



UNIVERSIDADE FEDERAL DO VALE DO SÃO FRANCISCO
CAMPUS DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA – PRODUÇÃO VEGETAL

Maria Andreia Rodrigues de Moura

**ANÁLISE ESPACIAL DO ANEL-VERMELHO-DO-
COQUEIRO EM PETROLINA-PE**

Petrolina, PE

2018

Maria Andreia Rodrigues de Moura

ANÁLISE ESPACIAL DO ANEL-VERMELHO-DO-COQUEIRO EM PETROLINA-PE

Dissertação apresentada à Universidade Federal do Vale do São Francisco - UNIVASF, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Agronomia – Produção Vegetal.

Orientador: Prof. D.Sc.
Alexandre Sandri Capucho
Coorientador: D.Sc. José Mauro
da Cunha e Castro

Petrolina, PE

2018

M929a Moura, Maria Andreia Rodrigues de.
Análise espacial do anel-vermelho-do-coqueiro em Petrolina-PE /
Maria Andreia Rodrigues de Moura. – Petrolina, 2018.
51 f. : il.

Dissertação (Mestrado em Agronomia – Produção Vegetal) –
Universidade Federal do Vale do São Francisco, Campus de Ciências
Agrárias, Petrolina-PE, 2018.
Orientador: Prof. Dr. Alexandre Sandri Capucho.

Referências.

1. Coqueiro. 2. *Bursaphelenchus cocophilus*. 3. Geoestatística.
I. Título. II. Universidade Federal do Vale do São Francisco.

CDD 632.6

UNIVERSIDADE FEDERAL DO VALE DO SÃO FRANCISCO
CAMPUS DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA – PRODUÇÃO VEGETAL

FOLHA DE APROVAÇÃO

Maria Andreia Rodrigues de Moura

**ANÁLISE ESPACIAL DO ANEL-VERMELHO-DO-COQUEIRO EM
PETROLINA-PE**

Dissertação apresentada como
requisito parcial para obtenção
do título de Mestre em
Agronomia - Produção Vegetal,
pela Universidade Federal do
Vale do São Francisco.

Aprovada em: 22 de fevereiro de 2018.

Banca Examinadora

Alexandre Sandri Capucho
(Alexandre Sandri Capucho, D.Sc., UNIVASF/CCA)

José Mauro da Cunha e Castro
(José Mauro da Cunha e Castro, D.Sc., Embrapa Semiárido)

Marcos Sales Rodrigues
(Marcos Sales Rodrigues, D.Sc., UNIVASF/CCA)

Henrique da Silva Silveira Duarte
(Henrique da Silva Silveira Duarte, D.Sc., UFPR)

À minha mãe, Izabel Dovirgens de Moura, que, lá do céu, cuida de mim.
Dedico

AGRADECIMENTOS

A Deus por sempre agir com amor e misericórdia em minha vida, e me fazer enxergar que se “Buscarmos as coisas do Alto, o mais nos será dado em acréscimo” (Mt 6, 33);

À minha família, em especial Maria Aline (irmã), por todo o incentivo;

À minha madrinha Maria Elizabete (Bel), que sempre me apoiou;

À Aline Mayara pela amizade e auxílio nas coletas dos dados desse trabalho;

Ao Professor Alexandre Sandri Capucho pela paciência; orientação, sinceridade e amizade. Por me motivar a ter um espírito crítico e por meio de seus gestos, mostrar como é importante estar feliz com o que escolhemos fazer;

Ao Professor Marcos Sales por sua disponibilidade e prontidão em me auxiliar na geoestatística;

Ao Doutor José Mauro pela orientação, conselhos e por todo auxílio;

Aos Professores Manuel Mota; Robin Giblin-Davis; Ednaldo Guimarães e Gérson Rodrigues por seus esclarecimentos;

A todos os professores do Programa de Pós-Graduação em Agronomia – Produção Vegetal da UNIVASF;

Ao grupo Fitomelhor pelo auxílio, pelas discussões de artigos (que por sinal me auxiliaram muito a desenvolver um espírito de pesquisadora) e disponibilidade em ajudar durante esses anos;

Aos meus colegas de Mestrado da turma 2016.1;

À PEPSICO, na pessoa de Felipe Carvalho, por todo o apoio; em especial a Arlison e Hélio por me auxiliarem nas coletas e partilharem seus conhecimentos;

À Embrapa Semiárido;

À FACEPE;

A todos que direta ou indiretamente contribuíram para realização desse trabalho, MUITO OBRIGADA. DEUS ABENÇOE.

RESUMO

O anel-vermelho-do-coqueiro, causado pelo fitonematoide *Bursaphelenchus cocophilus*, é uma das doenças mais agressivas da cultura. O coleóptero *Rhynchophorus palmarum* é considerado o principal agente de dispersão da doença. No entanto, outros mecanismos, como o contato entre raízes de plantas doentes e sadias; máquinas, implementos e ferramentas agrícolas contaminados podem auxiliar nesse processo. Para que se chegue a um manejo eficiente da doença, é de suma importância que a diagnose seja precoce e precisa, toda via, a diagnose da doença em sua fase inicial é difícil de ser realizada. Assim, estudos de prevalência e de análise espacial surgem como ferramentas importantes na adoção de medidas preventivas de manejo. Assim, objetivou-se neste estudo: 1. Realizar um levantamento para determinar a prevalência e a probabilidade de ocorrência do anel-vermelho-do-coqueiro, e a atuação do *R. palmarum* na dispersão de *B. cocophilus* na cultura do coqueiro-anão no Perímetro Irrigado Nilo Coelho (PINC); e 2. Estudar a distribuição espacial do anel-vermelho-do-coqueiro em uma região semiárida, na ausência do seu principal vetor (*R. palmarum*), usando a geoestatística como ferramenta. Para cumprir com o primeiro objetivo, foram amostrados lotes presentes em onze núcleos de irrigação (N1 a N11) do PINC. Amostras de raiz e estipe foram coletadas em pelo menos 30% dos lotes produtores de coco em cada núcleo de irrigação. O Núcleo N1 apresentou maior prevalência da doença, com 50% das amostras positivas, seguido pelos Núcleos N3, N4, N5 e N6, que apresentaram 35,0; 25,8; 37,5 e 44,4% das amostras positivas, respectivamente. Apesar da análise em 46 lotes nos Núcleos N2, N7, N8, N9, N10 e N11, a doença não foi identificada. Um total de 45,4% dos núcleos irrigados e 21,4% de todos os lotes amostrados apresentaram a doença, mesmo na ausência de seu principal vetor, a coleobroca *R. palmarum*. No segundo objetivo um total de 95 amostras foram coletadas dentro de uma malha amostral irregular de 1,63 ha ao redor de uma reboleira da doença. A amostragem foi realizada como no primeiro estudo, porém em duas épocas do ano (maio e agosto de 2017). A determinação do modelo de comportamento espacial foi realizada por meio de semivariogramas, sendo o modelo gaussiano o que apresentou o melhor ajuste. O índice de dependência espacial (IDE) foi classificado como forte, com alcance maior na segunda época de amostragem. Os semivariogramas não revelaram anisotropia. Na ausência do *R. palmarum*, a distribuição espacial do anel-vermelho-do-coqueiro tem um comportamento contínuo, do foco inicial para as plantas vizinhas. Aliada a isso, o forte IDE, a ausência de anisotropia e o modelo gaussiano ajustado ao semivariograma, confirmam a pouca importância do vetor e alta importância da comunicação entre as raízes na dispersão da doença.

Palavras Chave: *Bursaphelenchus cocophilus*; *Cocos nucifera*; Prevalência; Geoestatística

ABSTRACT

The red-ring disease, caused by the *Bursaphelenchus cocophilus*, is one of the most aggressive diseases of the coconut palm tree. *Rhynchophorus palmarum* is the main disease dispersion agent. However, other mechanisms can contribute, such as the contact between diseased and healthy plant roots, agricultural machines, implements and contaminated agricultural tools. To disease efficient management, it is of importantest that the diagnosis be early and accurate, but this does not occur in this patossistem. Thus, prevalence and spatial analysis studies appear as important tools in the adoption of preventive management practices. The study objectives were: 1) Determine the prevalence and probability of occurrence of the red-ring, and the relationship of *R. palmarum* with *B. cocophilus* dispersion in the Perímetro Irrigado Nilo Coelho (PINC); and 2) To study the red-ring disease spatial distribution in a semi-arid region, in the absence of its main vector (*R. palmarum*), using tools geostatistics. For the first objective, flocks were present in eleven irrigation nucleus (N1 to N11) of PINC. Root and stem samples were collected in at least 30% of the coconut palm tree plantations in each irrigation nucleus. The N1 irrigation nucleus presented the highest disease prevalence, with 50% of the positive samples, followed by N3, N4, N5 and N6, which presented 35, 25.8, 37.5 and 44.4% of the positive samples, respectively. In the 46 flocks in irrigation nucleus N2, N7, N8, N9, N10 and N11, the disease was not identified. A total of 45.4% of the irrigation nucleus and 21.4% of all sampled flocks presented the disease, even in the absence of its main vector, the *R. palmarum*. In the second objective, 95 samples were collected within an irregular sampling grids of 1.63 ha around a disease area. Sampling was performed as in the first study, but in two seasons (may and august 2017). The determination of the spatial behavior model was performed by semivariograms, and the gaussian model presented the best fit. The spatial dependence index (SDI) was classified as strong, with greater reach in the second sampling season. Semivariograms did not reveal anisotropy. In the absence of *R. palmarum*, the spatial distribution of the red-ring disease has a continuous behavior, from the initial focus to the neighboring plants. In addition, the strong SDI, the absence of anisotropy and the gaussian model adjusted to the semivariograms, confirm the low importance of the vector and importantest of the communication between the roots in the disease dispersion.

Keywords: *Bursaphelenchus cocophilus*; *Cocos nucifera*; Prevalence; Geostatistics

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	11
2.1 A cultura do coqueiro.....	11
2.2 O anel-vermelho-do-coqueiro	12
2.3 Estudo de prevalência.....	16
2.4 Ferramenta geoestatística na nematologia.....	17
3 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	21
4 CAPÍTULO 1 - PREVALÊNCIA E PROBABILIDADE DE OCORRÊNCIA DO ANEL-VERMELHO-DO-COQUEIRO NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO	25
Resumo	25
4.1 Introdução.....	25
4.2 Material e Métodos	27
4.3 Resultados	30
4.4 Discussão.....	32
4.5 Conclusão.....	34
4.6 Referências	34
5 CAPÍTULO 2 – DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DO ANEL-VERMELHO-DO-COQUEIRO NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO	37
Resumo	37
5.1 Introdução.....	37
5.2 Material e Métodos	39
5.2.1 Localização e amostragem	39
5.2.2 Análise geoestatística	42
5.3 Resultados	44
5.4 Discussão.....	46
5.5 Conclusão.....	49
5.6 Referências	49
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	51

1 INTRODUÇÃO

O coqueiro (*Cocos nucifera* L.) é uma frutífera de clima tropical, de grande importância econômica para quatro regiões do Brasil, com menor expressão no Sul do País. O Nordeste é o principal produtor e áreas não tradicionais como o Submédio do Vale do São Francisco vêm ganhando espaço na produção do fruto verde para consumo *in natura*. O polo agrícola do Município de Petrolina é o que mais se destaca, tanto que 11,2% do Perímetro Irrigado Nilo Coelho (PINC) é ocupado por esta cultura que gera empregos diretos e indiretos durante todo o ano (DINC, 2017; IBGE, 2017).

Entretanto, as doenças se destacam entre os limitantes de produção. O anel-vermelho-do-coqueiro, nematose causada por *Bursaphelenchus cocophilus* (Cobb, 1919) Baujard, 1989, é uma das mais agressivas, levando a planta à morte em dois a quatro meses após a infecção. Esta doença foi relatada pela primeira vez no PINC em 2009, e até então não se sabe quais são as áreas mais prejudicadas (CASTRO et al., 2009). A forma de dispersão mais comum desse patógeno é por meio do coleóptero *Rhynchophorus palmarum* L., conhecido como broca-do-olho-do-coqueiro. No entanto, outros mecanismos como o contato entre raízes doentes e sadias; máquinas, implementos e ferramentas agrícolas contaminados; e excesso de água no solo contribuem com a dispersão da doença. A inviabilidade das plantas atacadas aumenta a importância de medidas preventivas de manejo (DUARTE et al., 2008; GRIFFITH et al., 2005; WARWICK; BEZERRA, 1992).

Para que se chegue a um manejo eficiente da doença, é de suma importância que a diagnose seja precoce e precisa. Todavia a diagnose no estágio inicial desta doença é difícil de ser realizado, no entanto necessária porque a erradicação antecipada dos coqueirais com anel-vermelho é um passo crítico para reduzir a dispersão do patógeno. Dessa forma práticas que vise detectar áreas com maior intensidade da doença e probabilidade de risco de contaminação, ajudará a traçar medidas de manejo eficaz. Assim, o estudo da prevalência e da análise espacial surge como ferramenta importante na adoção de medidas preventivas de manejo.

O estudo de prevalência permite ter uma ideia de como a doença está distribuída e quais os locais afetados, o que viabiliza medidas de manejo mais específicas, a fim de evitar a dispersão da mesma para áreas isentas. Por sua

vez, o estudo da análise espacial, com o uso da geoestatística, permite inferir sobre a dependência espacial da doença, por meio de semivariogramas e confecção de mapas de krigagem, possibilitando uma diagnose antecipada das áreas com maior probabilidade de risco de contaminação ou, ainda, gerar hipóteses sobre aspectos epidemiológicos da doença, permitindo um planejamento adequado de tratamentos culturais nas áreas infestadas e não infestadas, evitando, dessa forma, a expansão da doença na propriedade, o que culmina no aumento da vida útil do coqueiral.

