centróide dos Talhões. Fazenda Agropar. AGROPALMA S.A.	22

SUMÁRIO

RESUMO	7
ABSTRACT	8
1. CONTEXTUALIZAÇÃO	9
2.1. Geral	10
2.2. Especifico	10
3. Revisão de literatura	10
3.1.1. Importância econômica da cultura	10
3.1.2. Principais doenças e insetos-pragas em cultivos de palma de óleo	11
3.1.3. <i>Rhynchophorus palmarum</i> L. (Coleoptera: Curculionidae)	12
3.1.4. Anel vermelho, (<i>Bursaphelenchus cocophilus</i> (Cobb) Baujard,)	13
REFERENCIAS	Erro! Indicador não definido.
ANÁLISE ESPAÇO-TEMPORAL DO PATOSSISTEMA DO ANEL VERMELHO EM PALMA-DE-ÓLEO NA AMAZÔNIA ORIENTAL	20
2. INTRODUÇÃO	20
4. MATERIAL E MÉTODOS	21
4.1. Amostragem e construção do banco de dados do anel-vermelho	21
4.2. Amostragem e construção do banco de dados do <i>R.palmarum</i>	22
4.3. Análise Geoestatística	14
5.4.1. <i>Cálculo do modelo matemático:</i>	15
5.4.4. <i>Modelo exponencial:</i>	17
5.4.5. <i>Modelo Esférico:</i>	18
5.4.6. <i>Modelo Gaussiano:</i>	18
5.5. Softwares utilizados nas análises	24
6. RESULTADOS E DISCUSSÕES	24
6.1. Distribuição espacial e temporal do Anel Vermelho	24
6.2. Distribuição espacial de <i>R.palmarum</i>	30
7. CONCLUSÕES	36
8. REFERÊNCIAS	36

RESUMO

A palma de óleo (*Elaeis guineensis* Jacq.) é oriunda da África Ocidental, na região do Golfo da Guiné. Foi trazida ao Brasil no período colonial, século XVII, pelos escravos e seu cultivo começou no Brasil na década de 70, sendo uma espécie perene tropical de origem africana que expressa melhor seu potencial de produção sob alta temperatura, radiação solar, alta precipitação e umidade relativa do ar. Dentre as principais moléstias que atacam essa palmeira e outras palmeiras de importância econômica, a doença Anel Vermelho é uma das mais severas e letais, levando a planta a morte e pondo em risco o desenvolvimento dos plantios da região. Dessa forma, objetivou-se avaliar a distribuição espacial e temporal do Anel Vermelho e *R.Palmarum* em plantio convencional de palma de óleo no município de Tailândia, estado do Pará, na área de produção da Fazenda AGROPAR, pertencente à Empresa AGROPALMA S.A, através de dados obtidos mensalmente de uma série Histórica de 2014 a 2018, utilizando como ferramenta a Geoestatística. Para, avaliar a dispersão do Anel Vermelho e *R.Palmarum* utilizou-se o método de presença e ausência, sendo (1) para a presença e (0) para ausência. Deste modo, foram gerados semivariogramas e testado os modelos teóricos: Esférico, gaussiano, exponencial e linear (efeito pepita puro). Os semivariogramas obtidos foram submetidos ao estimado da Krigagem para a confecção dos mapas de dispersão do Patossistema. Por meio dos semivariogramas observou-se que o modelo que melhor se ajustou à distribuição espacial do anel vermelho foi o gaussiano, com valores de alcance para a área experimental variando de 690 m a 870 m. Já para a distribuição do *R.Palmarum* os modelos que melhor se ajustaram foi o esférico e exponencial, com valores de alcance de 860 m a 4990 m e que a infestação de *R. palmarum* localiza-se preferencialmente na periferia das quadras.

Palavra Chave: dependência espacial, *Elaeis guineenses*, krigagem; raio de propagação.

ABSTRACT

The oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) Comes from West Africa in the Gulf of Guinea region. It was brought to Brazil in the colonial period, 17th century, by slaves and its cultivation began in Brazil in the 70's, being a tropical perennial species of African origin that best expresses its production potential under high temperature, solar radiation, high precipitation and humidity. relative air. Among the main diseases that attack this palm and other palm trees of economic importance, the Red Ring disease is one of the most severe and lethal, causing the plant to death and endangering the development of plantations in the region. Thus, the objective was to evaluate the spatial and temporal distribution of Anel Vermelho and R.Palmarum in conventional oil palm planting in the municipality of Thailand, state of Pará, in the production area of AGROPAR Farm, belonging to AGROPALMA SA, through monthly data from a Historical Series from 2014 to 2018, using as a tool the Geostatistics. To evaluate the dispersion of the Red Ring and R.Palmarum we used the presence and absence method, being (1) for presence and (0) for absence. Thus, semivariograms were generated and the theoretical models were tested: Spherical, Gaussian, exponential and linear (pure nugget effect). The semivariograms obtained were submitted to the estimated Kriging for the preparation of the Patossystem dispersion maps. Through semivariograms it was observed that the model that best adjusted to the spatial distribution of the red ring was the Gaussian, with range values for the experimental area ranging from 690 m to 870 m. For R.Palmarum distribution, the best fit models were spherical and exponential, with range values from 860 m to 4990 m and R. palmarum infestation is preferentially located on the outskirts of the blocks.

Keyword: space dependence, Guinean *Elaeis*, kriging; radius of propagation.

1. CONTEXTUALIZAÇÃO

A palma-de-óleo (*Elaeis guineensis* Jacq.) é uma espécie perene tropical de origem africana que foi introduzida no Brasil no século XVII pelos escravos e seu cultivo começou no Brasil na década de 70 (VENTURIERI et al., 2009). Essa cultura ocupa 8% das terras alocadas para o cultivo de oleaginosas e ocupa quase um terço da produção global de óleos vegetais. Estima-se que a produção mundial de óleo de palma atinja cerca de 76 milhões de toneladas nos anos de 2019 e 2020, sendo a Indonésia e Malásia responsáveis por 84,5% dessa produção (ABRAPALMA, 2017; USDA, 2019).

Uma vez que a palma-de-óleo apresenta todo esse destaque na economia é de se esperar que ela venha enfrentar diversos problemas na sua cadeia produtiva. Dentre esses fatores os problemas fitossanitários tomam destaque, principalmente com insetos-pragas, que acometem essa cultura. Em áreas com manejo fitossanitário inadequado o crescimento da população de *R. palmarum* culminam no aumento do número de plantas atacadas pelo anel-vermelho em plantios comerciais de palma-de-óleo (BOARI et al., 2016). Pois existe interação do inseto *Rhynchophorus palmarum* (L) (Coleoptera: Curculionidae) este que é o principal veículo de transmissão da doença do anel-vermelho (*Bursaphelenchus cocophilus* (Cobb, 1919) Baujard, 1989, (Nematoda: Aphelenchoides).

Em 1954, a doença ocorreu pela primeira vez no Brasil, no estado do Rio de Janeiro. Desde então, se espalhou pelos estados da Bahia, Pernambuco, Sergipe, Alagoas, Ceará e São Paulo (CASTRO et al., 2009; WARWICK, 2005). Uma das principais formas de controlar a infestação dessa doença no campo é por meio da erradicação de plantas, que acarreta em perda de produtividade, e por armadilhas tipo balde com atrativos alimentares associados à feromônio, (CYSNE et al., 2013; MOURA et al., 1997; MOURA & BUSOLI, 2006) pratica essa que exige mão-de-obra e custo com armadilhas.

Como uma forma de tentar diminuir tais entraves no controle deste patossistema o estudo persiste em Analisar a distribuição espacial e temporal de *Bursaphelenchus cocophilus* Cobb e *R. palmarum*. Avanços tecnológicos na agropecuária têm mostrado a importância de se medir a variação espacial e temporal de propriedades que afetam o rendimento das culturas, com o objetivo de otimizar o aproveitamento de recursos e diminuir custos (CARVALHO et al., 2002.).

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 (ALVES et al., 2006), sendo assim, através da geoestatística é possível observar o padrão de distribuição do *Bursaphelenchus cocophilus* Cobb e *R.*

palmarum e assim sugerir, que armadilhas, sejam colocadas em locais estratégicos para tentar diminuir as perdas com o ataque.

2. OBJETIVOS

2.1.Geral

- Avaliar a distribuição espacial e temporal do Anel Vermelho em plantio convencional de palma de óleo no município de Acara- PA.

2.2.Específico

- Avaliar a flutuação temporal do anel-vermelho e *R.palmarum* em um plantio de palma de óleo.
- Determinar o raio de alcance do anel-vermelho e *R.palmarum* através da geoestatística Avaliar a relação da dispersão do anel vermelho com os Fatores Bióticos (Ocorrências de *R.palmarum*) e Abióticos (Pluviosidade) em áreas mais afetadas.

3. Revisão de literatura

3.1.1. Importância econômica da cultura

A produção mundial de óleo de palma atinge 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, 2017). De acordo com Euler et al., (2015) afirmam que um dos principais motivos da produção de óleo de palma está aumentando é a crescente demanda por óleos vegetais, biocombustíveis e políticas governamentais favoráveis nos países produtores.

O Brasil, como um dos países produtores, ocupa a 9ª colocação na produção mundial, só no ano de 2017 o país chegou a apresentar 1.676.421 toneladas de cacho e 395.000 toneladas de óleo de palma por ano (ABRAPALMA, 2017; IBGE, 2017) tornando assim essa palmeira umas das principais culturas perenes do Brasil.

A área plantada no País, vem aumentando a nível mundial, segundo dados da (FAPESPA, 2015), no Brasil a área cultivada é cerca de 170 mil hectares e teve expansão marcante nos últimos anos, principalmente no Estado do Pará que é responsável por 90% da produção nacional dessa commodity e o município de Tailândia/PA por 405.055 toneladas de cachos, representando 27,26% da quantidade produzida desse estado. (FADESPA, 2017; IBGE, 2017). O destaque dessa cultura na região do nordeste da Amazônia aconteceu principalmente nos últimos dez anos, devido a grandes incentivos com o zoneamento do cultivo e com o aumento de demanda mundial pelo óleo (BECKER, 2010).

De acordo com Tinôco, (2008) afirma que o Brasil é referência em tecnologias de produção de biocombustíveis tanto que, segundo BOARI (2008) a palma de óleo tem ganhado ainda mais destaque nos últimos anos com a crescente demanda desse setor. A palma de óleo se destaca na agricultura mundial por possuir elevada produção de óleo por unidade de área, alcançando uma produtividade de 4 a 6 toneladas de óleo por hectare/ano nas Américas.

O óleo de dendê é considerado como a melhor alternativa como fonte para produção de biodiesel. De acordo com Rocha (2007) a produtividade de óleo de palma é 10 vezes superior à produtividade de óleo de soja, com rendimentos variando de 4 a 6 t/ha/ano justificando a utilização para a produção de biodiesel. Além disso, por ser uma cultura perene de ciclo longo e de cultivo manual apresenta alta contribuição para o desenvolvimento social com a geração de empregos (PÁDUA, 2012) e há uma forte demanda por parte das indústrias alimentícias no mercado internacional e essa concorrência pode aumentar devido à pressão por fontes de óleos livres de gorduras trans.

3.1.2. Principais doenças e insetos-pragas em cultivos de palma de óleo

Alguns fatores podem limitar a expansão dos plantios da palma de óleo no Brasil, dentre eles, as doenças se destacam como ameaça primária ao cultivo da cultura. (CARVALHO & SANTOS, 2013).

A palma-de-óleo pode ser afetado por várias doenças, são elas: Arcada foliar ou doença da coroa; Podridão-seca do coração ou mancha anular; “Marchitez sorpresiva”, “hartrot”, murcha fatal ou seca súbita (*Phytoplasma* sp.); fusariose ou secamento letal, (*Fusarium oxysporum* f. sp. *elaeidis*); Anel vermelho, (*Bursaphelenchus cocophilus* (Cobb) Baujard.); Amarelecimento fatal (AF) ou guia podre ou podridão-da-flecha, cujo agente causal ainda é desconhecido. No Brasil, a fusariose, o anel vermelho e o amarelecimento fatal são as doenças mais importantes por causarem as maiores perdas na produção (FREIRE, 1988; BOARI, 2008).