Assim, tendo em vista a agressividade desta doença e a escassez de informações sobre sua distribuição dentro do PINC, foi proposto realizar um levantamento para determinar a prevalência e a probabilidade de ocorrência do anel-vermelho-do-coqueiro, e a atuação do *R. palmarum* na dispersão do *B. cocophilus* na cultura do coqueiro-anão no Perímetro Irrigado Nilo Coelho (PINC), e estudar a distribuição espacial do anel-vermelho-do-coqueiro, na ausência do seu principal vetor o *R. palmarum*, usando a geoestatística como ferramenta.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 A cultura do coqueiro

O coqueiro (*Cocos nucifera* L.) é uma espécie frutífera, pertencente à família Arecaceae, nativo do Sudeste Asiático e representa importante fonte de renda para mais de 90 países tropicais. A Índia, Filipinas e Indonésia detêm 75% da produção mundial, sendo o restante distribuídos entre a África, América Latina, Oceania e Caribe (PASSOS; ARAGÃO; PASSOS, 2007; SANTANA; RIBEIRO; IGUTI, 2011).

O gênero *Cocos* é formado apenas pela espécie *Cocos nucifera* L., a qual apresenta duas variedades principais: *Typica* (Var. gigante) e a *Nana* (Var. anão), além do híbrido (anão x gigante). O coqueiro gigante é empregado comercialmente para uso agroindustrial. O coqueiro anão é cultivado, no Brasil, sobretudo, para consumo *in natura*, mas atende à agroindústria da água de coco; já o híbrido apresenta dupla aptidão (ARAGÃO; RIBEIRO; MELO, 2009).

O Brasil é o quarto maior produtor de coco do mundo, sendo o líder mundial na produção de coco verde para consumo *in natura* (FERREIRA NETO et al., 2007; SANTANA; RIBEIRO; IGUTI, 2011). A cocoicultura ocupa áreas na

região Norte, Nordeste, Sudeste e Centro-Oeste, com menor expressão no Sul do País. Na região Nordeste se encontram as maiores produções (76%), com destaque para os estados da Bahia, seguido por Ceará, Sergipe e Pernambuco (CARVALHO et al., 2008; IBGE, 2017). A expansão da cultura do coqueiro no Nordeste se deve, principalmente, às condições edafoclimáticas, associada a um manejo adequado, o que promove um ótimo desenvolvimento vegetativo e reprodutivo da cultura (AZEVEDO et al., 2006).

Em Pernambuco, as condições de cultivo irrigado em regiões não tradicionais, como o Submédio do Vale do São Francisco, fez da cocoicultura a terceira atividade agrícola de maior importância para o Município de Petrolina, sendo que 11,2% do Perímetro Irrigado Nilo Coelho (PINC) é ocupado por coqueirais. Devido à precocidade, baixo porte da planta, maior produção de frutos e qualidade da água de coco, a variedade Anã Verde tem representado mais de 90% das áreas ocupadas com a cultura nesse polo agrícola. Cerca de 94% da produção, nessa região, provém de pequenos agricultores, com áreas de até 7 hectares. Esta produção é comercializada na própria cidade, repassada para atravessadores ou, ainda, direcionada para empresas de envasamento. Por ser uma planta de produção contínua, o coqueiro gera empregos diretos e indiretos durante todo o ano e renda para mais de 500 produtores no PINC (DINC, 2017; FERREIRA NETO et al., 2007).

2.2 O anel-vermelho-do-coqueiro

Nowell (1919) observou que um grande número de raízes coletadas em coqueiros doentes em Trinidad continha centenas de nematoides da mesma espécie. Ele também observou que as plantas sintomáticas apresentavam, no interior do estipe, uma mancha avermelhada em forma de anel que acompanha o contorno do estipe, onde também foi constatada a presença de nematoides. Assim, ele atribuiu o nome da doença de anel-vermelho-do-coqueiro, termo este usado até hoje em vários países do mundo.

A doença ocorre em países continentais da América Central, (Belize, Guatemala, Honduras, El Salvador, Nicarágua, Costa Rica e Panamá), nas ilhas de Trinidad e Tobago, Granada, São Vicente, e Cuba e em países da América do Sul (Brasil, Venezuela, Guiana, Suriname, Guiana Francesa,

Colômbia, Equador e Peru) além do México na América do Norte (BOARI et al., 2016).

O primeiro relato do anel-vermelho, no Brasil, correu em São Paulo (LORDELLO; ZAMITH, 1954). Esta doença já foi descrita nas regiões Norte (Pará) e, principalmente, no Nordeste (Alagoas, Bahia, Ceará, Paraíba, Pernambuco, Maranhão, Rio Grande do Norte e Sergipe), além do Rio de Janeiro e Espírito Santo, no Sudeste, e Mato Grosso do Sul no Centro-Oeste (DIAS-ARIEIRA; MOLINA; COSTA, 2008; WARWICK, 2005; SÁNCHEZ-SOTO; NAKANO, 2002). No Submédio do Vale do São Francisco, foi relatada, pela primeira vez, em 2009 (CASTRO et al., 2009).

A doença ocorre mais frequentemente em coqueiros que estejam na faixa de 3 a 10 anos de idade, no entanto, plantas com mais de 20 anos também podem ser afetadas. Dependendo das condições ambientais, idade e variedade da planta, os sintomas da doença podem variar (GRIFFITH et al., 2005).

Na fase inicial da doença, as folhas mais velhas adquirem uma cor amarelada, que se desenvolve da ponta em direção à base. Com o avanço da infecção, as folhas inferiores ficam dependuradas, presas ao estipe, permanecendo, as mais novas, eretas, dando à planta um aspecto de guarda-chuva fechado ou saia (GRIFFITH, 1987; GRIFFITH et al., 2005). A presença de um anel vermelho no interior do estipe é o sintoma mais característico da doença. Essa coloração surge devido a distúrbios metabólicos decorrentes da atividade do nematoide que eleva o teor de gás carbônico no interior dos tecidos, causando alterações nos complexos enzimáticos do hospedeiro, culminando no acúmulo de glicosídeos, que dão origem a pigmentos antociânicos. Todavia a depender da variedade do coqueiro, esse sintoma pode ser menos expressivo, ao invés do anel vermelho, uma faixa rósea é formada no interior do estipe (TIHOHOD, 2000). Os primeiros sintomas da doença surgem, aproximadamente, 28 dias após a inoculação, culminando na morte da planta no período de dois a quatro meses (GIBLIN-DAVIS, 2001).

O agente causal da doença foi descrito como um nematoide aphelenchoideo (NOWELL, 1919), depois como *Aphelenchus cocophilus* (COBB, 1919). Mais tarde, a espécie foi transferida para o gênero *Rhadinaphelenchus cocophilus* (GOODEY, 1960) e, atualmente, pertence ao gênero *Bursaphelenchus* sendo denominado *B. cocophilus* (BAUJARD, 1989). Além do coqueiro, esse patógeno parasita outras palmáceas como o

dendezeiro (*Elaeis guineenses*), a tamareira (*Phoenix dactylifera*) e a palmeira imperial (*Roystonea regia*) (IDE et al., 2017).

O nematoide é um parasita obrigatório e pode ser encontrado, em qualquer estágio, nas raízes, caule e pecíolo das folhas. O seu ciclo passa pelo estágio de ovo e quatro estádios juvenis, sendo necessário entre nove e dez dias, para completá-lo. O terceiro estágio juvenil é o infectivo ao hospedeiro (BLAIR, 1965; TIHOHOD, 2000).

A penetração do patógeno ocorre diretamente ou por diferentes tipos de ferimentos no hospedeiro. Uma vez no interior dos tecidos do hospedeiro, o nematoide se alimenta das células do parênquima e seu movimento ocorre inter e intracelularmente. Os danos que os nematoides causam aos vasos do xilema induzem a formação de tilose que é o crescimento das células parenquimáticas, de forma irregular, para dentro do xilema. Esse processo culmina na oclusão vascular, irreversível em monocotiledôneas, uma vez que estas não formam tecido cambial (BLAIR; DARLING, 1968; GRIFFITH et al., 2005). O número de nematoides nesta região é muito superior ao encontrado nas raízes, sendo que, em cerca de 10 g de estipe, podem ser encontrados 50.000 nematoides ou mais (AGRIOS, 2005).

A dispersão do patógeno, na maioria das vezes, está relacionada ao inseto vetor, o besouro *Rhynchophorus palmarum* L. Estes são atraídos por compostos fenólicos liberados pelas plantas doentes ou quando nestas, ou mesmo em plantas saudias, é causado algum ferimento, decorrente de tratamentos culturais, colheita, etc. Os vetores também são atraídos pelos odores causados pelo processo de fermentação e putrefação resultante da ação do *B. cocophilus*. O besouro ataca a parte aérea da planta, suas larvas formam galerias que podem destruir o broto terminal ou o palmito. Uma vez o besouro se torne adulto, e caso o coqueiro esteja infectado pelo nematoide, as peças bucais e, ou o ovipositor das fêmeas acabam se contaminando (GERBER; GIBLIN-DAVIS, 1990; GIBLIN-DAVIS, 1993).

O nematoide pode sobreviver ao período de ecdise do inseto-vetor e, além disso, sempre que a larva do inseto se alimenta de material contaminado, o adulto formado carrega, em seu interior, o nematoide, geralmente no terceiro estágio juvenil. Dessa forma, ao voarem para outras plantas a fim de depositar seus ovos, dispersam milhares de nematoides (FERRAZ; BROWN, 2016; GIBLIN-DAVIS, 1993).

Existem outras formas de dispersão da doença, como o contato entre raízes de plantas contaminadas e sadias (WARWICK; BEZERRA, 1992); o excesso de umidade no solo, que possibilita a movimentação do nematoide facilitando a migração de uma planta para outra, principalmente quando a área é pouco drenada (TIHOHOD, 2000) e o uso de maquinário e de ferramentas de colheita e de despalma contaminados (DUARTE et al., 2008). É importante salientar que palmeiras com idade inferior a três anos não desenvolvem a doença, mesmo quando inoculadas, na fase de mudas, ainda no viveiro. Mais importante ainda é que, mesmo as mudas sendo plantadas em áreas onde plantas haviam sido erradicadas devido ao anel-vermelho, as plantas jovens não apresentam a doença, o que mostra que as mudas não são contaminadas naturalmente (WARWICK; BEZERRA, 1992).

O tempo de sobrevivência de *B. cocophilus* depende do local em que ele esteja habitando. No solo ou em água, ele sobrevive por até sete dias, todavia, no estipe, pecíolo e córtex da raiz, ele pode permanecer viável por mais de 90 dias (CHINCHILLA, 1991). Bierhals (2013), estudando a persistência de nematoides associados à rizosfera de coqueiros recém-erradicados, cultivados na Baixada Litorânea do Estado de Alagoas, observou que *B. cocophilus* foi capaz de sobreviver nas raízes dos coqueiros por 118 a 133 dias após o corte do estipe. Houve migração do nematoide das raízes para o solo, podendo este sobreviver entre 76 e 88 dias após o corte. Tal período de sobrevivência pode ser suficiente para que haja dispersão da doença dentro da área ou para áreas vizinhas, aumentando os danos da doença, o qual pode chegar a 100% na produção (SILVA et al., 2016).

Um dos maiores problemas dessa doença é a dificuldade de diagnose precoce. O sintoma externo muitas vezes, se confunde com a escassez ou com o excesso de água no perfil do solo. Além disso, os sintomas internos se desenvolvem primeiro que os externos e, dessa forma, quando os sintomas externos são visualizados, a planta já está completamente comprometida (FERRAZ; BROWN, 2016; GRIFFITH et al., 2005).

A prevenção é a medida de manejo que deve ser utilizada para controlar o agente causal do anel-vermelho-do-coqueiro, evitando que ocorra a dispersão do patógeno de um campo para outro. Todavia, uma vez constatada a doença, deve-se evitar a utilização de implementos, maquinário e ferramentas em áreas livres do patógeno, sem antes terem sido desinfestados,

além disso, tratos culturais devem ser realizados por último nas áreas infestadas, o que dificulta o transporte de nematoides para áreas isentas. A eliminação e queima das plantas com a doença devem ser realizadas imediatamente, uma vez que estas funcionam como fonte de inóculo. Outra medida importante seria a captura do inseto-vetor, em locais onde ele seja abundante, utilizando, para isso, armadilhas com fragmentos de cana-de-açúcar e melão, junto com o feromônio rincoforol. Estas armadilhas são recomendadas para serem distribuídas a cada 500 m ao redor do plantio. Até o momento, não se conhece medida eficaz para recuperar uma planta infectada (BOARI et al., 2016; FERRAZ et al., 2010; GRIFFITH et al., 2005).

2.3 Estudo de prevalência

Dada a importância da doença, seria interessante se esta pudesse ser quantificada ao longo do tempo e do espaço, a fim de avaliar as melhores medidas de manejo, as condições ambientais que a favorecem ou, ainda, qual a melhor forma para monitorá-la. Um estudo da prevalência pode ser usado para esse fim, uma vez que é obtido de uma medida de intensidade da doença utilizada para quantificar, por meio de proporção ou porcentagem, uma área geográfica (glebas, campos, talhões, propriedades, municípios, estados, países, etc.) com a ocorrência de tal doença (LOPES et al., 2014).

Para outros gêneros de nematoide, a prevalência também tem sido estudada. Karuri et al. (2016), estudando a diversidade de espécies de *Meloidogyne* em campos de babata, no Quênia, observaram que os níveis de precipitação e aumento de temperatura favoreceram maior prevalência de *M. incognita* quando comparada à de *M. hapla* e de *M. enterolobii*. Fleming et al. (2016) investigaram 191 campos agrícolas de cereais e pastagem na Irlanda do Norte e observaram menor prevalência dos gêneros *Pratylenchus* e *Meloidogyne* em gleissolos, além da associação entre estes gêneros, a fertilidade do solo e níveis de precipitação pluviométrica. Singh, Khurma e Lockhart (2012) verificaram que a prevalência de 41% de *Meloidogyne* spp. nas áreas agrícolas em Fiji foi favorecida pela partilha, entre os agricultores, de mudas contaminadas e implementos agrícolas infestados, ou ainda, por causas naturais como inundações e erosão do solo que auxiliaram na dispersão do nematoide-das-galhas.

Em outros patossistemas, a determinação da prevalência tem sido comum. É o caso de Huanglongbing ou greening, doença letal para a citricultura. Esta doença foi relatada pela primeira vez no Estado de São Paulo, em 2004, sendo que, após três anos, houve dispersão da doença com prevalência de 35% dos municípios (GOTTWALD, 2010; GOTTWALD; GRAÇA; BASSANEZZI, 2008).

A prevalência pode fornecer, aos produtores, extensionistas e autoridades, uma ideia sobre a importância e distribuição da doença para uma determinada localidade, além de possibilitar o estudo da velocidade de sua dispersão ao longo do tempo (LOPES et al., 2014).

2.4 Ferramenta geoestatística na nematologia

A geoestatística surgiu na área agrícola na década de 70, como uma nova metodologia de análise de dados que considera a localização espacial das amostras para determinar a distribuição e variabilidade espacial de uma variável em estudo. Assim, com o desenvolvimento das ferramentas geoestatística, foi possível mapear e propor uma projeção de abrangência de variáveis obtidas no campo em locais que não foram amostrados (SANTOS; CASTRO; GUIMARÃES, 2016; VIEIRA et al., 1983).

A geoestatística difere da estatística clássica na forma de avaliar a variação dos dados. Na estatística clássica, a localização da amostra na área não exerce influência no resultado. Na geoestatística considera existir uma dependência da variação com relação ao espaço de amostragem (SANTOS; CASTRO; GUIMARÃES, 2016).

Na análise geoestatística, primeiramente efetua-se o levantamento do semivariograma experimental, o qual representa quantitativamente a variação de um fenômeno regionalizado no espaço, sendo estimado pela seguinte equação (1):

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

No qual, $N(h)$ é o número de pares experimentais de dados separados por uma distância h ;

$Z(x_i)$ é o valor determinado em cada ponto amostrado;

$Z(x_i + h)$ é o valor medido num ponto mais uma distância h .

Alguns parâmetros devem ser observados na modelagem do semivariograma, pois eles auxiliam na descrição da dependência espacial. Os parâmetros do semivariograma são: alcance (a), que é a distância dentro da qual as amostras se apresentam correlacionadas espacialmente. O conhecimento do valor desse parâmetro permite definir o raio de amostragem. O patamar ($C_0 + C$) é o valor da semivariância que corresponde ao seu alcance. Deste ponto em diante, considera-se que não existe mais dependência espacial entre as amostras, porque a variância da diferença entre pares de amostras ($\text{Var}[Z(x) - Z(x+h)]$) torna-se invariante com a distância; efeito pepita (C_0): idealmente, $\gamma(0)=0$, entretanto, na prática, à medida que h tende para 0 (zero), $\gamma(h)$ se aproxima de um valor positivo que revela a descontinuidade do semivariograma para distâncias menores do que a menor distância entre as amostras e/ou devida a erros de medição (OLIVER; WEBSTER, 2014) (Figura 1).

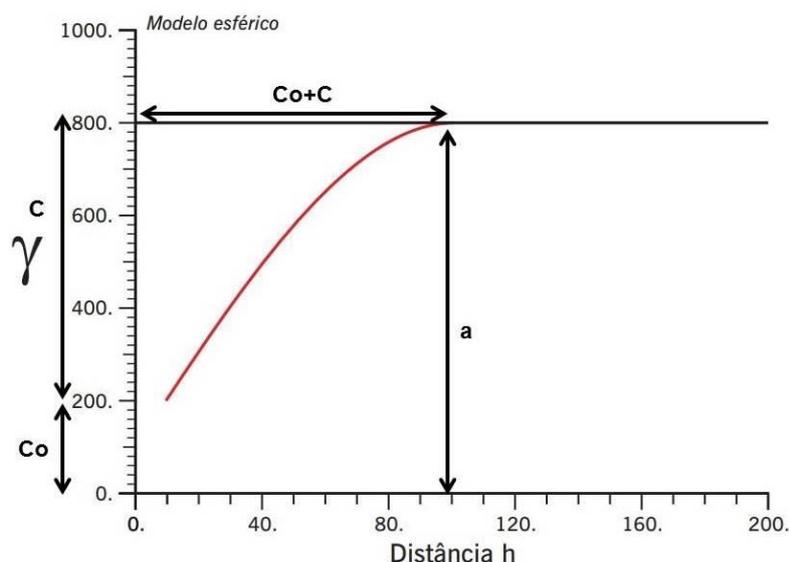


Figura 1. Parâmetros de um semivariograma (C_0 : efeito pepita; C : contribuição; C_0+C : patamar; a : alcance). Adaptado: LANDIM, 2006.

Na situação de um semivariograma ser constante e igual ao patamar para qualquer valor de h , é definido outro termo, denominado de efeito pepita puro. Isso ocorre quando a variável em estudo não apresenta dependência espacial. Caso haja dependência espacial, realiza-se o ajuste dos dados a um modelo

que represente o comportamento espacial da variável em estudo. Os modelos de semivariograma mais utilizados nas ciências agrárias são o esférico, o exponencial e o gaussiano (SANTOS; CASTRO; GUIMARÃES, 2016).

Geralmente, recomenda-se verificar a qualidade do ajuste por meio de validação cruzada, que compara os modelos dos semivariogramas e indica qual apresentou os melhores resultados. Desta forma, uma vez obtido o modelo do semivariograma, cada valor original é removido do domínio espacial e, usando-se os remanescentes, um novo valor é estimado para esse ponto. Desse modo, os valores preditos são comparados com os medidos. Vale salientar que o ajuste correto do modelo do semivariograma é de suma importância para uma análise criteriosa, uma vez que as análises e interpretação dos dados geoestatísticos dependem desse modelo (LANDIM, 2006; SUN et al., 2009).

Outra variável obtida a partir dos parâmetros do semivariograma é o índice de dependência espacial (IDE). O IDE é utilizado para descrever o grau de dependência espacial o qual pode ser classificado como fraco, moderado ou forte. Este índice pode ser classificado de diferentes formas. Seidel e Oliveira (2016) propõe o cálculo para a classificação do IDE baseado no modelo de semivariograma para quais os dados foram ajustados:

$$IDE \text{ esférico}(\%) = 0,375 \times \left(\frac{c}{c_0+c}\right) \times \left(\frac{a}{0,5MD}\right) \times 100 \quad (2)$$

$$IDE \text{ exponencial}(\%) = 0,317 \times \left(\frac{c}{c_0+c}\right) \times \left(\frac{a}{0,5MD}\right) \times 100 \quad (3)$$

$$IDE \text{ gaussiano}(\%) = 0,504 \times \left(\frac{c}{c_0+c}\right) \times \left(\frac{a}{0,5MD}\right) \times 100 \quad (4)$$

Na tabela a seguir observam-se os IDE das variáveis classificadas como fraca, moderada e forte, conforme o modelo ajustado do semivariograma e o IDE (%) obtidos.

Tabela 1. Classificação de modelos semivariogramas baseado no índice de dependência espacial (IDE), segundo Seidel e Oliveira (2016).

Modelo Semivariograma	IDE (%)		
	Fraca	Moderada	Forte
Esférico	IDE ≤ 7%	7% < IDE ≤ 15%	IDE > 15%
Exponencial	IDE ≤ 6%	6% < IDE ≤ 13%	IDE > 13%
Gaussiano	IDE ≤ 9%	9% < IDE ≤ 20%	IDE > 20%

Ao se construir o semivariograma, as informações geradas por ele permitem realizar estimativa da variável nos locais não amostrados. Para isso, utiliza-se o método da krigagem que se baseia na interpolação de dados e usa a interdependência entre as amostras adjacentes, expressa no semivariograma, para estimar valores em qualquer posição dentro da área em estudo, na qual o modelo do semivariograma foi ajustado, sem tendência e com variância mínima, possibilitando o mapeamento da variável determinando sua distribuição e variabilidade espacial na área de interesse.

Para a área de nematologia, há alternativas, como o uso da Krigagem indicatriz. Esse interpolador é uma Krigagem ordinária não-paramétrica que apresenta a vantagem de não sofrer a influência de valores discrepantes da variável em estudo, sendo útil, portanto, para dados assimétricos, típicos em estudos nematológicos. Os mapas gerados por esse interpolador indicam a probabilidade de ocorrência da variável na área em estudo (MOTOMIYA; CORÁ; PEREIRA, 2006; YAMAMOTO; LANDIM, 2013). Trabalhos têm sido desenvolvidos utilizando a geoestatística a fim de definir a dependência ou independência espacial de fitonematoides.

Ortiz et al. (2010) utilizando a geoestatística para modelar a variabilidade espacial de *Meloidogine incognita* e identificar as áreas de risco em campo com algodão na planície costeira do sudeste dos EUA, observaram dependência espacial moderada a forte, além de associação entre esse patógeno e as propriedades físicas do solo. Gavassoni, Tylka e Munkvold (2001) utilizaram a geoestatística para avaliar os efeitos dos diferentes métodos de plantio sobre os padrões espaciais do nematoide dos cistos da soja (*Heterodera glycines*) e constataram que os menores valores de patamar e alcance, ao longo do tempo, em plantio convencional, estavam relacionados ao uso de maquinário agrícola que movimentava o solo infestado dentro da lavoura.

No Brasil, Brida et al. (2016) analisaram a variabilidade espacial de *M. javanica* em soja, ajustando os semivariogramas esférico e gaussiano para as áreas com alta e baixa infestação, respectivamente.

Dinando-Miranda e Fracasso (2009), ao estudarem a distribuição espacial de fitonematoides em área com cana-de-açúcar, observaram IDE moderado com valor de alcance entre de 18 a 35 m, sugerindo que seria necessário coletar amostras em cinco pontos por hectare. Essas pesquisas com a análise geoestatística têm mostrado o quanto essa ferramenta é potencialmente útil na

compreensão da distribuição e variabilidade espacial de fitonematoides, culminando no manejo antecipado e adequado.

3 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGRIOS, G. N. **Plant pathology**. 5. Ed. Amsterdam: Elsevier, 2005. 922p.
- ARAGÃO, W. M.; RIBEIRO, F. E.; MELO, M. F. V. Cultivares de coqueiro para a produção de coco seco: coqueiro gigante vs. híbrido. In: CINTRA, F. L. D. et al. (Eds.). **Fundamentos tecnológicos para a revitalização das áreas cultivadas com coqueiro gigante no Nordeste do Brasil**. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2009. p. 38-60.
- AZEVEDO, P. V. et al. Water-use efficiency of dwarf-green coconut (*Cocos nucifera* L.) orchards in northeast Brazil. **Agricultural water management**, v. 84, p. 259-264, 2006.
- BAUJARD, P. Remarques sur les genres des sousfamilles Bursaphelenchina Paramonov, 1964 et Rhadinaphelenchinae Paramonov, 1964 (Nematoda: Aphelenchoididae). **Revue de Nématologie**, v. 12, n. 3, p. 323-324, 1989.
- BIERHALS, A. N. **Persistência de nematoides associados à rizosfera de coqueiros recém-erradicados**. 2013, 59 f. Dissertação (Mestrado em Proteção de Plantas) – Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2013.
- BLAIR, G. P.; DARLING, H. M. Red ring disease of the coconut palm, inoculation studies and histopathology. **Nematologica**, v. 14, n. 3, p. 395-403, 1968.
- BLAIR, G. The use of immature nuts of *Cocos nucifera* for studies on *Rhadinaphelenchus cocophilus*. **Nematologica**, v.11, p. 590-592, 1965.
- BOARI, A. J. et al. Anel-vermelho da palma de óleo. Belém: **Embrapa Amazônia Oriental**, 2016. 59p.
- BRIDA, A. L. et al. Variabilidade espacial de *Meloidogyne javanica* em soja. **Summa Phytopathologica**, v. 42, n. 2, p. 175-179, 2016.
- CARVALHO, E. X. et al. Variabilidade e comportamento de cultivares de coqueiro anão nos Tabuleiros Costeiros do Norte de Sergipe. **Bragantia**, Campinas, v. 67, n. 1, p. 91-100, 2008.
- CASTRO, J. M. C. et al. Ocorrência do nematoide do anel vermelho do coqueiro em Petrolina – PE. Petrolina: **Embrapa Semiárido**, 2009.
- CHINCHILLA, C. M. The red ring little leaf syndrome in oil palm and coconut palm. **ASD Oil Palm Papers**, Costa Rica, n. 1, p. 1-18, 1991.
- COBB, N. A. A newly discovered nematode (*Aphelenchus cocophilus* sp. n.) connected with a serious disease of the coconut palm. **West Indian Bulletin**, v. 17, p. 203-210, 1919.
- DIAS-ARIEIRA, C. R.; MOLINA, R. O.; COSTA, A. T. Nematoides causadores de doenças em fruteiras. **Agro@ambiente On-line**, Boa Vista, v. 2, n. 1, p. 46-56, 2008.