Segundo Carvalho & Santos, (2013) enfatizam que, além de doenças como murchas, manchas foliares e podridões de etiologia fúngica que ocorrem em plantios, reduzindo o crescimento e metabolismo de plantas, o estande final e, conseqüentemente, a produtividade e lucratividade dos palmares, o amarelecimento-fatal (AF), desordem cuja causa ainda é desconhecida, pode comprometer a exploração da palma de óleo em grandes áreas.

Existem também pelo menos 41 espécies de insetos-pragas que foram relatados causando injúrias a palma de óleo como o bicudo-das palmáceas (*Rhynchophorus palmarum*. Linnaeus, 1758); *Metamasius hemipterus* Linnaeus, 1765 (L.) (Coleoptera: Curculionidae), broca-das raízes (*Sagalassa valida* Walker 1856) (Lepidoptera: Glyphipterigidae), Nymphalidae

(*Brassolis* spp., *Caligo* sp. E *Opsiphanes cassina* Felder, 1862), Hesperidae (*Salina severus* Mab.), Limacodidae (*Euclea* spp., *Euprosterina elaeasa* Dyar. 1905, *Natada michorta* Dyar.1912, *Sibine* spp. e *Talima straminea* Sch.1892), os quais são causadores de danos significativos a ponto de comprometer a viabilidade econômica da cultura (HOWARD et al., 2001; TINÔCO, 2008).

3.1.3. *Rhynchophorus palmarum* L. (Coleoptera: Curculionidae)

O *R.palmarum*, Pertencente a classe Insecta; subclasse Pterygota, com asas sobrepondo o segundo e terceiro segmento torácico; ordem Coleoptera e família Curculionidae, caracterizado por possuírem rostro com o aparelho bucal na extremidade. De acordo Triplehorn & Jonnson (2011), todos os indivíduos desta família são fitófagos, se alimentado tanto de plantas viva quanto de morta, atacando quase todas as partes de uma planta

O *R.palmarum*, ataca 35 espécies de plantas e 12 diferentes famílias, mas ameaça principalmente palmeiras de áreas tropicais e subtropicais em especial a cultura da Palma-de-óleo e coco (*Cocos nucifera*) (ESSER & MEREDITH 1987; GRIFFITH, 1987; POSADA et al., 1988; SÁNCHEZ & CERDA 1993) O ciclo de vida do *R.palmarum* dentro da palma infestada varia de 119 a 231 dias esse período varia dependendo do tipo de tecido que esse inseto venha a se alimentar, podendo ser nós, entrenós da coroa ou base das folhas mais jovens da planta. (LA TORRE et al., 2010; LA TORRE et al., 2015). Após penetrar na parte apical da planta a fêmea dessa espécie faz postura nos tecidos tenros, onde sua oviposição chega à máxima de 718 ovos (HAGLEY, 1963). Depois da eclosão dos ovos as larvas se alimentam durante todo seu ciclo de vida nessa região, ocasionando danos no meristema apical, o que pode provocar a morte da planta (FERREIRA et al., 2014).

Para o controle de *R. palmarum* é realizado uma associação de ações. Entre os métodos de controle, são usados fungos entomopatogênicos, plantas armadilhas, erradicação de plantas com sintomas do ataque destes insetos e o mais utilizado que é a armadilha tipo balde com atrativos alimentares associados à feromônio (CYSNE et al., 2013; MOURA et al., 1997; MOURA & BUSOLI, 2006). O uso do feromônio sintético da broca-do-olho, conhecido como rincoforol, associado a uma isca vegetal, como toletes de cana-de-açúcar com poder de fermentação, como sinergista, aumenta a atratividade de adultos de *R. palmarum* para as armadilhas, comprovando a ocorrência de sinergismo entre essas fontes atrativas, possibilitou a utilização da técnica de coleta massal no manejo dessa praga (FERREIRA et al., 2003; Moura et al., 1997; ROCHAT et al.,1991).

Além dos danos diretos causados pela larva deste inseto, que cria galerias e se alimenta dos tecidos da palma-de-óleo, existem também danos indiretos, que ocorrem pela contaminação do inseto adulto, pelo nematoide *Bursaphelenchus cocophilus* acarretando a moléstia do anel vermelho, uma das principais doenças letais de origem biótica em palma-de-óleo do continente americano (TURNER, 1981; CHINCHILLA, 1992). No Brasil, essa doença está amplamente difundida e ocasionando sérios danos a produção nos estados da Bahia e região Amazônica onde se concentra boa parte da produção de coco e palma-de-óleo. (WARWICK et al., 1995; GIBLIN-DAVIS., 2010; FADESPA, 2017).

3.1.4. Anel vermelho, (*Bursaphelenchus cocophilus* (Cobb) Baujard,)

O *B. cocophilus* é um endoparasita migratório obrigatório, uma vez que, todo o seu ciclo de vida, que varia de 9 a 10 dias a 25°C, é nos tecidos de palmeiras infectadas pelo nematoide, não se multiplicando nos insetos disseminadores (LA TORRE et al., 2015). Sendo esse nematoide visível apenas em lupa ou microscópio ótico (SÁNCHEZ et al., 1993) Os estádios de desenvolvimento do *B. cocophilus* compreende a fase de ovo, que na sua grande parte estão em lotes, mas, por vezes, são encontrados entre as células isoladas e quatro estádios larvais ou juvenis. Sendo o estado juvenil J3 a forma infecciosa e mais persistente na palma-de-óleo, uma vez que é encontrada na maioria dos tecidos afetados. (BLAIR & DARLING, 1968, LA TORRE., et al 2015).

Nos primeiros 45 dias que a palma-de-óleo está infectada pelo nematoide ele se localiza em grande parte na zona do meristema apical e folha flecha, que ocasiona em folhas cada vez mais curtas. Podendo também estar presentes em primórdios florais (LA TORRE et al., 2015). Após esse período, os sintomas podem ser externos, ou seja, visualizados na superfície da planta, e sintomas internos, visíveis mediante o corte de tecidos afetados. Os sintomas externos são: seca ascendente das folhas; tufos de folhas; bronzeamento, amarelecimento e seca ascendente das folhas; abortamento das inflorescências e observou-se também que plantas atacadas pelo anel-vermelho podem apresentar maior produção de inflorescências masculina (CHINCHILA, 1991; ARAÚJO, 1990; LA TORRE et al., 2015). A detecção dos sintomas de anel vermelho é bastante complexa, uma vez que os sintomas são diversos e podem mudar dependendo da escala do plantio, além do que, sintomas internos já estão presentes em plantas que ainda não externalizam os sintomas.

Mesmo que o nome dessa doença se chame anel-vermelho, devido a cor avermelhada dos anéis, na palma-de-óleo os anéis apresentam coloração creme amarronzada, nas bainhas foliar, pecíolo da folha e estipe da planta (FRANCO 1964; FERREIRA et al., 1998; ARAÚJO,

1990). Esses anéis são devidos às atividades elevadas do nematoide na planta, aumentando a quantidade de gás carbônico nos tecidos e, como resultado, alterando os complexos enzimáticos, como o dos glucosídeos, concedendo origem aos pigmentos antociânicos (TIHOHOD, 1993).

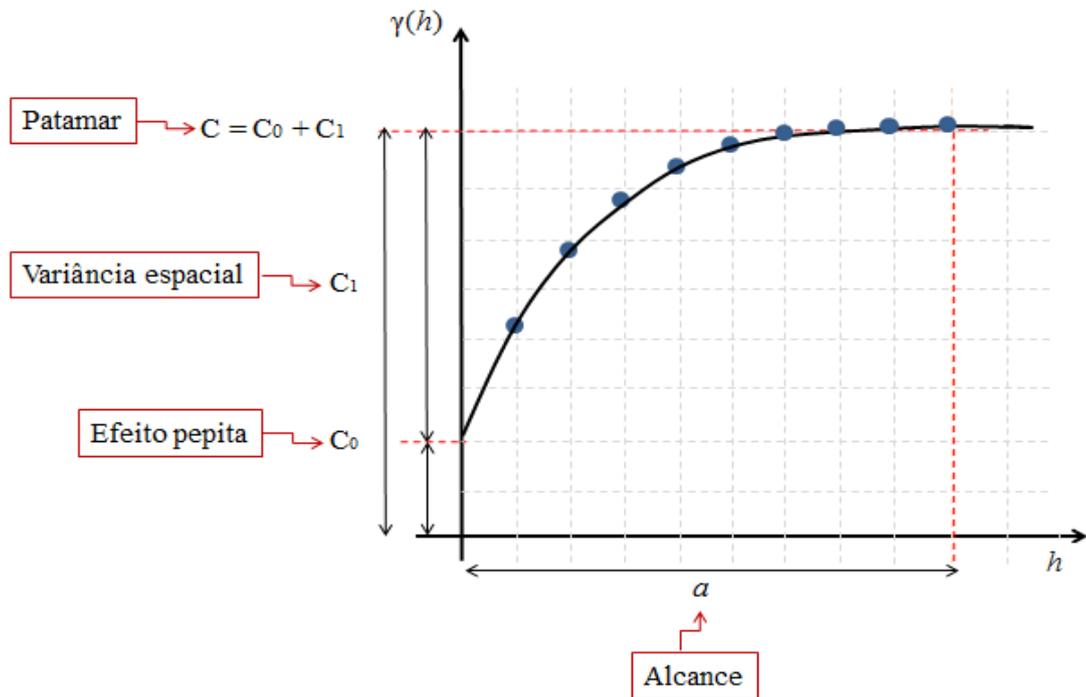
Os danos causados pelos *B. cocophilus* provoca uma deposição circular de antocianina no tecido dos vasos xilemáticos, que induzem o aparecimento de tiloses, que é o crescimento irregular das células do parênquima para dentro do xilema, causando uma oclusão vascular. A oclusão vascular em monocotiledôneas é irreversível, uma vez que não existem tecidos de câmbio para reparar. (FRANCO, 1964; GRIFFITH, 1987; GIBLIN-DAVIS 2001).

Em áreas com alta incidência da doença podridão do broto *phytophthora palmivora* Butler (Oomycetes: Pythiaceae) existe uma associação com o aumento da densidade populacional de *R.palmarum* no plantio, uma vez que, os adultos são atraídos pelos tecidos meristemáticos fermentados por esse patógeno, resultando em lesões necróticas nas folhas, que apodrecem e caem, formando assim um ambiente propício para a reprodução do *R.palmarum*, logo plantas afetadas com a podridão do broto facilitam a disseminação de anel vermelho. (La Torre et al 2010, Rueda et al 2016).

3.2. Geoestatística

O uso de métodos geoestatísticos tiveram como ponto de partida a avaliação da dependência espacial por meio do semivariograma. O semivariograma é a parte central da Geoestatística, capaz de descrever a estrutura de dependência espacial, além de ser o ponto chave na determinação do preditor geoestatístico (krigagem) (McBratney & Webster, 1986). O semivariograma experimental é um gráfico que expressa a variabilidade espacial entre as amostras, sendo uma função que só depende do vetor h , distância entre os pares de casos amostrados (Figura 1).

Figura 1: Esquema do semivariograma experimental.



Fonte: Gouvêa (2019)

Onde:

- $a = \mathbf{Alcance}$ ou “**range**”, mede a distância limite da dependência espacial ou seja partir dessa distância, termina a dependência entre os casos estudados.
- C ou $C_0 + C_1 = \mathbf{Patamar}$ ou “**sill**”, é o valor da altura do semivariograma que ele se estabiliza, ou seja, desse ponto em diante não existe mais dependência espacial entre as amostras;
- $C_1 = \mathbf{Variância espacial}$, é a diferença espacial entre os valores de uma variável tomada em dois pontos separados por distâncias cada vez maiores;
- $C_0 = \mathbf{Efeito pepita}$, ou “**nugett effect**”, é a semivariância nos pontos muito próximos, quando as distâncias entre as unidades amostrais são bem pequenas. Para distância igual a zero ($h=0$), o variograma deveria apresentar variabilidade nula. Entretanto, vários fatores como erros de amostragens, erros de medidas ou ainda microrregionalizações da variável em análise, causam uma descontinuidade na origem do variograma, denominado de efeito pepita ou nugget effect. (OPROMOLLA et al., 2012; SANTOS & OLIVEIRA, 2016).

5.4.1. Cálculo do modelo matemático:

Os dados obtidos foram submetidos a análises geoestatísticas para verificar a dependência espacial por meio do semivariograma experimental, descrito:

$$\gamma^*(h) = \frac{1}{2n(h)} \sum_{\alpha=1}^{n(h)} [Z(x_{\alpha} + h) - Z(x_{\alpha})]^2 \quad (1)$$

Onde $N(h)$ é o número total de plantas doentes, separados por uma distância h . O gráfico de $\gamma^*(h)$ versus os valores correspondentes de h , chamado semivariograma, é função da distância (h), sendo, portanto, dependente na magnitude e direção da distância. Em casos de variáveis espacialmente dependentes, espera-se que os incrementos $[Z(x_i)-Z(x_i+h)]$ aumentem com a distância até um ponto de estabilização, um limiar simbolizado por C , que se aproxima numericamente da variância dos dados. (FARIAS et al., 2002).

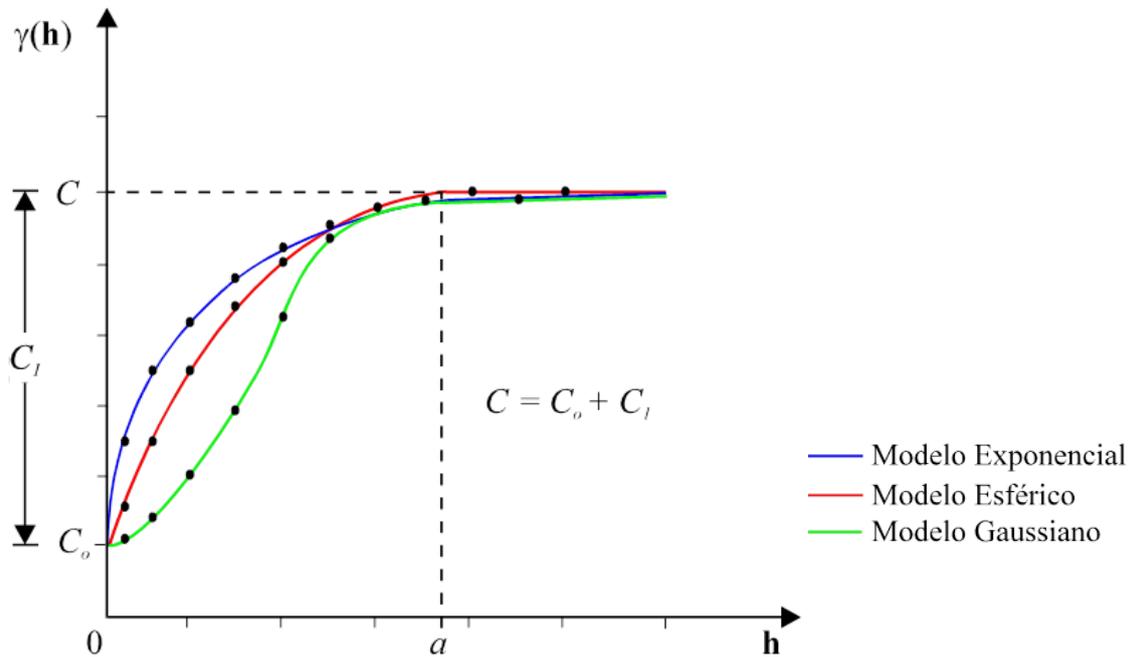
5.4.2. Modelos:

Os semivariogramas experimentais foram elaborados a partir das malhas com disposição regular, caso estejam irregulares foi feito o ajuste. Sendo assim valores observados foram submetidos à variografia regularizados e os cálculos são feitos em direções previamente estabelecidas, visando a compreensão da variabilidade espacial do fenômeno em estudo. (STURARO, 2015).

Existem inúmeras funções que se ajustam aos semivariogramas experimentais e a prática tem mostrado que alguns modelos fundamentados nas suposições teóricas das variáveis regionalizadas têm satisfeito a maioria das suas aplicações. Os modelos podem ser classificados em modelos com patamar (“Sill”) e modelos sem patamar. Os modelos que apresentam patamar são normalmente ajustes que representam a estacionaridade de segunda ordem. (STURARO, 2015; SANTOS & OLIVEIRA, 2016).

Os modelos com patamares são geralmente os mais utilizados nesses estudos, pois dentro deste grupo, que são realizados os estudos bióticos. Estes modelos estão representados na Figura 2.

Figura 2: Semivariogramas experimentais com patamar.



Fonte: adaptada de Camargo.

5.4.3. Aleatório (Efeito pepita puro):

À medida que aumenta a descontinuidade na origem do semivariograma, mais aleatório é o fenômeno que originou a variável em análise. Esta característica decorre de uma provável regionalização, inferior à escala de trabalho da malha de amostragem e/ou à variações espúrias associadas com a coleta e medição das amostras. (STURARO, 2015).

$$\gamma(h) = C \quad (2)$$

5.4.4. Modelo exponencial:

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

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

5.4.5. *Modelo Esférico:*

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

$$\gamma(h) = C_0 + C_1, \quad h \geq a \quad (4)$$

O modelo esférico é obtido selecionando-se os valores do efeito pepita, C_0 , e do patamar, C_1 , depois passando-se uma reta que intercepte o eixo-y em C_0 e seja tangente aos primeiros pontos próximos de $h=0$. Essa tangente cruzará o patamar à distância, $a'=2/3 a$. Assim, o alcance, a , será $a=3a'/2$. O modelo esférico é linear até aproximadamente $1/3 a$.

5.4.6. *Modelo Gaussiano:*

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

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

5.4.7. Índice de dependência espacial:

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

5.4.8. *Krigagem:*

A krigagem constitui-se num método de estimação linear e local, efetuado dentro de vizinhanças estacionárias, que procura minimizar, sem viés, o erro de estimação. Journel & Huijbregts (1978).

De acordo com Liebhhold et al., (1993), a geoestatística é um ramo da estatística que descreve as correlações de uma dada variável no tempo e espaço. É utilizada para quantificar e modelar a correlação espacial entre dados amostrados assim como estimar valores em pontos não amostrados por meio de interpoladores, como a krigagem.

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

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

$$Z(x_0) = \sum_{i=1}^N \lambda_i Z(x_i). \quad (5)$$

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

ANÁLISE ESPAÇO-TEMPORAL DO PATOSSISTEMA DO ANEL VERMELHO EM PALMA-DE-ÓLEO NA AMAZÔNIA ORIENTAL

4. INTRODUÇÃO

A Palma-de-óleo (*Elaeis guineensis* Jacq.) é oriundo da África Ocidental, na região do Golfo da Guiné, foi trazida ao Brasil no período colonial, século XVII, pelos escravos (VENTURIERI et al. 2009). A expressão palma de óleo é usada no meio técnico e o mais aceito mundialmente, sendo mais conhecida como dendezeiro, mesmo esse termo sendo mais restrito ao uso popular. O cultivo de palma de óleo começou no Brasil na década de 70, mas nos últimos anos tem ganhado bastante atenção do governo federal. (CAMILLO, 2012). (ABRAPALMA, 2017).

A palma-de-óleo (*E. guineensis* Jacq.) é uma espécie perene tropical de origem africana que expressa melhor seu potencial de produção sob alta temperatura, radiação solar, alta precipitação e umidade relativa do ar (CORLEY & TINKER, 2009).

Segundo Becker (2010), nos últimos dez anos a palma de óleo (*E. guineensis* Jacq.) ganhou maior visibilidade e incentivos na região nordeste da Amazônia com o zoneamento do cultivo e com o aumento de demanda mundial pelo óleo. Entretanto essa palmeira é acometida por diversos problemas fitossanitários, sendo o Anel vermelho um dos patossistemas que mais causam danos nessa cultura.

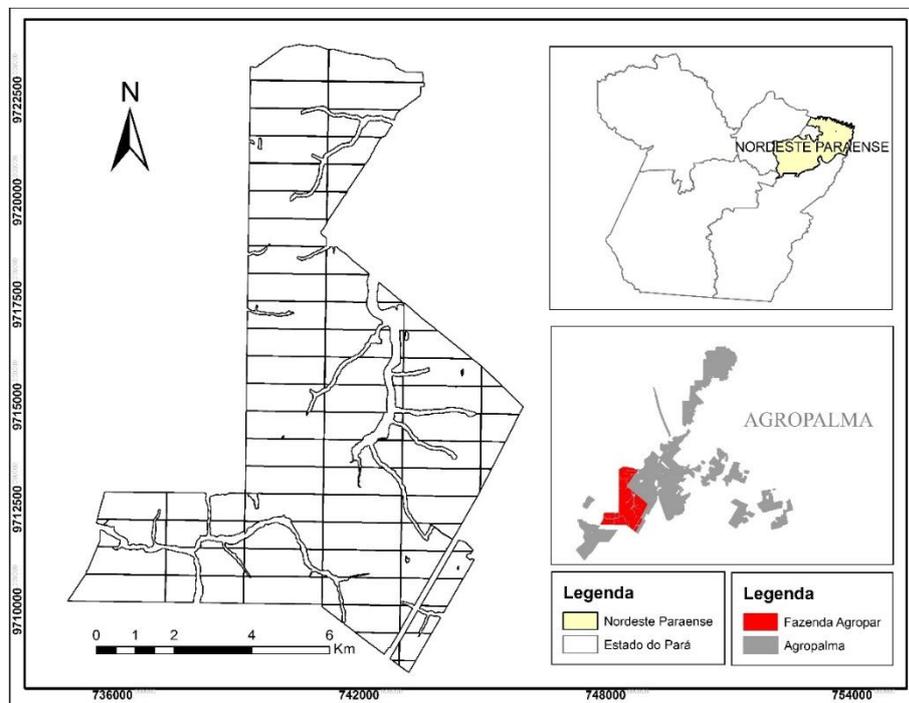
O anel-vermelho é causado pelo nematoide *Bursaphelenchus cocophilus*, que é considerado uma das principais doenças letais de origem biótica em palma de óleo (TURNER, 1981). Esse patossistema apresenta sintomas extremamente diversos, que podem ser externos e internos. No caso de sintomas externos os sintomas são: seca ascendente de folhas mais velhas para as mais novas; tufo de folhas com tamanhos reduzidos (Chinchilla, 1992). Já para os sintomas internos: A palmeira apresenta tecidos necrosados em forma de anel completo ou não, de cor creme a amarronzada, podem aparecer na bainha foliar, pecíolo da folha e estipe da planta.

O entendimento dos mecanismos de disseminação e infecção do nematoide causador do anel-vermelho é fundamental para o estabelecimento de estratégias de manejo integrado (Boari et al, 2016). Sendo assim, avaliar a dispersão dessa anomalia é fundamental para nortear futuras pesquisas. Por esse motivo, o objetivo deste trabalho é analisar a distribuição espacial e temporal do anel-vermelho e *R.palmarum* em um plantio de palma de óleo no município de Tailândia-Pa.

5. MATERIAL E MÉTODOS

As informações utilizadas na pesquisa foram obtidas nos anos de 2014 a 2018, através de dados da fazenda AGROPALMA (Figura 1) pertencente à empresa Agropalma S.A, localizada no município de Tailândia, no estado do Pará, Brasil. O clima é do tipo Am, segundo a classificação de Köppen com bastante pluviosidade durante o ano, sendo a média anual de 2399 mm, com quantidades elevadas nos meses de janeiro a maio e, quantidades menores nos meses de agosto a novembro. A temperatura média anual é de aproximadamente 27 °C. O solo predominante da região é Latossolo Amarelo Distrófico (EMBRAPA, 2006).

Figura 3: Mapa de localização da fazenda Agropar, pertencente a empresa Agropalma, PA-Brasil.