- DINARDO-MIRANDA, L. L.; FRACASSO, J. V. Spatial distribution of plant-parasitic nematodes in sugarcane fields. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 66, n. 2, p.188-194, 2009.
- DINC. **Perímetro Irrigado Nilo Coelho**. Petrolina: Distrito de Irrigação Nilo Coelho, 2017. Disponível em: <http://www.dinc.org.br/?cat=5>. Acesso em: 08 set. 2017.
- DUARTE, A. G. et al. Disposição do nematóide *Bursaphelenchus cocophilus* (Cobb), em coqueiros portadores da doença anel-vermelho. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 30, n. 3, p. 622-627, 2008.
- FERRAZ, L. C. C. B.; BROWN, D. J. F. **Nematologia de plantas**: fundamentos e importância. Manaus: Normas Editora, 2016. 251p.
- FERRAZ, S. et al. **Manejo Sustentável de Fitonematoides**. Viçosa: UFV, 2010. 304p.
- FERREIRA NETO, M. F. et al. Qualidade do fruto do coqueiro anão verde em função de nitrogênio e potássio na fertirrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 11, n. 5, p. 453-458, 2007.
- FLEMING, T. R. et al. Prevalence and diversity of plant parasitic nematodes in Northern Ireland grassland and cereals, and the influence of soils and rainfall. **Plant Pathology**, p. 1-12, 2016.
- GAVASSONI, W. L.; TYLKA, G. L.; MUNKVOLD, G. P. Relationships between tillage and spatial patterns of *Heterodera glycines*. **Phytopathology**, v. 91, n. 6, p. 534-545, 2001.
- GERBER, K.; GIBLIN-DAVIS, R. M. Association of the red ring nematode and other nematode species with the palm weevil, *Rhynchophorus palmarum*. **Journal of Nematology**, v.22, n. 2, p. 143-149, 1990.
- GIBLIN-DAVIS, R. M. Borers of palms. In: HOWARD, F. W.; MOORE, D.; GIBLIN-DAVIS, R. M.; ABAD, R. G. (Eds.). **Insects on Palms**. Wallingford: CAB International, 2001. p. 267–305.
- GIBLIN-DAVIS, R. M. Interactions of nematodes with insects. In: KHAN, M. W. (Ed.). **Nematode interactions**. London, Chapman and Hall, 1993, p. 302-344.
- GOODEY, J. B. *Rhadinaphelenchus cocophilus* (Cobb, 1919) n. comb., the nematode associated with 'red-ring' disease of coconut. **Nematologica**, v. 5, p. 98-102, 1960.
- GOTTWALD, T. R. Current epidemiological understanding of citrus Huanglongbing. **Annual Review of Phytopathology**, Palo Alto, v. 48, p. 119-139, 2010.
- GOTTWALD, T. R.; GRAÇA, J. V.; BASSANEZZI, R. B. Citrus Huanglongbing: the pathogen and its impact. **Plant Health Progress**, Saint Paul, 2008.
- GRIFFITH, R. et al. Nematode parasites of coconut and other palms. In: LUC, M.; SIKORA, R. A.; BRIDGE, J. (Eds.). **Plant parasitic nematodes in subtropical and tropical agriculture**. 2. ed. Wallingford: CAB International, 2005. p. 493-527.
- GRIFFITH, R. Red ring disease of coconut palm. **Plant Disease**, West Indies, v. 71, n. 2, p. 192-196, 1987.

- IBGE. **Produção Agrícola 2016**. Brasília: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2016. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/tabela/1618#resultado>>. Acesso em: 02 fev. 2017.
- IDE, T. et al. Loop-mediated isothermal amplification (LAMP) for detection of the red ring nematode, *Bursaphelenchus cocophilus*. **Nematology**, Leiden, v. 19, n. 5, p. 559-565, 2017.
- KARURI, H. W. et al. A survey of root knot nematodes and resistance to *Meloidogyne incognita* in sweet potato varieties from Kenyan fields. **Crop Protection**, v. 92, p. 114-121, 2016.
- LANDIM, P. M. B. Sobre Geoestatística e mapas. **Terra e Didática**, v. 2, n. 1, p. 19-33, 2006.
- LOPES, U. P. et al. Quantificação de doenças de plantas. In: ZAMBOLIM, L.; JESUS JUNIOR, W. C.; RODRIGUES, F. A. (Eds.). **O essencial da fitopatologia: epidemiologia de doenças de plantas**. Viçosa: UFV, 2014. p. 50-77.
- LORDELLO, L. G. E.; ZAMITH, A. P. L. Constatação da moléstia do anel vermelho do coqueiro no Estado do Rio de Janeiro, redescrição do agente causador. **Anais da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz**, Piracicaba, v.11, p. 125-132, 1954.
- MOTOMIYA, A. V. A.; CORÁ, J. E.; PEREIRA, G. T. Uso da krigagem indicatriz na avaliação de indicadores de fertilidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, n. 3, p. 485-496, 2006.
- NOWELL, W. Red ring or root disease of coconut palms. **West Indian Bulletin**, v. 17, p. 189-192, 1919.
- OLIVER, M. A.; WEBSTER, R. A tutorial guide to geostatistics: Computing and modelling variograms and kriging. **Catena**, v. 113, p. 56-69, 2014.
- ORTIZ, B. V. et al. Geostatistical modeling of the spatial variability and risk areas of southern root-knot nematodes in relation to soil properties. **Geoderma**, Botucatu, v. 156, p. 243-252, 2010.
- PASSOS, C.; ARAGÃO, W. M.; PASSOS, E. E. M.. Herdabilidade de caracteres reprodutivos de cultivares de coqueiro anão. **Revista Brasileira de Biociências**, Porto Alegre, v. 5, n. 1, p. 336-338, 2007.
- SÁNCHEZ-SOTO, S; NAKANO, O. Registro de *Rhynchophorus palmarum* L. (Coleoptera: Curculionidae) no Estado de Mato Grosso do Sul. **Neotropical Entomology**, Londrina, v. 31, n. 4, p.659-660, 2002.
- SANTANA, I. A.; RIBEIRO, E. P.; IGUTI, A. M. Evaluation of green coconut (*Cocos nucifera* L.) pulp for use as milk, fat and emulsifier replacer in ice cream. **Procedia Food Science**, v. 1, p. 1447-1453, 2011.
- SANTOS, M. A. D.; CASTRO, L. H. S.; GUIMARÃES, E. C. Diagnose de fitonematoides no campo, técnicas de amostragem e geoestatística. In: OLIVEIRA, C. M. G.; SANTOS, M. A.; CASTRO, L. H. S. (Eds). **Diagnose de Fitonematoides**. Campinas: Millennium, 2016. p. 15-65.
- SEIDEL, E. J.; OLIVEIRA, M. S. A. A classification for a geostatistical index of spatial dependence. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 40, p. 1-10, 2016.

- SILVA, C. M. et al. Distribuição espacial do anel vermelho (*Bursaphelenchus cocophilus*) e da resinose (*Thielaviopsis paradoxa*) em coqueiro. **Agrárias**, Recife, v. 11, n. 3, p. 192-197, 2016.
- SINGH, S. K.; KHURMA, U. R.; LOCKHART, P. J. Distribution and diversity of root-knot nematodes in agricultural areas of Fiji. **Nematropica**, Florida, v. 42, n. 1, p. 17-25, 2012.
- SUN, Y. et al. Comparison of interpolation methods for depth to groundwater and its temporal and spatial variations in the Minqin oasis of northwest China. **Environmental Modelling & Software**, v. 24, n. 10, p. 1163-1170, 2009.
- TIHOHOD, D. **Nematologia Agrícola Aplicada**. 2. Ed. Jaboticabal: FAPESP, 2000. p. 471.
- VIEIRA, S. R. et al. Geostatistical theory and application to variability of some agronomical properties. **Hilgardia**, v. 51, n. 3, p. 1-75, 1983.
- WARWICK, D. R. N. Principais características do anel-vermelho e murcha-de-fitomonas. Aracaju: **Embrapa Tabuleiros Costeiros**, 2005. 8p.
- WARWICK, D. R. N.; BEZERRA, A. P. T. Possible root transmission of the red ring nematode (*Rhadinaphelenchus cocophilus*) to coconut palms. **Plant Disease**, West Indies, v.76, n.8, p. 809-811, 1992.
- YAMAMOTO, J. K.; LANDIM, P. M. B. **Geoestatística**: conceitos e aplicações. São Paulo: Oficina de Textos, 2013. 216p.

4 CAPÍTULO 1 - PREVALÊNCIA E PROBABILIDADE DE OCORRÊNCIA DO ANEL-VERMELHO-DO-COQUEIRO NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO¹

Resumo

O fitonematoide *Bursaphelenchus cocophilus*, agente causal do anel vermelho do coqueiro, constitui-se em um limitante para a produção de coco no Brasil e no mundo. Sua ocorrência no Município de Petrolina – PE foi relatada em 2009. Considerando a importância da doença no coqueiro e a falta de informação sobre a sua distribuição, objetivou-se realizar um levantamento para determinar a prevalência e a probabilidade de ocorrência do anel-vermelho-do-coqueiro, e a atuação do principal vetor o *Rhynchophorus palmarum*, na dispersão de *B. cocophilus* na cultura do coqueiro-anão no Perímetro Irrigado Nilo Coelho (PINC) em Petrolina-PE. Foram amostrados lotes presentes em onze núcleos de irrigação (N1 a N11) do PINC. As amostras de raízes e estipe foram coletadas, em pelo menos, 30% dos lotes de coco em cada núcleo de irrigação, totalizando 126 amostras. Quando encontrado, o inseto-vetor também foi coletado nas amostragens. Um total de 45,4% dos núcleos amostrados apresentou a doença. No Núcleo N1, 50% das amostras foram positivas para a doença. Os Núcleos N3, N4, N5 e N6 apresentaram 35,0; 25,8; 37,5 e 44,4% das amostras positivas, respectivamente. Apesar da expressiva análise em 46 lotes, nos Núcleos N2, N7, N8, N9, N10 e N11, a doença não foi encontrada. Não foi identificada, em nenhuma amostra, a presença de *B. cocophilus* no seu vetor. Pela análise dos resultados de prevalência e probabilidade de ocorrência da doença, pode-se inferir que ela se encontra bem dispersa no PINC, sendo que a essa dispersão não é ocasionada pelo seu principal vetor, a coleobroca *R. palmarum*.

Palavras-chave: *Bursaphelenchus cocophilus*; *Cocos nucifera*; Levantamento

4.1 Introdução

O coqueiro (*Cocos nucifera* L.), espécie da família Arecaceae, é uma das mais importantes frutíferas de clima tropical. O Brasil é o quarto maior produtor mundial e o primeiro na produção de coco verde para o consumo *in natura*. Nos estados da Bahia, Ceará e Sergipe está situada mais de 60% da produção nacional (Aragão et al., 2009; IBGE, 2017).

Entretanto, com o aumento da demanda por coco verde para o consumo *in natura*, a atividade de produção em regiões não tradicionais, como o Semiárido nordestino, tem crescido nos últimos anos. O Município de Petrolina, por exemplo, ocupa o quarto lugar em produção de coco do Nordeste. A área plantada com coqueiro é superior a 2.500 hectares, a qual ocupa 11,2% do perímetro irrigado, sendo a terceira cultura mais explorada na região (IBGE,

¹ Artigo à ser submetido na Revista **Tropical Plant Pathology**

2017; DINC, 2017). Todavia, essa expressividade em área planta pode ser reduzida devido a presenças de doenças.

Entre as doenças que limitam a produção, o anel-vermelho-do-coqueiro, causado por *Bursaphelenchus cocophilus* (Cobb, 1919) Baujard, 1989, é uma das mais agressivas e interfere diretamente no rendimento da cultura, podendo reduzir a produção em taxas que podem variar entre 60% e 100%. (Arieira et al., 2008; Silva et al., 2016). Esta doença foi relatada no Estado de São Paulo em 1937 (Lordello; Zamith, 1954) e chegou ao Submédio do Vale do Rio São Francisco em 2009 (Castro et al., 2009).

Nas regiões onde há registros da doença do anel-vermelho, o principal agente de dispersão é o coleóptero *Rhynchophorus palmarum* L. (Coleoptera: Curculionidae), inseto-vetor que transmite o nematoide de uma planta infectada para outra sadia, tanto que é comum, em áreas de coqueiro, a captura mensal de dezenas de insetos por hectare (Oehlschlager et al., 1995; Giblin-Davis; Kanzabi; Davies, 2013). No entanto, a dispersão também pode ocorrer por outros mecanismos como pelo contato das raízes de plantas doentes com aquelas de plantas saudias; movimentação do solo infestado transportado pelo homem ou aderido a implementos agrícolas, maquinários e veículos; ferramenta de colheita e por ferimento nas raízes durante o preparo do solo. Além disso, o teor de água no solo pode influenciar na dispersão, uma vez que o nematoide consegue migrar de uma planta para outra quando há excesso de umidade. Dessa forma pode acontecer do inseto-vetor atuar sozinho ou não estar associado à dispersão da doença. A doença é sistêmica e uma planta infectada é levada à morte em cerca de dois a quatro meses (Chinchila, 1991; Warwick; Bezerra, 1992; Giblin--Davis, 2001; Griffith et al., 2005; Duarte et al., 2008).

Uma forma de reduzir os danos da doença seria a sua diagnose precoce, o que não é fácil em seu estágio inicial, e, por isso, dificulta o monitoramento e consequente manejo. Assim, o estudo da prevalência e probabilidade de ocorrência contribuirá para identificação das áreas com maior intensidade da doença o que possibilita o mapeamento, dando uma ideia de como está distribuída e quais são as áreas com risco iminente de ocorrência (Griffith et al., 2005; Zucoloto et al., 2009; Ferraz; Brown, 2016).