Fonte: Elaborado por MEDEIROS, 2019

A área estudada tem 70 parcelas com tamanho médio de cada parcela de 67 ha, o plantio apresenta espaçamento de 9 m entre plantas (triângulo equilátero). A área estudada apresenta uma coordenada geográfica central de Latitude -48.823204° e Longitude -2.570754° . Serão utilizados dados de incidência do anel-vermelho e *R.palmarum* fornecidos pela Agropalma S.A. A escolha da propriedade foi em função da existência de maiores casos anel-vermelho. A época da implantação do plantio varia de 1995 a 1999 sendo a idade de 20 a 24 anos.

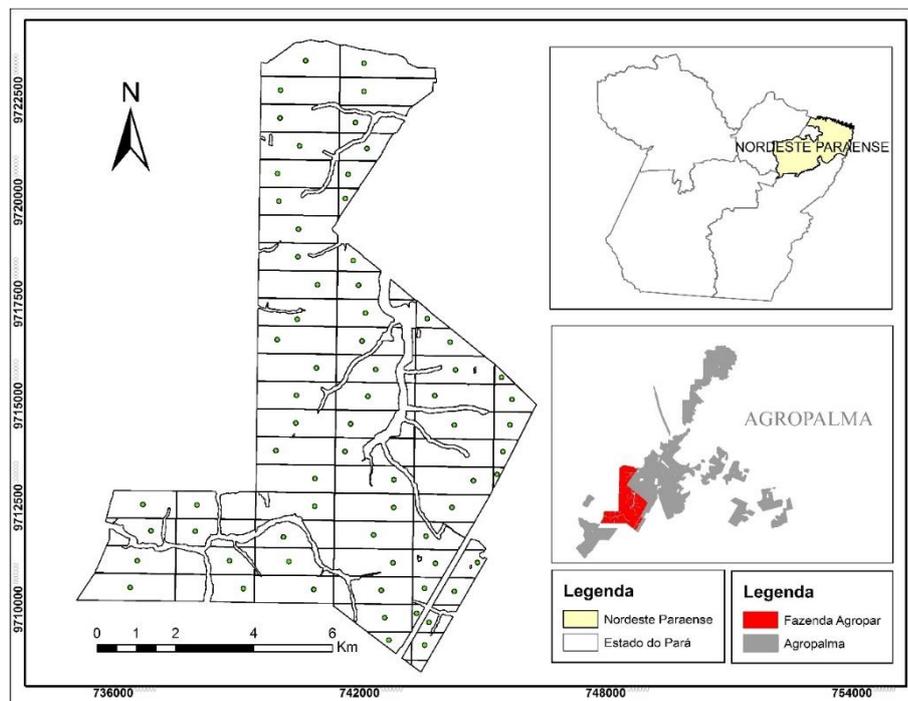
5.1. Amostragem e construção do banco de dados do anel-vermelho

O grupo Agropalma S.A. apresenta internamente um setor de fitossanidade responsável pela amostragem das ocorrências de anel vermelho na palma de óleo. Os funcionários

responsáveis pela amostragem dessa injúria são constantemente treinados para apresentar uma boa apuração de plantas afetadas. Os plantios são visitados diariamente, sendo que o final de cada mês todas as plantas são visitadas, portanto o banco de dados apresenta informações com bastantes detalhes sobre o avanço do anel vermelho nas parcelas estudadas.

Todas as plantas de cada parcela foram avaliadas seguindo o método de presença (1) e ausência (0) de sintomas e anotados a quantidade de ocorrências de anel-vermelho por parcela, para assim verificar o padrão de dispersão da doença na área estudada. No final do levantamento foi realizada a contagem total de plantas com anel-vermelho por parcela e essa variável foi considerada regionalizada Z que variam continuamente no espaço geográfico a partir de centroides de cada parcela, com longitude (X) e latitude (Y).

Figura 4: Centróide dos Talhões. Fazenda Agropar. AGROPALMA S.A.



Fonte: Elaborado por MEDEIROS, 2019.

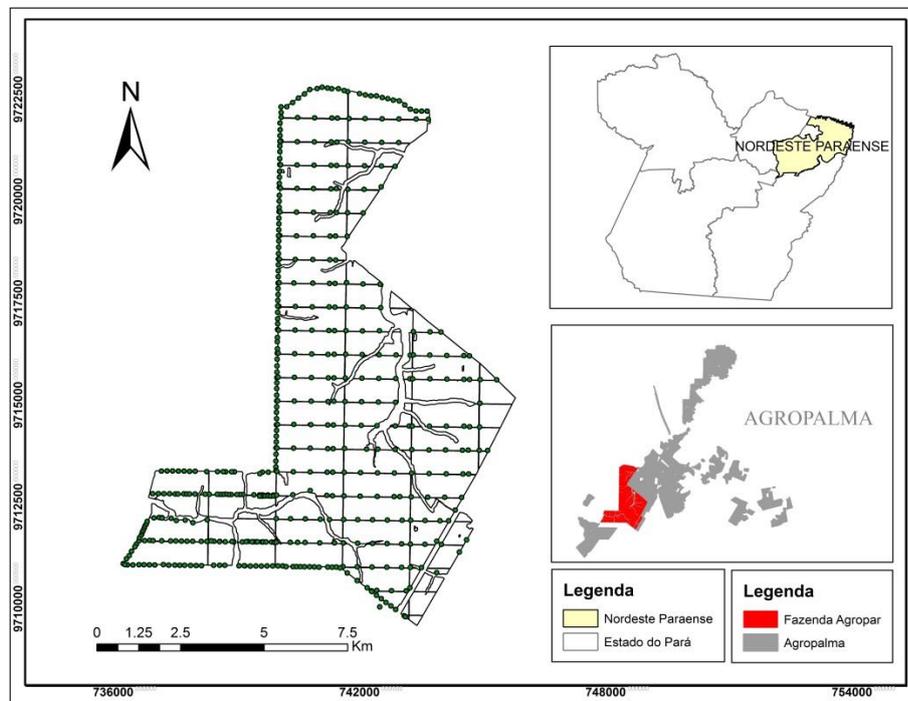
5.2. Amostragem e construção do banco de dados do *R. palmarum*

No caso das ocorrências do inseto-vetor *R. palmarum* foram espalhadas armadilhas pelo plantio de palma de óleo, sendo adotado preferencialmente a planta 2 das linhas 2, 60, 120, 180 e 200 de cada parcela para colocar as armadilhas do bicudo. Foram colocadas também armadilhas na bordadura da mata como uma forma de impedir que o inseto chegue no plantio. Totalizando 477 armadilhas, que foram geolocalizadas através de um GPS de mão

A armadilha de *R. palmarum* consistem em baldes com capacidade para 25 L, nesses são colocados o feromônio sintético e cerca de 15 toletes de cana de 10 cm de comprimento, cortados ao meio longitudinalmente. Este feromônio de agregação, quando exalado, atrai insetos da espécie do bicudo e sua interação com os voláteis da cana aumenta a eficiência das armadilhas. (GOMES JUNIOR et al., 2010).

O bicudo é capturado nas armadilhas e quantificados, sendo essa variável considerada regionalizada Z e que variam continuamente no espaço geográfico a partir da longitude (X) e latitude (Y). Obtidas pelo georreferenciamento das armadilhas. Sendo assim será gerado o padrão de dispersão do *R. palmarum*

Figura 5: Geolocalização das Armadilhas de *R. palmarum* tanto na Mata como no plantio



Fonte: Elaborado por MEDEIROS, 2019

2.1. Análise geoestatística

A partir do banco de dados gerado para o estudo, para analisar a distribuição espacial do anel-vermelho e *R. palmarum* será utilizado a geoestatística primeiramente com a modelagem dos semivariogramas para cada ano de análise e posteriormente a confecção dos mapas de krigagem.

Serão obtidos semivariogramas experimentais para cada amostragem e assim, testados os ajustes dos seguintes modelos matemáticos: linear, esférico, exponencial e gaussiano. Em seguida, será gerado os mapas de superfície por meio da krigagem, para representar a espacialização do anel-vermelho e do *R. palmarum*.

5.5. Softwares utilizados nas análises

Para determinar a flutuação temporal serão elaborados gráficos com os valores anuais das parcelas com sintomas de anel-vermelho e *R.palmarum*, ou seja, cada parcela em função do tempo. Para realização e organização do banco de dado e confecção dos gráficos de flutuação temporal foi utilizado o software computacional Microsoft Office Excel® 2010.

Para elaboração e ajustes dos semivariogramas aos modelos matemáticos e a construção dos mapas a partir dos valores estimados por krigagem, foram utilizados os softwares computacional Surfer 12.0 (Golden Software).

Para a confecção dos mapas de localização da área experimental foi utilizado o software computacional ArcGIS 10.1.

6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

6.1. Distribuição espacial e temporal do Anel Vermelho

A partir de um estudo detalhado da amostragem do anel vermelho foi possível verificar a infestação presente na área de estudo. De acordo com os resultados obtidos amostrados no período de 2014 a 2018 Tabela 1, é possível observar a contagem de ocorrências e o número de plantas afetadas em cada ano, onde as ocorrências acumuladas representam a soma das ocorrências dos anos anteriores mais o ano atual e o grau de infestação representa a relação entre o total de plantas e a quantidade de ocorrências na área.

Observou-se que no ano de 2014 Tabela 1 houve um grande foco da doença, com 9261 plantas doentes. Nos anos seguintes os casos de anel vermelho foram menores sendo o ano de 2017 inferior ao amostrado nos demais anos. No entanto, mesmo com o número de casos reduzindo é possível perceber que os focos acumulados da doença se mantiveram quase que constante, fazendo com que a infestação de anel vermelho chegasse no ano de 2018, em 76,43%. É interessante ressaltar que, os valores de focos acumuladas são importantes, pois assim é possível visualizar na área o foco crescente de plantas infectadas por ano, onde plantas doentes podem estar sendo fonte de inóculo para plantas sadias vizinhas.

A partir das análises geoestatísticas e das quantidades de plantas infectadas nas parcelas estudadas por meio dos modelos ajustados pelos semivariogramas experimentais, as avaliações indicam um comportamento do Anel vermelho, ao modelo gaussiano (Tabela 1). Sendo o modelo gaussiano o que apresentou maiores valores do coeficiente de determinação (R^2) com valores que variaram de 0,85 a 0,97. lembrando, que este parâmetro indica a qualidade do modelo do semivariograma, onde valores próximos a 1 (um) indicam bom ajuste do modelo. (DIONÍSIO et al., 2015; OLIVEIRA et al., 2016).

Tabela 1: Parâmetros dos semivariogramas ajustados ao modelo teórico, coeficiente de determinação (R^2) e parâmetro k para análise de dependência espacial do Anel Vermelho em plantio de palma de óleo no município de Tailândia, Pará.

Época	Focos	Acumulados Focos	Infecção (%)	Parâmetros			R^2	k^a	Modelo	Grau de Dependência
				C0	C1	a (m)				
2014	9261	9261	61,19%	90	5900	760	0,91	0,015	Gaussiano	Forte
2015	1960	11221	74,14%	70	7000	690	0,85	0,01	Gaussiano	Forte
2016	240	11461	75,73%	1000	6200	870	0,97	0,139	Gaussiano	Forte
2017	40	11501	75,99%	1000	6200	870	0,97	0,139	Gaussiano	Forte
2018	67	11568	76,43%	1000	6200	870	0,97	0,139	Gaussiano	Forte

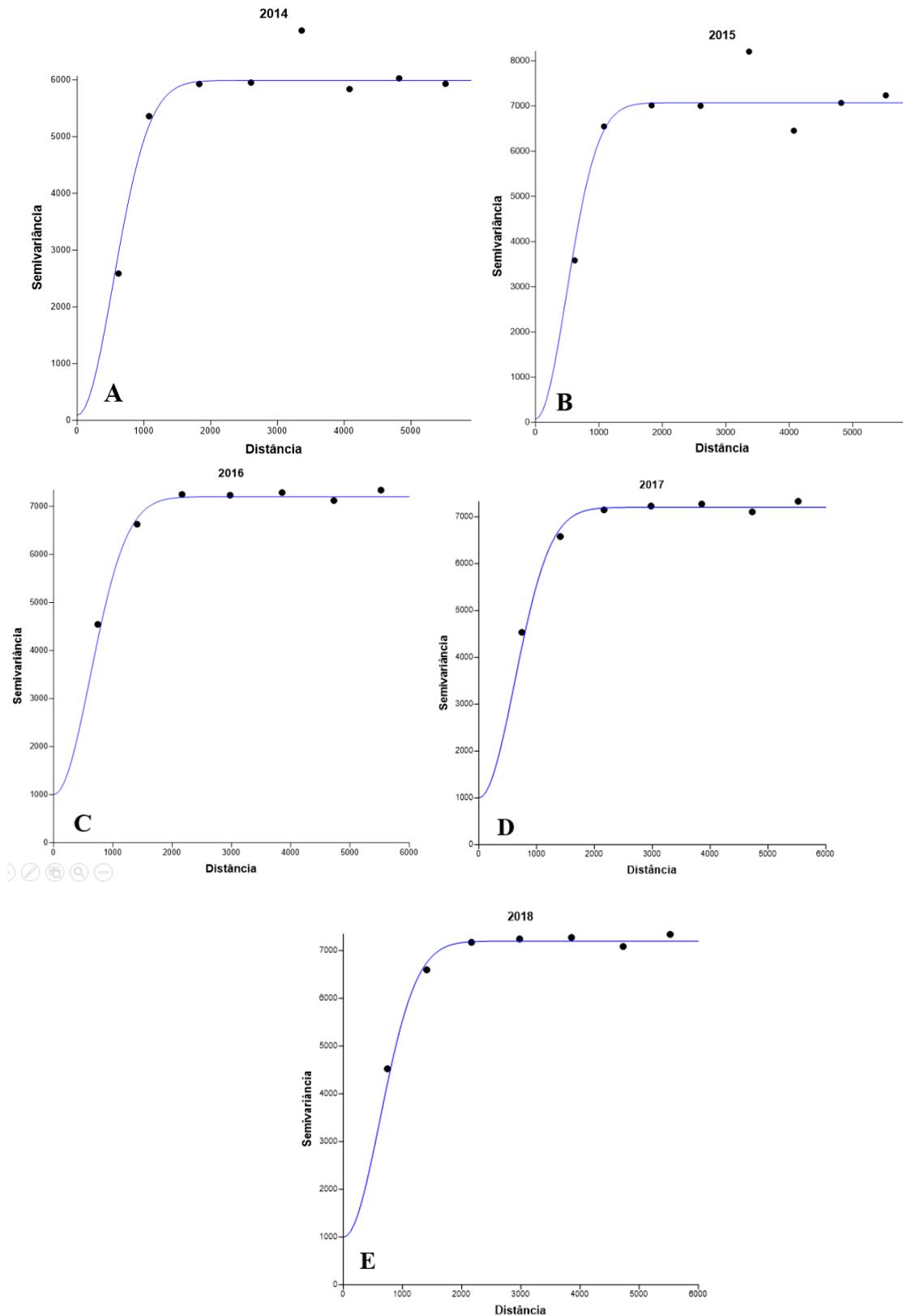
^a $C0/(C0+C1)$

Fonte: Elaborado por MEDEIROS, 2019

Houve dependências espaciais dos dados de densidade populacional de anel vermelho. Os parâmetros dos semivariogramas ajustados podem ser observados na (Tabela 1), onde o índice de dependência espacial parâmetro K dada pela relação $C0/(C0+C1)$ variaram de 0,015 a 0,01. Demonstrando que o grau de dependência foi forte para todos os anos amostrados.

O alcance da dependência espacial (a) é um parâmetro fornecido pelo semivariograma Figura 5, esse valor representa o raio de agregação do parâmetro, ou seja, representa a distância na qual acontece a dependência espacial em que a doença se dispersa no plantio. Esse valor deve ser a distância mínima considerada entre as unidades amostrais para que elas sejam independentes entre si. (GREGO et al., 2006). O raio de agregação encontrado, variou de 690 m a 870 m (Tabela 1). Nota-se que o ano de 2016, 2017 e 2018, apresentaram maior alcance indicando que as plantas afetadas pelo Anel vermelho, podem se disseminar para áreas mais distantes.

Figura 5: Semivariogramas do *R.palmarum* na parcela em plantio convencional de palma-de-óleo no município de Tailândia/PA referentes as observações no ano de 2014 (A), 2015 (B), 2016 (C), 2017 (D), 2018 (E).



Fonte: Elaborado por MEDEIROS, 2019

O modelo gaussiano mostrado nos semivariogramas da Figura 5, representam uma distribuição agregada da doença, pois o ajuste deste modelo, além do esférico, é muito comum no estudo de insetos e microorganismos (BOARETO e BRANDÃO, 2000). Os mapas de superfície das ocorrências da doença no campo do Anel vermelho obtidos pela krigagem, não demonstram muita variação nos anos estudados, esse fator se dá devido a uma distribuição mais ou menos uniforme da doença no campo, mas que evidencia o comportamento agregado.

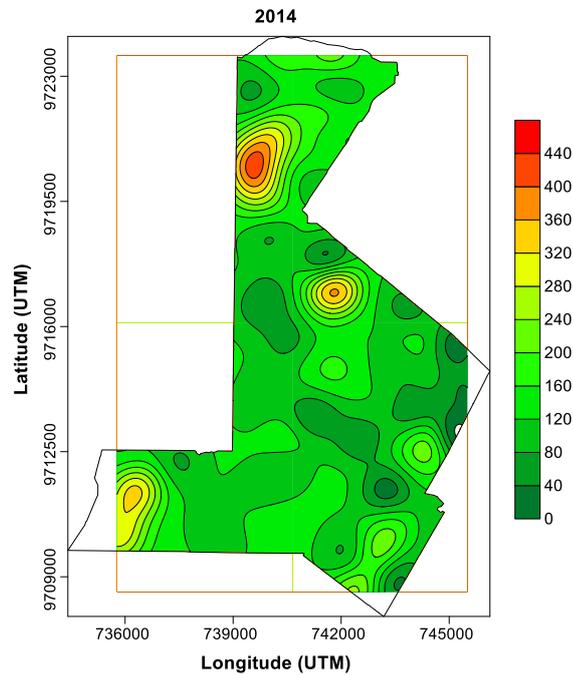
Segundo os estudos de Schuiling & Dinther (1981) não encontraram evidências do desenvolvimento de anel-vermelho em focos de infecção no campo, sendo apenas 5% dos casos de palmeiras afetadas pelo anel vermelho, que apareceram adjacentes a outra palma com sintomas de anel-vermelho. Normalmente, um grupo de três ou quatro palmas descontínuo (separado por uma a três árvores saudáveis) é um novo foco. No entanto o presente estudo observou que o raio de agregação de uma planta atacada pelo anel vermelho pode contaminar plantas até 870 m de distância e segundo com trabalhos de Inomoto et al. (2011), doenças cujos agentes etiológicos são nematoides apresentam distribuição agregada.

Os padrões agregados, com moderada e forte dependência espacial para Anel vermelho, corroboraram com a distribuição das doenças em campo e podem ser explicados pela limitada dispersão dos patógenos via solo, uma vez que fitonematoides possuem movimentação ativa, porém restrita no solo, podendo alcançar apenas 75 cm de profundidade (Silva et al 2016; Prot, 1980).

Na Figura 6 as áreas com coloração vermelha mais intensa são as mais infestadas pelo anel vermelho. Já as áreas amareladas são as que possuem pequenos casos da doença e, as áreas verdes, estão com ausência da doença. De acordo com Laranjeira et al., (1998), tanto fatores bióticos ou abióticos podem favorecer o processo de dispersão de forma agregada. No caso de doenças bióticas, como o anel vermelho, o contágio é a causa da formação de focos, enquanto que para doenças abióticas o microclima é o responsável pela expressão agregada dos sintomas.

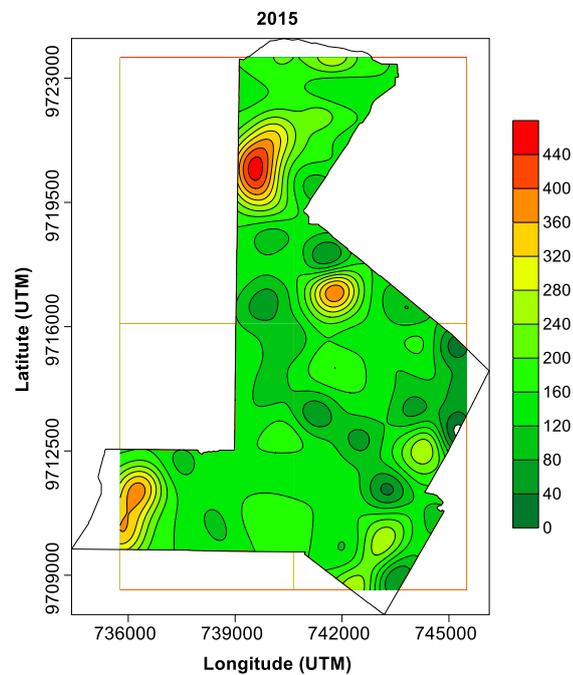
Um das principais formas de transmissão do nematoide é pelo *R.palmarum*, no entanto existem relatos da disseminação do *B. cocophilus* pelo contato de raízes e ferramentas agrícolas contaminadas ou até mesmo pela movimentação de solo infestado, água de chuva e implementos agrícolas (WARWICK & BEZERRA, 1992). O nematoide consegue migrar no solo de uma planta para a outra quando as condições de umidade são boas, principalmente em áreas de pouca drenagem (Chinchila, 1991; Tihohod, 1993).

Figura 6: Mapa de Krigagem da distribuição espacial do Anel Vermelho no ano de 2014, em um plantio de palma de óleo no município de Tailândia/PA.



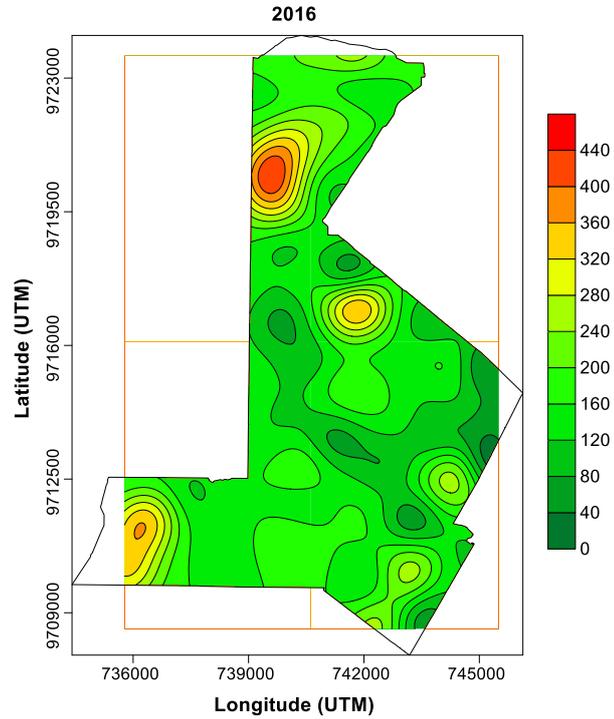
Fonte: Elaborado por MEDEIROS, 2019.

Figura 7: Mapa de Krigagem da distribuição espacial do Anel Vermelho no ano de 2015, em um plantio de palma de óleo no município de Tailândia/PA.



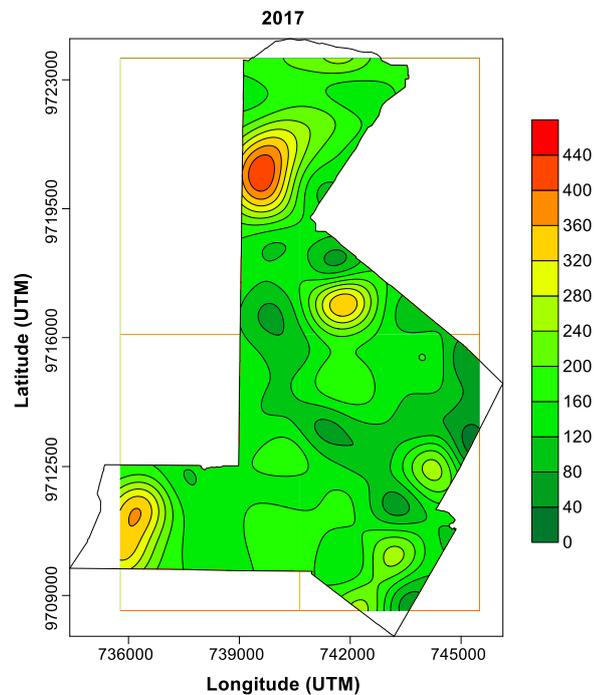
Fonte: Elaborado por MEDEIROS, 2019

Figura 8: Mapa de Krigagem da distribuição espacial do Anel Vermelho no ano de 2016, em um plantio de palma de óleo no município de Tailândia/PA.