Essa informação é relevante para produtores, pesquisadores, extensionistas e autoridades para que conheçam a importância da doença e

viabilizem o monitoramento e a adoção de medidas preventivas de controle (Lopes et al., 2014). Assim, uma adequada recomendação de manejo em áreas infestadas ou em risco poderá contribuir com a sustentabilidade do agronegócio da cocoicultura no Semiárido nordestino.

Diante do exposto, objetivou-se realizar um levantamento para determinar a prevalência e a probabilidade de ocorrência do anel-vermelho-do-coqueiro, e a atuação do principal vetor, *R. palmarum*, na dispersão de *B. cocophilus* na cultura do coqueiro-anão no Perímetro Irrigado Nilo Coelho (PINC) em Petrolina-PE

4.2 Material e Métodos

O PINC está localizado entre as coordenadas 40°50' e 40°23' de Longitude Oeste e 09°14' e 09°27' de Latitude Sul. Possui área total de aproximadamente 17.957 hectares divididos em 11 núcleos de agricultura irrigada, com predominância de solos com textura arenosa a média.

Onze Núcleos (N1a N11) do PINC, em Petrolina-PE, foram amostrados no período de outubro a dezembro de 2016 (Figura 1). O número de lotes amostrados por Núcleo foi padronizado, definindo-se que as coletas seriam realizadas, aleatoriamente, em pelo menos, 30% dos lotes agrícolas com plantações de coqueiros em cada núcleo, totalizando 126 lotes amostrados (Tabela 1). Dessa forma a unidade amostral foi definida por um lote, com cerca de 5 ha cada, onde se cultiva o coqueiro. O local de coleta foi georreferenciado com um receptor GPS (Global Position System) de navegação com precisão média de 3 m, adicionando informações sobre variedade plantada, sistema e manejo de irrigação, medidas de manejo cultural e formas de comercialização do fruto.

As amostras consistiram de raízes e fragmentos de estipe coletados em coqueiros com sintomas supostamente causados por *B. cocophilus*, por meio de caminhamento em zigue-zague. Várias plantas foram observadas durante o caminhamento, sendo coletadas amostras de, pelo menos, três plantas por lote, tendo a coleta sido direcionada às plantas com sintomas do anel-vermelho. Para isso, cerca de 100 g de raízes, situadas junto à base do estipe, foi coletada a uma profundidade de 15 cm. Aproximadamente 100 g da base do estipe, a 2 cm de profundidade, também foram coletados. Logo após a coleta,

as amostras foram acondicionadas em sacos plásticos, etiquetados com informações do produtor e do local de coleta e encaminhadas ao Laboratório de Fitopatologia da Universidade Federal do Vale do São Francisco (UNIVASF), para o processamento em até 48 horas.

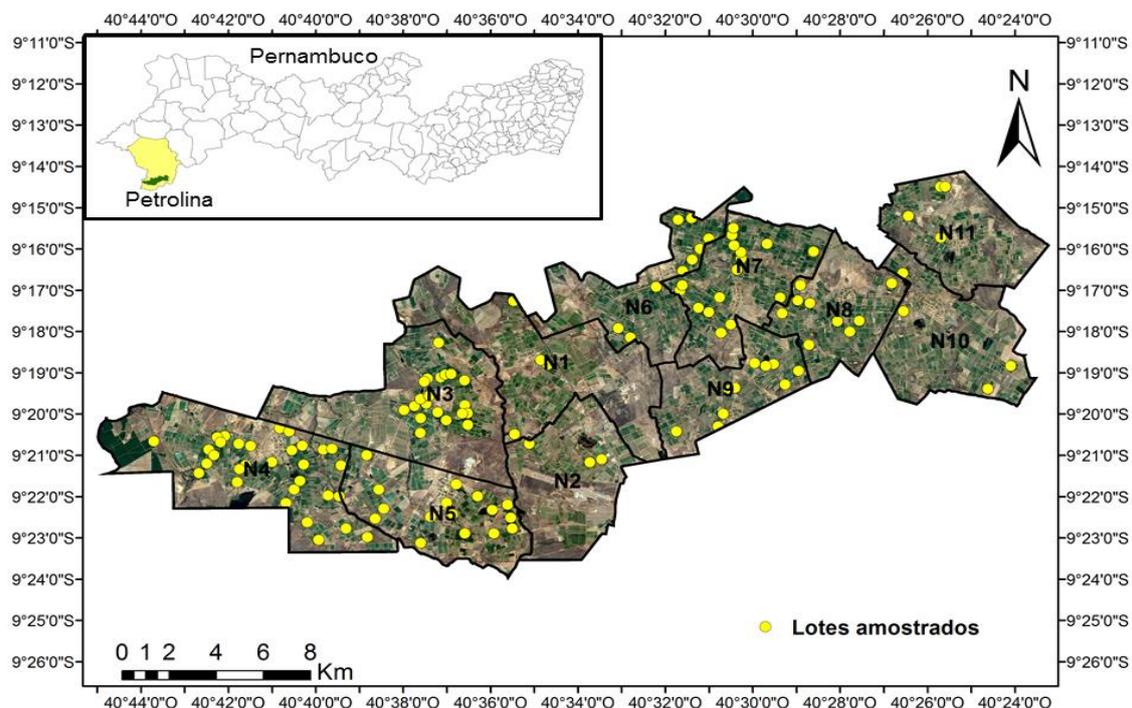


Figura 1. Esquema amostral para o estudo de prevalência e probabilidade de ocorrência de *Bursaphelenchus cocophilus* no Perímetro Irrigado Nilo Coelho, no Município de Petrolina-PE. (Datum: WGS 1984).

Tabela 1. Número de lotes com plantações de coqueiro amostrados por núcleo no Perímetro Irrigado Nilo Coelho, no Município de Petrolina-PE.

Núcleos	Nº lotes	Nº lotes amostrados
N1	18	04
N2	05	03
N3	67	20
N4	96	31
N5	53	16
N6	29	09
N7	52	16
N8	27	09
N9	34	10

N10	13	04
N11	14	04

Para a retirada de resíduos de solo, as amostras de raízes/estipe foram lavadas em água corrente. Posteriormente, foram cortadas em fragmentos de 2 cm de comprimento e colocadas em frascos de plásticos de 500 mL contendo cerca de 300 mL de água. Após 24 horas de incubação em temperatura ambiente (25 ± 2 °C), o material foi vertido em uma peneira de 150 mesh, sobreposta a outra de 500 mesh. Com água de uma pisseta, o material retido na peneira de 500 mesh foi coletado em um béquer.

A fim de verificar a atuação do *R. palmarum* na dispersão do *B. cocophilus*, todos os besouros presentes em armadilhas nos lotes amostrados foram coletados e levados ao laboratório. Em seguida, estes foram macerados e depositados em funil de Baermann seguindo a metodologia de Gerber e Giblin-Davis (1990), sendo a suspensão analisada após 24 horas.

A investigação pela presença de *B. cocophilus* foi feita em microscópio estereoscópico e, a identificação, em microscópio de luz com base na morfologia do nematoide. Atribuiu-se nota 1 para a presença de *B. cocophilus* na amostra de raiz/estipe e, nota 0, para a ausência. A utilização de variável dicotômica é uma alternativa interessante de análise de dados na nematologia e o resultado final gera mapas de probabilidade de ocorrência (Santos et al., 2016).

A prevalência do anel-vermelho em cada núcleo de agricultura irrigada foi determinada pela razão entre número total de lotes com a presença da doença e o número total de lotes amostrados em cada um dos núcleos. Para a obtenção do mapa de probabilidade de ocorrência do anel-vermelho, foi utilizado o método de interpolação inverso da potência das distâncias (IDW) com a potência 2. O IDW se baseia na premissa de que as predições são uma combinação linear dos dados disponíveis (Xie et al., 2011). Este método de interpolação é determinístico, sendo utilizado quando, entre as amostras analisadas, não se observa estrutura espacial, além disso é largamente empregado em variáveis agrícolas (Li; Heap, 2011). Os mapas foram confeccionados com o auxílio do ArcGIS v.10.3 (Student Licenses).

4.3 Resultados

Pela análise dos resultados de prevalência, pode-se inferir que o anel-vermelho-do-coqueiro se encontra bem disperso nos núcleos do PINC em Petrolina-PE. Um total de 45,4% e 21,4% dos núcleos e lotes amostrados, respectivamente, apresentaram a doença, sendo que o número de lotes com a presença do anel-vermelho é maior no lado oeste do PINC (Figura 2).

A prevalência foi analisada em, pelo menos, 30% dos lotes de cada Núcleo do PINC que apresentam o cultivo do coqueiro. No N1, 50% das amostras foram positivas para a doença. Os Núcleos N3, N4, N5 e N6 apresentaram 35,0; 25,8; 37,5 e 44,4% das amostras positivas, respectivamente (Figura 3). Apesar da análise em 46 lotes, nos Núcleos N2, N7, N8, N9, N10 e N11, não foi identificada a doença (Figura 2).

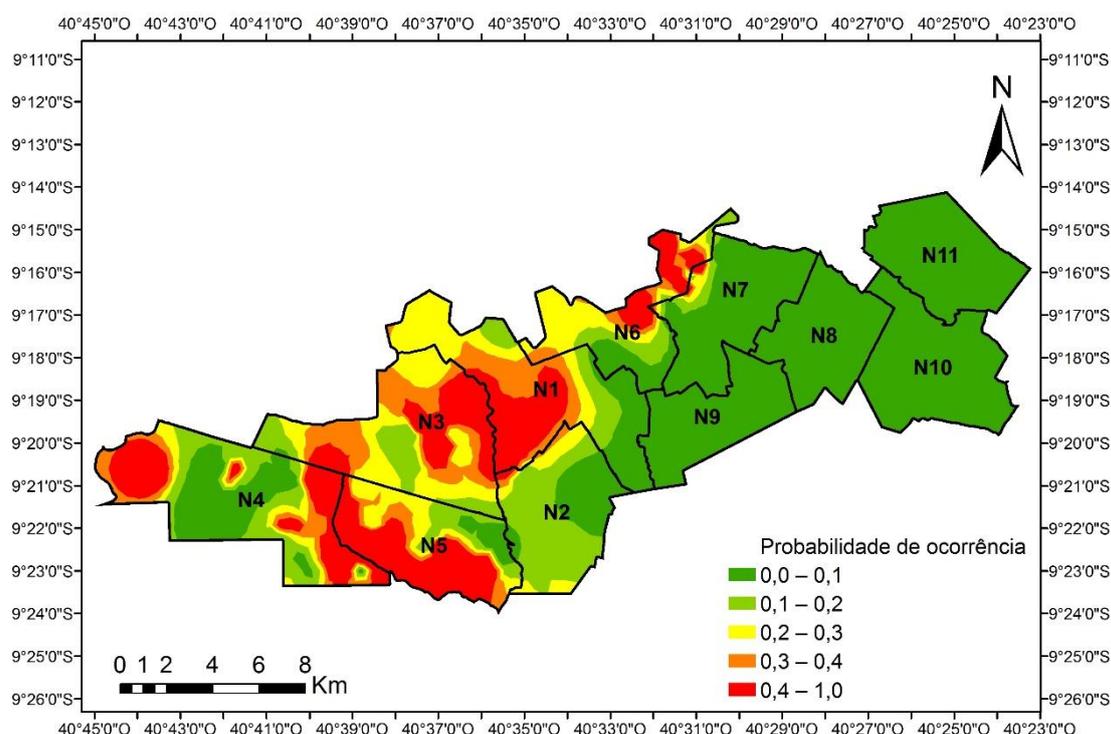


Figura 2. Probabilidade de ocorrência do anel-vermelho-do-coqueiro, causado por *Bursaphelenchus cocophilus*, no Perímetro Irrigado Nilo Coelho, em Petrolina-PE. (Datum: WGS 1984).

Como foram utilizados valores 0 (ausência) e 1 (presença) para a interpolação, quanto mais próximo de um, maior o risco de as áreas serem contaminadas pelo anel-vermelho-do-coqueiro. Nas áreas de alto risco (40 - 100), a doença foi mais intensa, com probabilidade de ocorrência maior que

40%. Por outro lado, esta probabilidade é classificada como baixa nas áreas que apresentaram uma probabilidade menor que 10%. Os lotes que se encontram em áreas cujo intervalo é 10-20, 20-30 e 30-40 correspondem a áreas com pouco risco, risco moderado e risco iminente, respectivamente, de apresentar a doença (Figura 3).