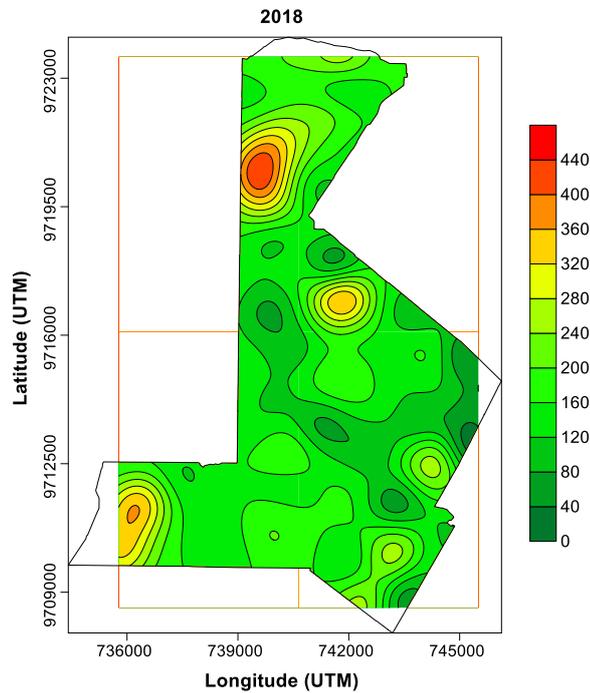
Fonte: Elaborado por MEDEIROS, 2019

Figura 9: Mapa de Krigagem da distribuição espacial do Anel Vermelho no ano de 2017, em um plantio de palma de óleo no município de Tailândia/PA.



Fonte: Elaborado por MEDEIROS, 2019

Figura 10: Mapa de Krigagem da distribuição espacial do Anel Vermelho no ano de 2018, em um plantio de palma de óleo no município de Tailândia/PA.



Fonte: Elaborado por MEDEIROS, 2019

6.2. Distribuição espacial de *R.palmarum*

A partir de um estudo detalhado da amostragem de armadilhas de *R.palmarum* foi possível verificar a contagem de insetos coletados por ano. Sendo os anos de 2014 e 2017 os que mais tiveram bicudos coletados Tabela 2. Houve Grau de dependência espacial dos dados de densidade populacional de adultos de *R. palmarum* adultos. Os parâmetros do semivariogramas ajustados podem ser observados na Tabelas 2. Sendo o índice de dependência espacial (parâmetro K), dado pela relação $C0/(C0+C1)$, dos machos de *R. palmarum* variaram de 0,332 a 0,75.

A dependência espacial da praga foi moderada para todos os anos avaliados exceto pelo ano de 2014, que apresentou dependência espacial Fraca. Em um estudo realizado com outro curculionídeo por Izeppi (2015), observou a dependência espacial de *Sphenophrous levis* (Coleoptera: Curculioniodae), que apresentou valores variando de fraco a moderado para larvas e adultos.

O modelo matemático que apresentou melhor ajuste em todos os semivariogramas experimentais foi o esférico sendo no ano de 2017 o modelo que se ajustou foi o exponencial (Tabelas 2). Tanto o modelo esférico como o exponencial apresentaram os maiores valores para o coeficiente de determinação (R^2), eles variaram de 0,97 a 1,00 este parâmetro indica a

qualidade do modelo do semivariograma, valores próximos de 1 (um) indicam bom ajuste do modelo (DIONÍSIO et al., 2015; OLIVEIRA et al., 2016).

Outro parâmetro fornecido pelo semivariograma é o alcance da dependência espacial (a), que varia de 860 m a 4990 m. O valor máximo de alcance encontrado é explicado, principalmente em coleópteros, devido sua capacidade de voar longas distâncias, podendo chegar a 1.500 metros por dia (CHINCHILLA, 1992).

Segundo Massoud et al (2012) que também estudou a distribuição espacial e temporal do *Rhynchophorus ferrugineus* em plantações de tâmara, propôs com base nos seus achados, que em todas as áreas que exibem alta a muito alta atividade do *R. ferrugineus*, a grade de aprisionamento em massa pode ser aumentada de 4 a 7 armadilhas/ ha

Relatos de Dionisio et al. (2015) que estudou o *M. hemipterus* (Coleoptera: Curculionidae) e apresentou valores de alcance variando de 78 a 199 m. Estudos de Izeppi (2015) avaliando uma outra espécie de curculionídeo, avaliando *Sphenophorus levis* (Coleoptera: Curculionidae) em um plantio de cana-de-açúcar observou no primeiro corte, alcance médio de 21 m, aumentando para 26, 37 e 56 m, para os segundo, terceiro e quarto cortes da cana.

O valor do alcance indica o raio de agregação do parâmetro, ou seja, representa a distância na qual ocorre dependência espacial entre as amostras no campo, deve ser a distância mínima considerada entre as unidades amostrais para que elas sejam independentes entre si (GREGO et al., 2006). Ainda, esses valores do alcance, relacionados ao semivariograma, são importantes na detecção do limite da dependência espacial (FERRAZ et al., 2012), isto é, o monitoramento deve ser realizado com espaçamentos inferiores ao alcance encontrado (VALERIANO & PRADO, 2001).

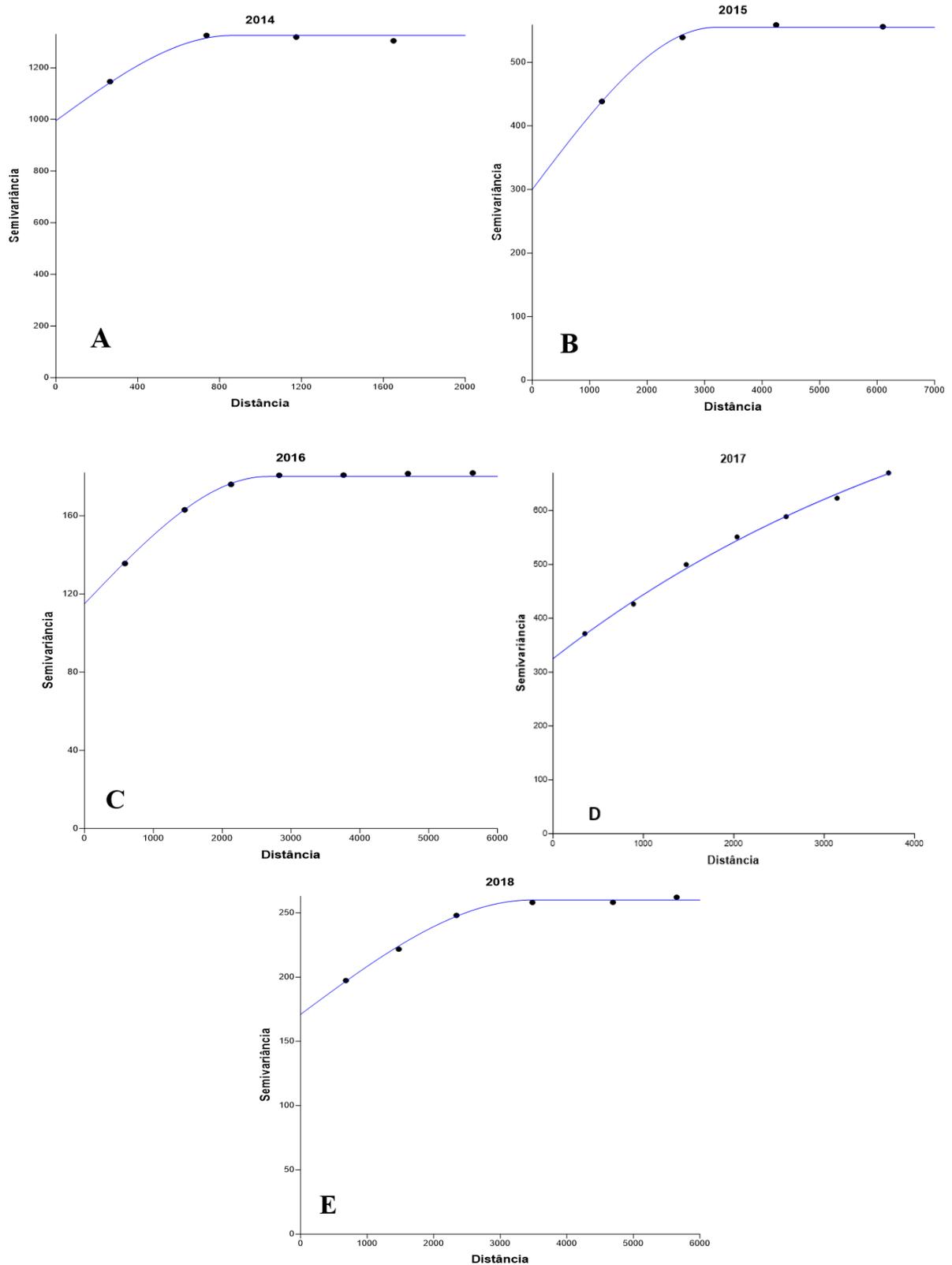
Relatos de Faleiros et al (2002) que realizou a distribuição espacial de *Rhynchophorus ferrugineus* (Coleoptera: Curculionidae) Oliv.in, nas plantações de coco, mostraram através diferentes índices de dispersão que a população desse inseto, seguiu o padrão de distribuição binomial negativa e foi altamente agregada.

Tabela 2: Parâmetros dos semivariogramas ajustados ao modelo teórico, coeficiente de determinação (R^2) e parâmetro k para análise de dependência espacial em *R.palmarum* em plantio de palma de óleo no município de Tailândia, Pará.

Epóca	Total de R.Palmarum	Parâmetros			R^2	K	Modelo	Grau de Dependência
		C0	C1	a (m)				
2014	27912	995	330	860	0,97	0,751	Esférico	Fraço
2015	14668	300	255	3190	0,99	0,541	Esférico	Moderado
2016	13113	115	65	2650	0,97	0,639	Esférico	Moderado
2017	24196	325	655	4990	1,00	0,332	Exponencial	Moderado
2018	13039	171	89	3480	0,98	0,658	Esférico	Moderado

Fonte: Elaborado por MEDEIROS, 2019

Figura 11: Semivariogramas do *R. palmarum* na parcela em plantio convencional de palma-de-óleo no município de Tailândia/PA referentes as observações no ano de 2014 (A), 2015 (B), 2016 (C), 2017 (D), 2018 (E).

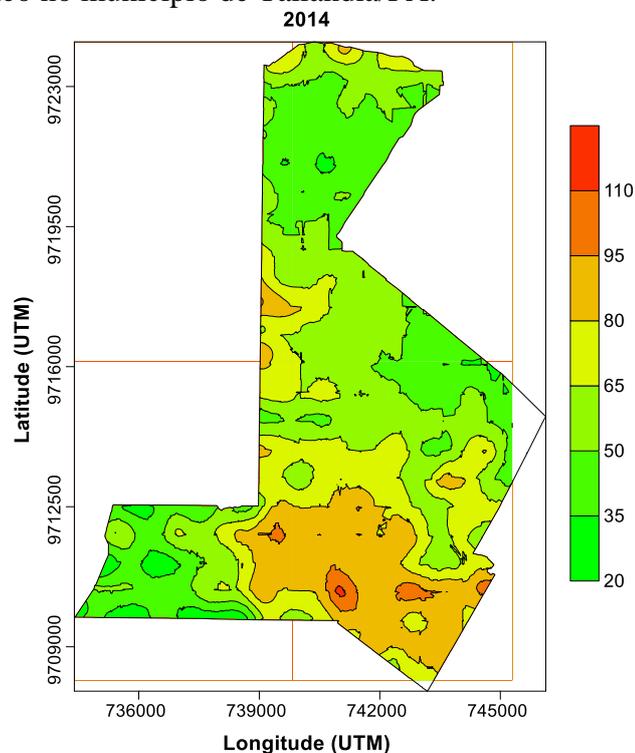


Fonte: Elaborado por MEDEIROS, 2019

Os mapas de superfície das densidades populacionais de *R. palmarum*, obtidos pela krigagem, indicam que o nível populacional da praga variou entre os anos na área estudada. Estes mapas permitem a visualização de áreas com níveis de infestação distintos, ou seja, as reboleiras da praga no campo. Na Figura 6 as áreas com coloração vermelha mais intensa são as mais infestadas pelo *R. palmarum*. Já as áreas amareladas são as que possuem poucos casos do bicudo e, as áreas verdes, estão com ausência do inseto. Outros resultados obtidos através do mapa de krigagem, são quanto a formação e localização das reboleiras formadas de *R. palmarum*.

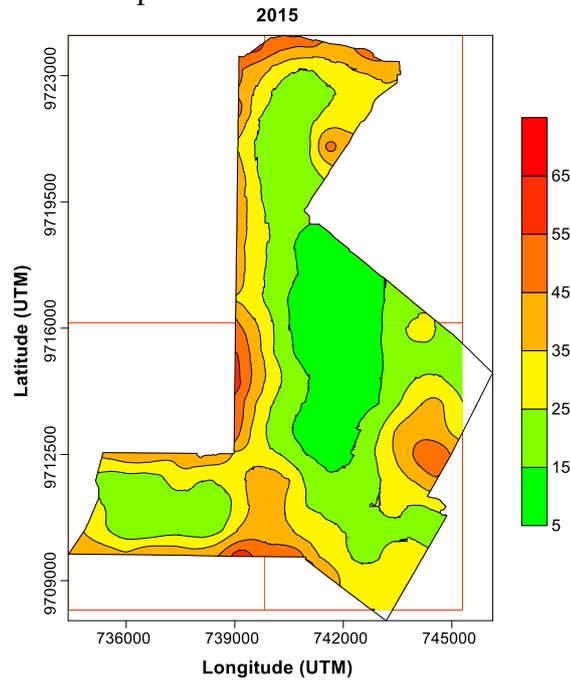
O ano de 2014 (Figura 12) foi marcado tanto por reboleiras próximas a área de mata mas sua grande parte dentro do plantio. Algumas empresas colocam armadilhas fora do talhão, nas proximidades das florestas ou capoeiras, por acreditarem que, quando colocadas no interior do plantio, acabam por atrair os bicudos das matas para o interior da lavoura (BOARI et al, 2016). Nos anos de 2015 e 2016 (Figura 13 e Figura 14) é possível observar uma grande concentração de *R. palmarum* no limite do plantio com a floresta, no qual é dividida por uma estrada que serve de escoamento para a colheita de cachos para a área de processamento industrial e menores quantidades no centro do talhão de palma de óleo.

Figura 12: Mapa de Krigagem da distribuição espacial do *R. palmarum* no ano de 2014, em um plantio de palma de óleo no município de Tailândia/PA.



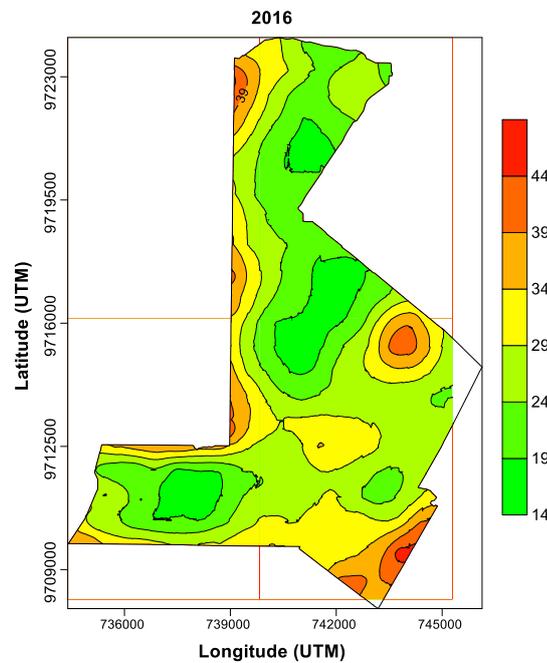
Fonte: Elaborado por MEDEIROS, 2019

Figura 13: Mapa de Krigagem da distribuição espacial do *R.palmarum* no ano de 2015, em um plantio de palma de óleo no município de Tailândia/PA.



Fonte: Elaborado por MEDEIROS, 2019

Figura 14: Mapa de Krigagem da distribuição espacial do *R.palmarum* no ano de 2016, em um plantio de palma de óleo no município de Tailândia/PA.

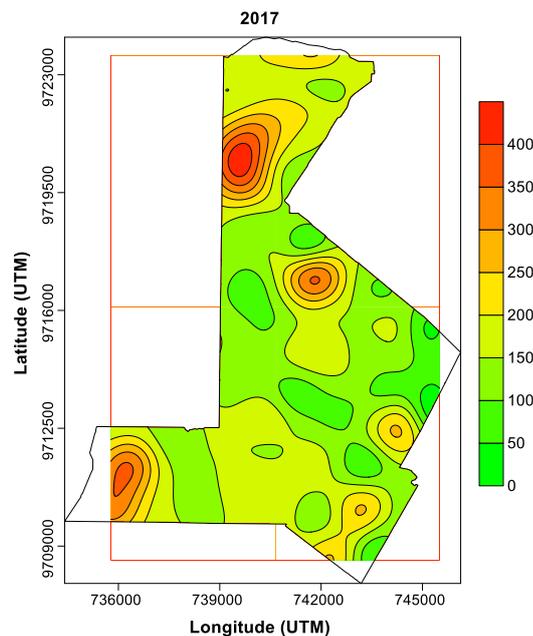


Fonte: Elaborado por MEDEIROS, 2019

Existe uma migração de insetos vindo da floresta para o talhão, visto que estes são atraídos pela grande quantidade de plantas de palma de óleo disponível no plantio. O fluxo de transporte de cachos na estrada que limita a floresta e o plantio, serve como atraente, deixando uma rota de exsudatos da palma, que acaba criando uma área favorável para a concentração do inseto na área experimental. Devido a sua grande capacidade de voo torna-se importante fazer o levantamento de áreas circundantes a plantações de dendezeiros, para detectar *R. palmarum* infectados com anel-vermelho (OEHLSCHLAGER et al., 2002).

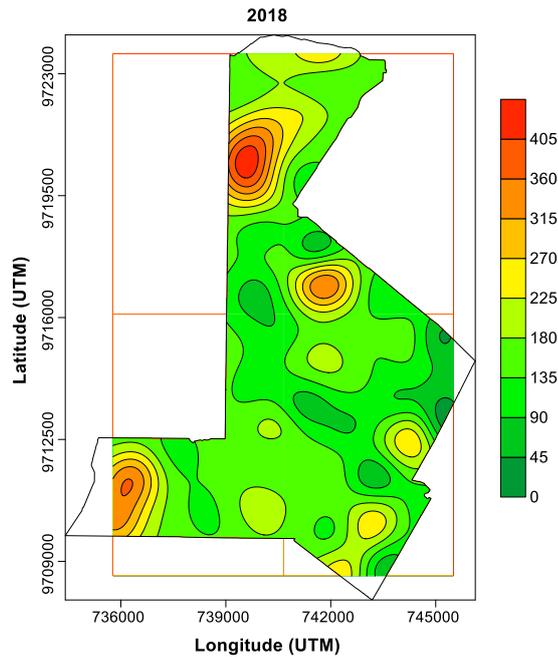
Os anos de 2017 e 2018 (Figura 15 e Figura 16) são marcados por reboleiras no meio da área estudada é interessante ressaltar que as reboleiras encontradas nesses anos coincidem com as manchas de anel vermelho encontrado nos mesmo anos (Figura 9 e Figura 10) demonstrando a influência que os casos de *R.pamarum* influenciam no espalhamento da doença do anel vermelho.

Figura 15: Mapa de Krigagem da distribuição espacial do *R.palmarum* no ano de 2017, em um plantio de palma de óleo no município de Tailândia/PA.



Fonte: Elaborado por MEDEIROS, 2019

Figura 16: Mapa de Krigagem da distribuição espacial do *R.palmarum* no ano de 2018, em um plantio de palma de óleo no município de Tailândia/PA.



Fonte: Elaborado por MEDEIROS, 2019

7. CONCLUSÕES

A distribuição espaço-temporal do Anel vermelho na área estudada apresentou padrão agregado, com dependências descritas pelo modelo gaussiano com alcance variando para doença de 690 m a 870 metros.

A distribuição espaço-temporal do *R.palmarum* na área estudada apresentou padrão agregado, com dependências descritas pelo modelo esférico e exponencial com alcance variando para doença de 860 m a 4990 metros.

As análises espaço-temporais do anel vermelho e *R.palmarum* nos anos de 2015 e 2016 demonstra que a infestação de *R. palmarum* localiza-se preferencialmente na periferia das quadras próximo a áreas de floresta.

A análise espaço-temporal do anel vermelho e *R.palmarum* nos anos de 2017 e 2018 demonstram que a forte infestação de *R.palmarum* contribuiu para focos maiores e infestação da doença.

A utilização da ferramenta geoestatística mostrou-se como uma ferramenta promissora para avaliação da distribuição espacial e temporal do anel vermelho e *R.palmarum*.

8. 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 31:557-563. 2006.

ARAÚJO, J. C. A. **Anel Vermelho do dendê.** Manaus: EMBRAPA-CPAA, 1990. 21 p. (EMBRAPA-CPAA. Circular técnica, 2).

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 2019.

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.

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 2019.

BECKER, B. K. Recuperação de áreas desflorestadas da Amazônia: será pertinente o cultivo da palma de óleo dendê. Revista Confins. Disponível em: <<https://confins.revues.org/6609?lang=pt>>. Acesso em: 20 de jan. de 2019.

BECKER, B. K. **Recuperação de áreas desflorestadas da Amazônia: será pertinente o cultivo da palma de óleo dendê.** Revista Confins. Disponível em: <<https://confins.revues.org/6609?lang=pt>>. Acesso em: 20 de jan. de 2019.

BLAIR, G.; DARLING, D. **Red ring disease on the coconut palm, inoculation studies and histopathology.** Nematologica, v. 14, n. 3, p. 395-403, 1968.

BOARETTO, M.A.C., BRANDÃO, A.L.S. 2000. Amostragem de insetos. Universidade Estadual do Sudoeste Bahia, Departamento de Fitotecnia e Zootecnia área de Entomologia, Vitória da Conquista, BA. <http://www.uesb.br/entomologia/amostrag.html>. <Acesso em 24 de jan. 2019>.

BOARI, A.J; JÚNIOR, R. A. G; TINÔCO. R. S; PINA, A. J. A. **Anel-Vermelho da Palma de Óleo.** Embrapa Amazônia Oriental Belém, PA 2016.

BOARI, A.J; JÚNIOR, R. A. G; TINÔCO. R. S; PINA, A. J. A. **Anel-Vermelho da Palma de Óleo.** Embrapa Amazônia Oriental Belém, PA 2016.

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

CAMILLO, J. Diversidade genética, conservação in vitro de germoplasma e análise do conteúdo de DNA nuclear em palma de óleo {*elaeis guineensis* jacq. E *elaeis oleifera* (kunth) cortés}. 2012, 157 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade De Brasília Brasília. 2012.

CARVALHO, J.R. DE.; SILVEIRA, P.M. DA.; VIEIRA, S.R. **Geoestatística na determinação da variabilidade espacial de características químicas do solo sob diferentes preparos** . *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, v. 37, n. 8, p. 1151-1159, ago. 2002.

CASTRO, J. M. C.; LIMA, C. R. F.; SANTANA, M. L. M. P. **Nematoide do anel vermelho do coqueiro e medidas de manejo**. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2009. 4 p. (Instruções técnicas, 88).