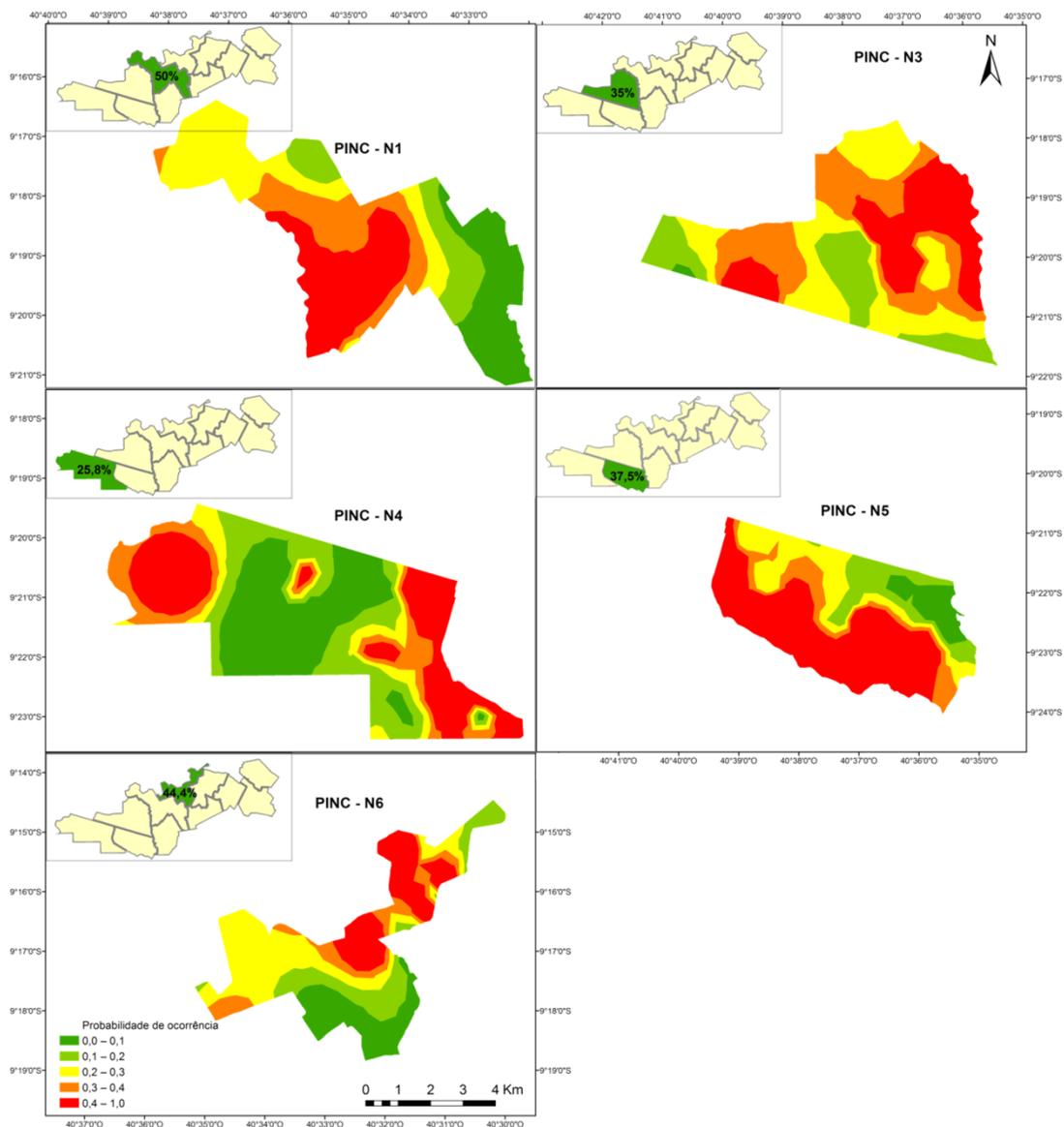


Figura 3. Prevalência e probabilidade de ocorrência do anel-vermelho-do-coqueiro, causado por *Bursaphelenchus cocophilus*, nos Núcleos N1, N3, N4, N5 e N6 do Perímetro Irrigado Nilo Coelho, Petrolina-PE. (Datum: WGS 1984).

Pelos mapas obtidos, é possível visualizar os locais distintos de probabilidade de ocorrência do anel-vermelho. Para o N1 e N5 do PINC, observa-se uma tendência de alto risco de ocorrência da doença nos lotes que se encontram na parte inferior a central do núcleo. Já no N3 e N4, as áreas com maior probabilidade de ocorrência estão situadas no lado direito, com pontos de alto risco de ocorrência mais distribuídos dentro do núcleo. Além disso, há poucos pontos com baixa probabilidade de ocorrência de nematoides no N3. No Núcleo N6, constatou-se probabilidade de alto risco (>40%) para ocorrência da doença em locais específicos, no entanto, próximo um foco do outro (Figura 3).

Em relação à captura e análise do vetor *R. palmarum* observou-se que a sua ocorrência foi extremamente baixa. Além disso, pela análise laboratorial dos poucos besouros capturados (menos que 20 insetos), constatou-se que nenhum deles estava contaminado com o nematoide.

4.4 Discussão

No presente trabalho foi observada que os Núcleos mais prevalentes e propensos a alto risco de probabilidade de ocorrência da doença estão situadas no lado oeste do PINC, isso pode estar relacionado ao fato do maior número de lotes com cultivo de coqueiro estar localizado nessa direção, o que pode facilitar a dispersão da doença pela proximidade das áreas com a mesma cultura implantada. Já para os Núcleos N2, N7, N8, N9, N10 e N11 que estão situados a leste do Perímetro estudado, não foi verificada a presença da doença. O fato de haver poucas áreas com cultivo de coqueiro nos Núcleos N1 e N2 que separam os Núcleos com maior produção daqueles com menor produção de coco, pode minimizar a dispersão do patógeno. Supostamente, a ação dos agentes de dispersão seria menor nesses Núcleos, o que limitaria a expansão da doença para os núcleos isentos. Essa tendência da doença nos revela que a proximidade dos núcleos amostrados que apresentaram coqueiros com anel-vermelho, aparentemente, tem determinado a direção de progresso espacial da doença no PINC.

A distribuição e a prevalência da doença observadas neste estudo estão associadas às inúmeras formas de dispersão do *B. cocophilus*. A mais comum, realizada pelo principal vetor, os adultos de *R. palmarum*, não foi eficiente no

presente estudo, uma vez que sua ocorrência foi inexistente ou extremamente baixa nos coqueiras do PINC. Os baixos índices de captura de besouros nas armadilhas devem, inclusive, ser vistos como argumento contrário à instalação das mesmas nas áreas de produção, uma vez que poderão funcionar como atrativo aos insetos. Assim, devido à alta frequência da doença e baixa frequência do principal vetor, acredita-se que a dispersão do anel-vermelho no Submédio do Vale do São Francisco ocorra por outro agente que não seja o besouro.

Uma possibilidade de dispersão do nematoide está associada ao uso compartilhado de maquinários para os tratos culturais e colheita. A partir das informações dos produtores, obtidas durante a amostragem, foi constatado que a maioria das propriedades é de pequeno porte (até 5 ha), sendo comum o uso compartilhado de maquinários e implementos agrícolas entre eles. Essa forma de dispersão já é provada para outras espécies de nematoides. Silva (1999), estudando a dispersão do nematoide-do-cisto-da-soja (*Heterodera glycines*), relatou que os principais agentes de dispersão foram máquinas e veículos dos próprios agricultores ao se deslocarem entre as áreas de produção. Singh et al. (2012), pesquisando a distribuição e a diversidade de nematoides-das-galhas (*Meloidogyne* spp.), também descreveram que a distribuição estava relacionada com o compartilhamento de implementos agrícolas entre os produtores.

Outra hipótese é que as condições de cultivo irrigado, com escoamento superficial de água excedente, possam contribuir para a dispersão do patógeno dentro do próprio lote agrícola. O excesso de água de irrigação aplicado pelos agricultores favorece a movimentação dos nematoides, seja nos poros ou junto às partículas de solo que se deslocam superficialmente. A movimentação dos nematoides ainda é beneficiada pela textura arenosa presente na maioria dos solos do PINC, os quais são mais drenados e facilitam a migração desse patógeno (Tihohod, 2000; Fleming et al., 2016).

Também foi observado nas áreas amostradas, que mais de 90% dos produtores comercializam sua produção por meio de atravessadores que, muitas vezes, são os responsáveis pela colheita do coco nas propriedades. Foi constatado que, para a maioria dos casos, não é realizado nenhum tipo de limpeza nas ferramentas a fim de evitar a dispersão da doença entre as áreas produtoras. Ainda que seja pequena a quantidade de nematoides encontrada

nos tecidos dos pecíolos, estes podem ficar aderidos a ferramenta de colheita ou de despalma do coqueiro, sendo transmitido de uma planta doente para outra sadia (Duarte et al., 2008). Portanto, é provável que a dispersão entre os lotes e núcleos de irrigação analisados seja realizada por ferramentas contaminadas utilizadas nessas operações.

Pelos resultados, observa-se um avanço do anel-vermelho-do-coqueiro nos núcleos do PINC em Petrolina-PE. Dessa forma, o estudo da prevalência e da probabilidade de ocorrência da doença nos permite localizar as áreas afetadas, e estimas aquelas com maiores possibilidades de serem contaminadas pelo anel-vermelho, dados estes que auxiliam na conscientização de produtores, técnicos e extensionistas para implementar, precocemente, estratégias apropriadas de manejo, a fim de desacelerar a dispersão dessa doença nos coqueirais de Petrolina-PE.

4.5 Conclusão

O anel-vermelho-do-coqueiro se encontra bem destruído no PINC, sendo que a dispersão da doença não é ocasionada pelo seu principal vetor, a coleobroca *R. palmarum*. Além disso, o estudo de probabilidade de ocorrência possibilitou diagnosticar as áreas mais propensas à ocorrência da doença.

4.6 Referências

- Aragão WM, Ribeiro FE, Melo MFV (2009) Cultivares de coqueiro para a produção de coco seco: coqueiro gigante vs híbridos. In: Cintra FLD, Fontes HR, Passos EEM, Ferreira JMS (Eds.) Fundamentos tecnológicos para a revitalização das áreas cultivadas com coqueiro gigante no nordeste do Brasil. Aracaju, SE, Brasil. Embrapa Tabuleiros Costeiros. pp.38-60.
- Castro JMC, Santana TAS, Muniz MFS, Lima CRF (2009) Ocorrência do nematoide do anel vermelho do coqueiro em Petrolina – PE. Embrapa Semiárido.
- Chinchila CM (1991) The red ring little leaf syndrome in oil palm and coconut palm. ASD Oil Palm Papers 1:1-18.
- Dias-Arieira CR, Molina RO, Costa AT (2008) Nematoides causadores de doenças em fruteiras. Agro@mbiente On-line 2: 46-56.
- DINC. Culturas por área. Disponível em: <http://www.dinc.org.br>. Acesso em 01 junho, 2017.
- Duarte AG, Lima IS, Júnior JVA, Duarte AG, Albuquerque ALS, Cruz MM (2008) Disposição do nematóide *Bursaphelenchus cocophilus* (Cobb), em

coqueiros portadores da doença anel-vermelho. Revista Brasileira de Fruticultura 30:622-627.

Ferraz LCCB, Brown DJF (2016) Nematologia de plantas: fundamentos e importância. Manaus, AM, Brasil. Normas Editora.

Fleming TR, McGowan NE, Maule AG (2016) Prevalence and diversity of plant parasitic nematodes in Northern Ireland grassland and cereals, and the influence of soils and rainfall. Plant Pathology 1-12.

Gerber, K, Giblin-Davis RM (1990). Association of the red ring nematode and other nematode species with the palm weevil, *Rhynchophorus palmarum*. Journal of Nematology 22:143-149.

Giblin-Davis RM (2001) Borers of palms. In: Howard FW, Moore D, Giblin-Davis RM, Abad RG (Eds.) Insects on palms. Wallingford, UK. CAB International. pp. 267–305.

Giblin-Davis RM, Kanzabi N, Davies KA (2013) Nematodes that ride insects: unforeseen consequences of arriving species. Florida Entomologist 96:770-780.

Griffith R, Giblin-Davis RM, Koshy PK, Sosamma VK (2005) Nematode parasites of coconut and other palms. In: Luc M, Sikora RA, Bridge J (Eds.) Plant parasitic nematodes in subtropical and tropical agriculture. 2th Ed. Wallingford, UK. CAB International. pp.493-527.

IBGE. Principais estados produtores de frutas do Brasil em 2017. Disponível em:

<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/prevsaf/default.asp?t=2&z=t&o=26&u1=1&u3=1&u4=1&u2=27>. Acesso em 10 julho, 2016.

Li J, Heap AD (2011) A review of comparative studies of spatial interpolation methods in environmental sciences: Performance and impact factors. Ecological Informatics 6:228–241.

Lopes UP, Duarte HSS, Capucho AS, Zambolim L (2014) Quantificação de doenças de plantas. In: Zambolim L, Jesus Júnior WC, Rodrigues FA (Eds.) O Essencial da Fitopatologia: Epidemiologia de doenças de plantas. Viçosa, MG, Brasil. UFV. pp. 51-77.

Lordello LGE, Zamith APL (1954) Constatação da moléstia do anel vermelho do coqueiro no Estado do Rio de Janeiro, redescrição do agente causador. Anais da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz 11:125-132.

Oehlschlager AC, Mcdonald RS, Chinchilla CM, Patschke SN (1995) Influence of a pheromone-based trapping system on the distribution of *Rhynchophorus palmarum* (Coleoptera: Curculionidae) in oil palm. Environmental Entomology 24:1005–1012.

Santos MAD, Castro LHS, Guimarães EC (2016) Diagnose de fitonematoides no campo, técnicas de amostragem e geoestatística. In: Oliveira CMG, Santos MA, Castro LHS (Eds.) Diagnose de Fitonematoides. Campinas, SP, Brasil. Millennium. pp. 15-65.

Silva AP, Parra PP, Campos VP, Costa SS, Vicente CSL, Ferreira LG, Souza R M, Mota M (2016) Genetic diversity of *Bursaphelenchus cocophilus* in South America. Nematology 1-10.

Silva JFV (1999) O nematoide de cisto da soja: a experiência brasileira. Jaboticabal, SP, Brasil. Artsigner Editores.

Singh SK, Khurma UR, Lockhart PJ (2012) Distribution and diversity of root-knot nematodes in agricultural areas of Fiji. *Nematropica* 42:17-25.

Tihohod, D (2000) *Nematologia Agrícola Aplicada*. 2th Ed. Jaboticabal, SP, Brasil. FAPESP.

Warwick DRN, Bezerra APT (1992) Possible root transmission of the red ring nematode (*Rhadinaphelenchus cocophilus*) to coconut palms. *Plant Disease* 76:809-811.