CHINCHILA, C. M. **El síndrome del anillo rojo-hoja pequeña en palma aceitera y cocotero**. *Revista Palmas*, v. 13, n. 1, p. 33-56, 1992.

CHINCHILA, C. M. The red ring little leaf syndrome in oil palm and coconut palm. *ASD Oil Palm Papers*, Costa Rica, n. 1, p. 1-17. 1991.

CHINCHILLA, C. M. El síndrome del anillo rojo-hoja pequeña en palma aceitera y cocotero. *Revista Palmas*, v. 13, n. 1, p. 33-56, 1992.

CORLEY, R. H. V.; TINKER, P. B. *La palma de aceite*. (World Agriculture Series).4. ed. Londres: Blackwell, 2009. 604 p.

CYSNE, A. Q.; CRUZ, B. A.; CUNHA, R. N. V; ROCHA, R. N. C. **Flutuação populacional de *Rhynchophorus palmarum* (L.) (Coleoptera: Curculionidae) em palmeiras oleíferas no Amazonas**. *Acta Amazonica*, v. 4, p. 197-202, 2013.

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

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

ESSER, R; MEREDITH, J. **Red ring nematode. Nematology Circular of the Florida**. Department of Agriculture. No. 141, Gainesville (US) 1987.

EULER, M.; KRISHNA, V.; SCHWARZE, S.; SIREGAR, H. AND QAIM, M. **Oil palm adoption, household welfare and nutrition among smallholder farmers in Indonesia**. SFB 990, University of Goettingen Berliner Straße 28, D-37073 Goettingen, Germany ISSN: 2197-6244.

FALEIRO, J, R; KUMAR, J. A; RANGNEKAR, P. A. Spatial distribution of red palm weevil *Rhynchophorus ferrugineus* Oliv.(Coleoptera: Curculionidae) in coconut plantations. *Crop Protection*. P. 171–176 2002.

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

FARIAS, P.R.S.; SÁNCHEZ-VILA, X.; BARBOSA, J.C.; VIEIRA, S.R.; FERRAZ, L. C. C. B.; SOLÍS- DELFIN, J. Using geostatistical analysis to evaluate the presence of *Rotylenchulus*

reniformis in cotton crops in Brazil: Economic implications, *Journal of Nematology*. v. 34, n.3, p. 232-238, 2002.

FERRAZ, G.A.S. et al. Agricultura de precisão no estudo de atributos químicos do solo e da produtividade de lavoura cafeeira. *Coffee Science*, v.7, n.1, p.59-67, 2012. Disponível em: <<http://www.coffeescience.ufla.br/index.php/Coffeescience/article/view/204/pdf>>. Acesso em: 10 mai. 2016.

FERREIRA, J. M. S.; LEAL, M. L. S.; SARRO, F. B.; ARAÚJO, R. P. C.; MOURA, J. I. L. **Avaliação de diferentes fontes atrativas e suas prováveis interações na captura de *Rhynchophorus palmarum***. Costa Rica: Manejo Integrado de Plagas y groecología, n. 67, p. 23-29, 2003.

FERREIRA, J. M. S.; WARWICK, D. R. N.; SIQUEIRA, L. A. **A cultura do coqueiro no Brasil**, 2ª Ed Brasília: Embrapa-SPI Aracaju:Embrapa-CPATC, p 292 1998.

FRANCO, E. **Estudo Sobre o Anel Vermelho do Coqueiro**. Departamento de defesa e inspeção agropecuária. Serviço de defesa sanitária vegetal. Inspetoria de defesa sanitária vegetal em Sergipe, Publicação n° 6, p 236, 1964.

FUNDAÇÃO AMAZÔNIA DE AMPARO A ESTUDOS E PESQUISAS DO PARÁ. FAPESPA. **Boletim Agropecuário do Pará 2017**. 2 ed. Belém: Fapespa, 2017, 91 f.

GIBLIN-DAVIS, R. M.; Insects of borers. In: HOWARD, F. W.; MOORE, D.; GIBLIN-DAVIS, R.M.; ABAD, R.G. **Insects on palms**. Wallingford-Oxon: CABI Publishing, 2001. 414p.

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

GRIFFITH, R.; **Red ring disease of coconut palm**. *Plant Disease* 71, 193–196. 1987.
HAGLEY, E. **The role of the palm weevil as a vector of red ring disease of coconuts**. *Journal of Economic Entomology* 56, 375–380 (1963).

INOMOTO, M. M.; SIQUEIRA, K. M. S.; MACHADO, A. C. Z. Sucessão de cultura sob pivô central para controle de fitonematoides: variação populacional, patogenicidade e estimativa de perdas. *Tropical Plant Pathology*, v.36, n.3, p.178-185, 2011. <<http://dx.doi.org/10.1590/S1982-56762011000300006>>.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Indicadores. Disponível em: www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/agropecuaria/censoagro/conceitos.shtm. Acesso em 10 de Março de 2019.

IZEPPI, T. S.; Distribuição espacial e dinâmica populacional de *Sphenophorus levis* (Coleoptera: Curculionidae) em cana-de-açúcar. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista (Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias), Jaboticabal, 2015.

JOURNEL, A. G. & HUIJBREGTS, J.C.H. *Mining geostatistics*. Academic Press, 600p. 1978.

LA TORRE, R. C. A.; LA TORRE, J. A. A.; MOYA, O. M. **BIOLOGÍA, Hábitos y manejo de *Rhynchophorus palmarum* L. (Coleoptera: Curculionidae).** Cenipalma. Boletín Técnico No. 23 Colombia 2010.

LA TORRE, R. C. A.; LA TORRE, J. A. A.; MOYA, O. M.; PARDEY, A. E. B. **El Anillo rojo en palma de aceite.** Cenipalma. Boletín Técnico No. 36 Colombia 2015.

LIEBHOLD, A. M.; ROSSI, R. E.; KEMP, W. P. Geostatistic and geographic information system in applied insect ecology. Annual Review of Entomology, Palo Alto, v. 38; p. 303327, 1993.

Massoud, A. A.; Sallam, J. R.; Faleiro S. Al-Abdan. Geographic information system-based study to ascertain the spatial and temporal spread of red palm weevil *Rhynchophorus ferrugineus* (Coleoptera: Curculionidae) in date plantations M.A. International Journal of Tropical Insect Science Vol. 32, No. 2, pp. 108–115, 2012.

MCBRATNEY, A. B.; WEBSTER, R. Choosing functions for semi-variograms of soil properties and fitting them to sampling estimates. Journal Soil Science, v. 37, n. 4, p. 617– 639, 1986.

MOURA, J. I. L.; BENTO, J. M. S.; DE SOUZA, Jonas; VILELA, E. F. **Captura de *Rhynchophorus palmarum* (L.) pelo uso de feromônio de agregação associado a árvore armadilha e inseticida.** Londrina: Anais da Sociedade Entomológica do Brasil, v. 26, p. 6973, 1997.

MOURA, J. I. L.; BUSOLI, A. C. (Ed.). **Manejo integrado de *Rhynchophorus palmarum* L. no agroecossistema do dendezeiro no Estado da Bahia.** Jaboticabal: Funep, 2006. 60p.

OEHLSCHLAGER, C.; CHINCHILLA, C.; CASTILLO, G.; GONZÁLEZ, L. Control of red ring disease by mass trapping of *R. palmarum* (Coleoptera: Curculionidae). The Florida Entomologist, v. 85, n. 3, p. 507-513, 2002.

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

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

OPROMOLLA, P.A.; DALBEN, I.; CARDIM, M. Análise geoestatística de casos de hanseníase no Estado de São Paulo, 1991-2002. Rev Saúde Pública. 2006;40(5):907-13

POSADA, F. **Manejo de vectores insectiles del anillo rojo en palma africana.** VI Seminario Problemas fitosanitarios de la palma africana, Chapter: Manejo de vectores insectiles del anillo rojo en palma africana, Publisher: Prociandino, Editors: B. Ramakrishna, equador pp.42-56, 1988.

PROT, J. C. Migration of plant-parasitic nematodes toward plant roots. *Revue de Nématologie*, v.3, n.2, p.305-318, 1980. <http://horizon.documentation.ird.fr/exl doc/pleins_textes/pleins_textes_5/pt5/nemato/21391.pdf>. 28 Nov. 2015.

ROCHAT, D; MALOSSE, C; LETTERE, M; DUCROT, P. H; ZAGATTI, P; RENO, M;DESCOINS, C. **Male-produced aggregation pheromone of the american palm weevil, *Rhynchophorus palmarum* (L.) (coleoptera, curculionidae): collection, identification, electrophysiological activity, and laboratory bioassay.** *Journal of Chemical Ecology*, Vol. 17, No. 11, 1991.

RUEDA, A. P; MARTÍNEZ, L. C. M; FERNANDES, F. L; RAMALHO, F. S; ZANUNCIO, J. C; SERRÃO, E, J. **Interactions Between the Bud Rot Disease of Oil Palm and *Rhynchophorus palmarum* (Coleoptera: Curculionidae).** *Journal of Economic Entomology*, 2016.

SÁNCHEZ. P.; CERDA. H. **The complex *Rhynchophorus palmarum* *Bursaphelenchus cocophilus* in palms.** *Boletín di Entomología Venezolana*8, 1–18 (in Spanish) 1993.

SANTOS, A.V.F.; OLIVEIRA, C. F.; Distribuição espacial e temporal dos adultos de *Rhynchophorus palmarum* linnaeus, 1764 (Coleoptera: curculionidae) em palma de óleo na Amazônia oriental. 2016; 54 f. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal Rural da Amazônia. Belém-PA.

SCHUILING, M.; DINTHER, J. B. Red ring disease in the Paricatuba Oil Palm Estate, Pará, Brazil. *Zeitschrift fur Angewandte Entomologie*, v. 91, n. 1/5, p. 154-169, 1981.

SILVA. C, M; MACAMBIRA, L, C; MERCÊS, E. P. R; SILVA G. B; LINS. P. M. P; CARVALHO. E. A. Distribuição espacial do anel vermelho (*Bursaphelenchus cocophilus*) e da resinose (*Thielaviopsis paradoxa*) em coqueiro. *Agrária Recife*, v.11, n.3, p.192-197, 2016.

STURARO, J. R.; Apostila de geoestatística básica. Universidade Estadual Paulista - Departamento de Geologia Aplicada. Rio Claro-SP. 2015.

TIHOHOD, D. **Nematologia agrícola aplicada.** Jaboticabal: FUNEP, 372 p. 1993.

TRIPLEHORN, C. A.; JONNISON, N. F. *Estudo dos Insetos.* São Paulo: Cengage Learning, 809p., 2011.

TURNER, P. D. **Oil palm diseases and disorders.** Oxford: Oxford University Press, 1981. 280p.

United States Department of Agriculture - USDA. **Oilseeds: World Markets and Trade.** Disponível em: <<https://downloads.usda.library.cornell.edu/usda>> Acesso em: 05 de Out. de 2019.

VALERIANO, M. M.; PRADO, H. Técnicas de geoprocessamento e de amostragem para o mapeamento de atributos anisotrópicos do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.25, n.3, 99p, 2001. Disponível em: <<http://sbcs.solos.ufv.br/solos/revistas/v25n4a22.pdf>>. Acesso em: 14 mai. 2016.

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. In: **Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Natal, Brasil, 25-30 abril 2009, INPE, p. 523-530.

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**. In: **Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Natal, Brasil, 25-30 abril 2009, INPE, p. 523-530.

WARWICK, D. R. N.; BEZERRA, A. P. T. Possible root transmission of red ring nematode (*Rhadinaphelenchus cocophilus*) to coconut palms. *Plant diseases*, v. 76, n. 8, p. 809-811, 1992.
WARWICK. D. R.N; SANTANA, D. L. Q.; DONALD, E. R. C. Anel vermelho do coqueiro aspectos gerais e medidas de controle, EMBRAPA, N 05, P17. 1995.

WARWICK. D. R.N; SANTANA, D. L. Q.; DONALD, E. R. C. **Anel vermelho do coqueiro aspectos gerais e medidas de controle**, EMBRAPA, N 05, P17. 1995.