Xie Y, Chen T, Lei M, Yang J, Guo Q, Song B, Zhou X (2011) Spatial distribution of soil heavy metal pollution estimated by different interpolation methods: Accuracy and uncertainty analysis. *Chemosphere* 82:468–476.

Zucoloto M, Lima JSS, Coelho RI (2009) Uso da geoestatística na probabilidade de ocorrência do mal-do-panamá em bananeira prata anã. *Revista Facultad Nacional de Agronomía* 62:4793-4796.

5 CAPÍTULO 2 – DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DO ANEL-VERMELHO-DO-COQUEIRO NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO²

Resumo

Considerando a importância da cocoicultura para algumas regiões do Brasil e os prejuízos causados pelo fitonematóides *Bursaphelenchus cocophilus*, este trabalho teve como objetivo verificar a distribuição espacial do anel-vermelho-do-coqueiro, em uma região semiárida, na ausência do seu principal vetor, o coleópetro *Rhynchophorus palmarum*, utilizando-se de técnicas geoestatísticas. Na área experimental, foi estabelecida uma malha amostral irregular com 95 pontos (plantas). Em cada planta, coletou-se amostras de raiz e estipe. A amostragem foi realizada em duas épocas no intervalo de três meses. Os dados de nematóides foram transformados em uma variável dicotômica de nota 1 para a presença de *B. cocophilus* na amostra e nota 0 para a ausência. A análise geoestatística foi utilizada para verificar a existência de dependência espacial entre as amostras e estimar o seu índice. Após o ajuste do semivariograma foi usada a krigagem indicatriz para as confecções dos mapas. O modelo de semivariograma que melhor se ajustou foi o gaussiano, com forte índice de dependência espacial (IDE) para as duas épocas de amostragem. O valor de alcance foi maior para segunda amostragem. A expansão e o forte grau de dependência espacial estão relacionados à proximidade das amostras infectadas por *B. cocophilus*, fato este que indica a dispersão da doença por meio do contato entre raízes de plantas contaminadas e sadias.

Palavras chave: *Bursaphelenchus cocophilus*; Epidemiologia; Geoestatística

5.1 Introdução

O anel-vermelho-do-coqueiro, nematose causada por *Bursaphelenchus cocophilus* (Cobb, 1919) Baujard, 1989, é reconhecido como um dos principais problemas fitossanitários da cultura, sendo comum grandes áreas terem sido dizimadas pela doença no Brasil e no mundo. A doença é sistêmica e uma planta infectada é levada à morte em cerca de dois a quatro meses (Griffith et al., 2005)

A dispersão do patógeno está associada ao seu principal vetor, o besouro *Rhynchophorus palmarum* L.. No entanto, a textura do solo, a declividade do terreno, os implementos, as ferramentas usadas no manejo cultural e na colheita, além do contato entre raízes de plantas infectadas e sadias, e o teor de água no solo também contribuem para a dispersão da doença (Chinchilla, 1991; Warwick e Bezerra, 1992; Griffith et al., 2005; Duarte et al., 2008). Assim, é de suma importância compreender quais agentes estão atuando na dispersão

² Artigo à ser submetido na Revista **Crop Protection**

do patógeno, a fim de prever os efeitos das práticas culturais adotadas e auxiliar na tomada de decisão para o manejo do patossistema em estudo. A doença é sistêmica e uma planta infectada é levada a morte entre dois a quatro meses (Griffith et al., 2005; Bergamin Filho et al., 2014).

O manejo dessa doença é complexo já que é difícil se realizar a diagnose na fase inicial da infecção. É comum as plantas estarem completamente comprometidas quando se percebe a presença da doença no campo (Giblin-Davis et al., 2013; Silva et al., 2016). A prevenção é o princípio mais importante e melhor linha de defesa para o controle da doença, toda via, caso chegue à área é necessário o uso de estratégias que impeça sua dispersão (Griffith et al., 2005; Ferraz et al., 2010).

A distribuição espacial das doenças podem ser estudadas com ferramentas da geoestatística, ajudando, portanto, a descrever o comportamento dos fitopatógenos em uma área. Com isso, torna-se possível mapear a ocorrência do nematoide, inferir sobre a forma de dispersão e determinar a localização de áreas contaminadas ou em risco de contaminação pela doença. Além disso, essa técnica fornece uma ideia da longevidade de um plantio submetido a determinadas estratégias de manejo (Santos et al., 2016). A diagnose precoce do anel-vermelho é muito difícil de ser bem sucedida, com isso o mapeamento permite visualizar a distribuição e a probabilidade de ocorrência da doença na área de interesse, o que constitui aspecto de inquestionável importância, como ferramenta de apoio às decisões para o manejo de populações de fitonematoides (Pinheiro et al., 2008).

Silva et al. (2016) mapearam a distribuição espacial do anel-vermelho-do-coqueiro na presença de *R. palmarum* e observaram focos de distribuição da doença com moderada dependência espacial. A geoestatística também já foi utilizadas para estudos de vários gêneros e espécies de fitonematoides, tais como em *Meloidogyne*, *Pratylenchus* e *Heterodera glycines* (Pinheiro et al., 2008; Dinardo-Miranda e Fracasso, 2009; Howland et al., 2014; Brida et al., 2016).

Um dos principais métodos de interpolação utilizados na descrição da distribuição espacial de fitonematoides é a krigagem. Este interpolador é amplamente aplicado nos processos de mapeamento, pois usa a dependência espacial existente entre as amostras vizinhas para estimar valores em outros locais não amostrados dentro da área em estudo sem tendência e com

variância mínima. Esta ferramenta permite o conhecimento da distribuição espacial da doença, proporcionando o manejo regionalizado da mesma, evitando, assim, sua dispersão na lavoura e entre lavouras (Motomiya et al., 2006; Brida et al., 2016).

Assim, objetivou-se descrever a distribuição espacial do anel-vermelho-do-coqueiro na ausência do seu principal vetor, o *R. palmarum*, utilizando-se de técnicas geoestatísticas.

5.2 Material e Métodos

5.2.1 Localização e amostragem

O experimento foi conduzido na Fazenda Kero Coco, Projeto de Irrigação Nilo Coelho, Núcleo 4, no Município de Petrolina, PE ($9^{\circ} 20' 38''$ S, $40^{\circ} 44' 23''$ W, altitude 380 m). A área total da fazenda é de 300 ha, sendo a área experimental constituída de 33 ha (Fig. 1) e está sob cultivo de coqueiro há oito anos. O solo possui textura arenosa e o sistema de irrigação adotado é o de microaspersão com vazão de 62 L/h/planta.

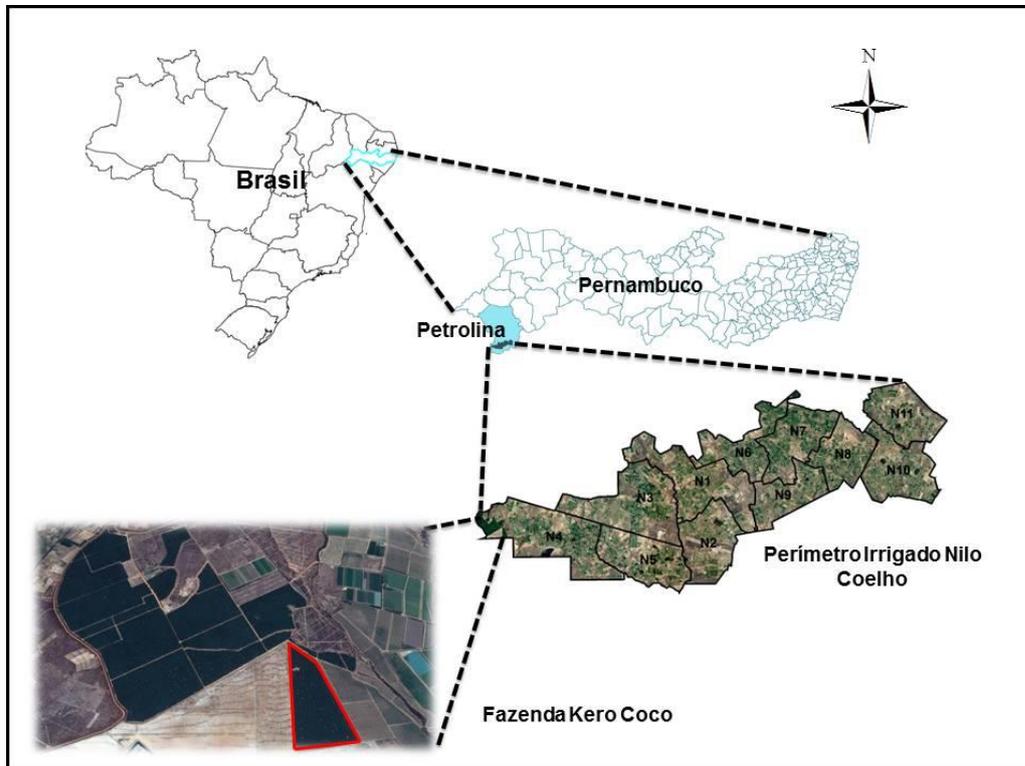


Fig. 1. Localização da área do experimento – Fazenda Kero Coco. (Fonte: Google Earth/ Marcação: a autora, 2017).

Uma subárea de aproximadamente 1,63 ha foi dividida em uma malha irregular ao redor de uma reboleira com a presença de *B. cocophilus* (Fig. 2A). O tamanho (limite) da subárea foi definido quando na linha de cultivo amostrada não se observou, em laboratório, a presença do fitonematoide.

A amostragem foi realizada em duas épocas (maio e agosto de 2017), a fim de analisar a distribuição e a dispersão da doença em estudo. Na primeira época a amostragem foi direcionada, escolhendo-se plantas sintomáticas e assintomáticas, totalizando 95 plantas coletadas (Fig. 2A). Na segunda época, procedeu-se a amostragem, apenas, nas plantas caracterizadas como sadias na primeira amostragem (Fig. 2B). Todas as plantas amostradas estavam situadas nas linhas de plantio ao redor da reboleira. Estas foram identificadas dentro da malha amostral (Fig. 3A).

Todas as amostras foram georreferenciadas com um receptor GPS-RTK (Global Position System - Real Time Kinematic) de navegação com precisão média de 3 mm.

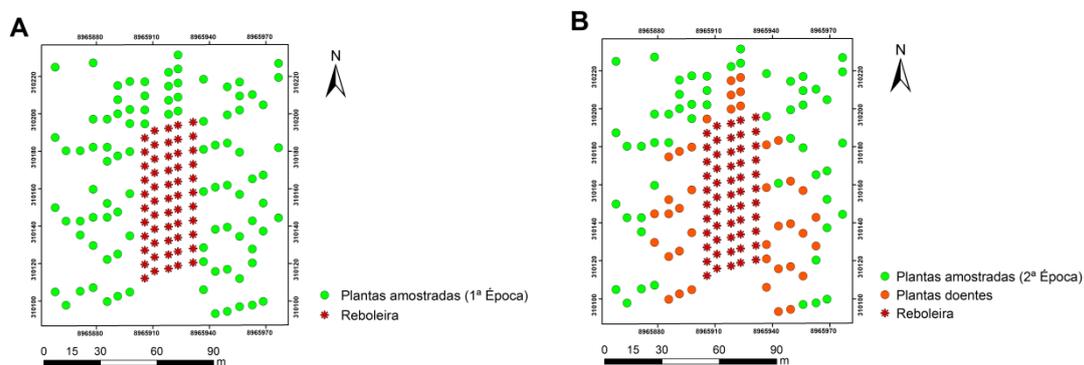


Fig. 2. Malha irregular da área em estudo com 95 plantas amostradas. A: primeira época de amostragem; B: segunda época de amostragem (Datum: WGS 1984).

Cada amostra consistiu de 100 g de raízes coletadas junto à base do estipe a, no máximo, 15 cm de profundidade e 100 g de fragmentos internos do estipe, coletados a partir de 2 cm da superfície (Fig. 3B). Após a coleta, as amostras foram acondicionadas em sacos plásticos, identificadas, mantidas em isopor e encaminhadas ao laboratório de Fitopatologia da Universidade Federal

do Vale do São Francisco (UNIVASF), até o processamento, que ocorreu em menos de 48 horas.

Para a retirada de resíduos de solo, as amostras de raízes/estipe foram lavadas em água corrente e, posteriormente, cortadas em fragmentos de dois centímetros de comprimento. Estas foram pesadas e padronizadas em 100g, colocadas em frascos plásticos de 500 mL com 300 mL de água. Após 24 h, em temperatura ambiente (25 ± 2 °C), o material foi vertido em uma peneira de 150 mesh, sobreposta a outra de 500 mesh. Com uma pisseta, o material retido na peneira de 500 mesh foi coletado e concentrado em um béquer.

Para confirmar sobre a não atuação do vetor *R. palmarum* na dispersão do *B. cocophilus*, os poucos insetos coletados (menos que 30 insetos), durante a condução do experimento, foram levados ao laboratório, macerados e depositados em funil de Baermann, seguindo a metodologia de Gerber e Giblin-Davis (1990), sendo a suspensão analisada após 24 horas.

A investigação pela presença de *B. cocophilus* foi feita em microscópio estereoscópico e, a identificação, em microscópio de luz com base na morfologia do nematoide.



Fig. 3. A: Identificação das plantas com sintomas de anel-vermelho para coletada de amostras; B: Coleta de raiz e estipe em coqueiro para detecção e identificação de *Bursaphelenchus cocophilus*.

5.2.2 Análise geoestatística

Os dados de nematoides, em cada amostra, foram transformados em uma variável dicotômica, em que se atribuiu nota 1 para a presença de *B. cocophilus* na amostra de raiz/estipe e, nota 0, para a ausência. Esta alternativa de análise geoestatística é interessante na nematologia, uma vez que o resultado final é apresentado em termos de probabilidade que determinado valor seja exercido (Santos et al., 2016).

A análise geoestatística foi realizada para os dois períodos de amostragem, por meio de semivariograma. O semivariograma é uma ferramenta básica que permite representar quantitativamente a variação de um fenômeno regionalizado no espaço e foi estimado pela seguinte equação (Eq. 1):

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

No qual, $N(h)$ é o número de pares experimentais de dados separados por uma distância h ;

$Z(x_i)$ é o valor determinado em cada ponto amostrado;

$Z(x_i + h)$ é o valor medido num ponto mais uma distância h .

O seu padrão representa o que, intuitivamente, se espera de dados de campo, isto é, que as diferenças $[Z(x_i) - Z(x_i + h)]$ decresçam à medida que h , a distância que os separa também decresce. Espera-se que observações mais próximas geograficamente tenham um comportamento mais semelhante entre si do que aquelas em distâncias maiores. Deste modo, é esperado que $\gamma(h)$ aumente com a distância h (Oliver e Webster, 2014).

Os parâmetros do semivariograma são: alcance (a), que é a distância dentro da qual as amostras apresentam-se correlacionadas espacialmente. O conhecimento do valor desse parâmetro permite definir o raio de amostragem. O patamar ($C_0 + C_1$) é o valor da semivariância que correspondente ao seu alcance. Deste ponto em diante, considera-se que não existe mais dependência espacial entre as amostras, porque a variância da diferença entre pares de amostras ($\text{Var}[Z(x) - Z(x+h)]$) torna-se invariante com a distância; efeito pepita (C_0): idealmente, $\gamma(0)=0$, entretanto, na prática, à medida que h

tende para 0 (zero), $\gamma(h)$ se aproxima de um valor positivo que revela a descontinuidade do semivariograma na origem. Isso pode estar relacionado a variações a distâncias menores do que a menor distância entre as amostras e, ou devida a erros de medição (Oliver e Webster, 2014).

Após a confecção do semivariograma experimental foi realizado o ajuste dos modelos que representam o comportamento espacial da variável em estudo. Foram testados os modelos esférico, exponencial e gaussiano para cada semivariograma. A validação cruzada foi utilizada para comparar os modelos dos semivariogramas e indicar qual apresentou os melhores resultados (Sun et al., 2009). Este método envolve a remoção consecutiva de uma observação, interpolando o valor com as observações remanescentes e comparando o valor predito com o medido (Xie et al., 2011).

Também foi analisada a presença de anisotropia, que ocorre quando os semivariogramas mostram diferentes comportamentos para diferentes direções da linha de amostragem (Landim, 2006). Para isso, foram calculados semivariogramas para quatro direções (0, 45, 90 e 135°), com intervalos de 45°.

Com base na classificação de Seidel e Oliveira (2016), analisou-se o índice de dependência espacial (IDE). Esses autores propõem o cálculo para a classificação do IDE baseado no modelo de semivariograma para quais os dados foram ajustados, e não apenas na relação efeito pepita e patamar:

$$IDE \text{ esférico}(\%) = 0,375 \times \left(\frac{C_1}{C_0 + C_1} \right) \times \left(\frac{a}{0,5MD} \right) \times 100 \quad (2)$$

$$IDE \text{ exponencial}(\%) = 0,317 \times \left(\frac{C_1}{C_0 + C_1} \right) \times \left(\frac{a}{0,5MD} \right) \times 100 \quad (3)$$

$$IDE \text{ gaussiano}(\%) = 0,504 \times \left(\frac{C_1}{C_0 + C_1} \right) \times \left(\frac{a}{0,5MD} \right) \times 100 \quad (4)$$

Em que C_0 é o valor do efeito pepita, C_1 é o valor da contribuição, a é o valor de alcance e $0,5MD$ é a metade da distância máxima (MD) entre os pontos amostrados.

Uma vez obtido o IDE foi estimada o grau de dependência espacial o qual pode ser fraco, moderado ou forte (Seidel e Oliveira, 2016).

A interpolação dos dados foi realizada por meio de krigagem indicatriz, gerando mapas com indicadores de probabilidade de ocorrência de nematoides. Além disso, esse interpolador é útil em dados assimétricos, típico em nematologia, e não sofre efeito de valores discrepantes (outliers) (Motomiya

et al., 2006). Utilizou-se o programa ArcGis v. 10.3 (Student Licenses) para a análise geoestatística e a confecção dos mapas.

5.3 Resultados

Os semivariogramas das duas épocas de amostragem com os respectivos parâmetros da variável indicadora são apresentados na fig. 4. O modelo de semivariograma que melhor se ajustou foi o gaussiano, com forte índice de dependência espacial (IDE) para as duas épocas. Já o padrão espacial foi classificado como agregado, segundo o índice de Moran, o que é característico do desenvolvimento da população de fitonematoides.

Quanto ao parâmetro alcance (a), o maior valor foi observado na segunda época de amostragem (86,29 m) quando comparado com o da primeira (78,58 m). Em nenhuma das épocas de amostragem foi verificada anisotropia no conjunto de dados, evidenciando um semivariograma isotrópico.

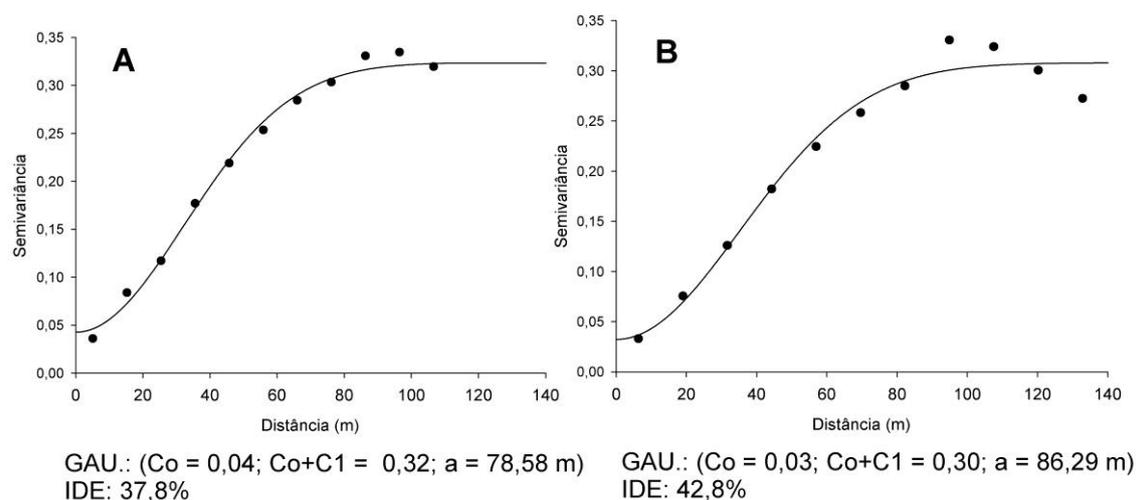


Fig. 4. Semivariogramas ajustados para presença/ausência de *Bursaphelenchus cocophilus*. (A): 1ª Época; (B): 2ª Época; GAU.: Gaussiano; Co = Efeito pepita; Co+C1 = Patamar; a = Alcance. IDE= Índice de dependência espacial.

Os mapas temáticos gerados pela krigagem indicatriz representam a probabilidade de ocorrência e a expansão do anel-vermelho-do-coqueiro na área em estudo conforme apresentado na fig. 5. As áreas de alto risco (probabilidade $\geq 80\%$) são observadas nas proximidades da reboleira.

Na primeira época, 42% das plantas amostradas apresentaram o anel-vermelho-do-coqueiro, valor que passou para 56% na segunda época. Outro dado importante é que 50% das amostras que se encontravam na área de risco moderado (probabilidade 40-60%) e 42,8% das amostras localizadas na área de pouco risco (probabilidade 20-40%) na primeira época de amostragem apresentaram a doença do anel-vermelho na segunda época. Em relação à captura e análise do vetor *R. palmarum*, constatou-se que nenhum deles estava contaminado com o nematoide.

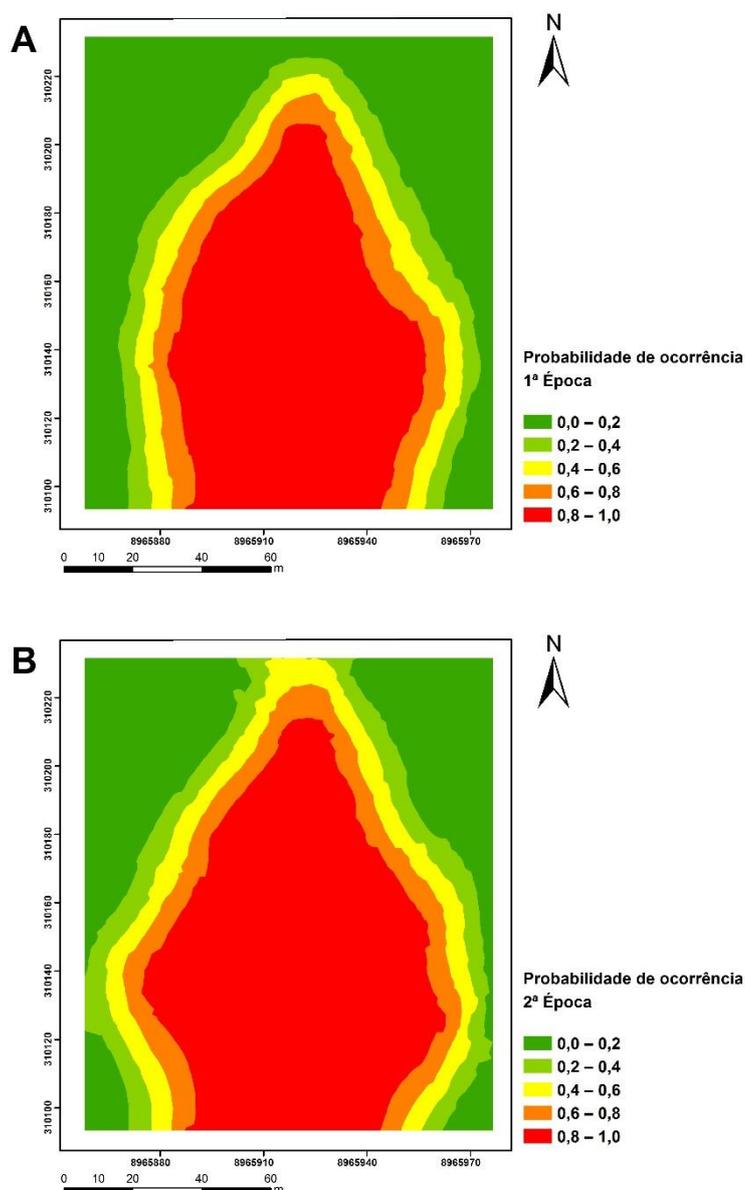


Fig. 5. Mapas de probabilidade de ocorrência do anel-vermelho-do-coqueiro. A: primeira época de amostragem; B: segunda época de amostragem. (Datum: WGS 1984).

5.4 Discussão

A análise geoestatística foi utilizada para descrever a distribuição espacial do *B. cocophilus* na ausência do inseto-vetor. Para elucidar essa distribuição alguns parâmetros foram analisados entre eles o IDE.

O IDE classificado como forte, indica que as amostras são altamente espaço-dependentes, desta forma a premissa da geoestatística que prega que amostras mais próximas são mais semelhantes que amostras mais distantes é plenamente atendida. Desta forma à proximidade entre as amostras com diagnose positiva para o anel vermelho é esperado.

Todavia, em trabalhos em que há grande importância do vetor *R. palmarum* para o progresso da doença, o IDE pode ser alterada devido a características de dispersão ativa do próprio inseto. Silva et al. (2016) que mapearam a distribuição espacial do anel-vermelho na presença do vetor, classificaram como moderado o IDE. A distribuição espacial somente do *R. palmarum*, também já foi estudada em dendezeiro (Pinho et al., 2016). Nesse estudo, os autores observaram que o comportamento espacial do inseto foi agregado, entretanto, com moderado IDE. Dessa forma na presença do vetor há um aumento da dispersão do patógeno, e assim, o comportamento do inseto, aumenta a variabilidade e reduz a dependência espacial da doença.

IDE moderado e fraco também foram atribuídos ao nematoide dos cistos da soja (*Heterodera glycines*) quando sua dispersão foi associada ao uso de maquinários e de veículos dos próprios agricultores, ao se deslocarem de uma área para outra dispersando a doença (Gavassoni et al., 2001; Pinheiro et al., 2008).

Na presente pesquisa o forte IDE é explicado pelo frequente contato do sistema radicular das plantas infectadas com as sadias e não pela ação do vetor ou de maquinários agrícolas. Warwick e Bezerra (1992) inocularam *B. cocophilus* em cinco coqueiros com idade de três anos e observaram que, após 12 semanas, plantas sadias que estavam próximas às inoculadas apresentaram a doença. Isto confirma que, apesar de não ser o meio mais comum, é possível a transmissão do nematoide entre coqueiros pelas raízes.

Além do IDE, outro parâmetro analisado foi o alcance (a). O valor de “a” indica o raio de dependência espacial das plantas com anel-vermelho. Assim, quanto maior o alcance, maior o raio da doença, conseqüentemente, dentro

desses raios todos os pontos amostrados são dependentes. O nível populacional e a distribuição dos nematoides no solo influenciam, proporcionalmente, essa dependência entre as amostras, tanto que quanto maior a distribuição, maior também será o raio de alcance de dependência (Brida et al., 2016).

O fato de no presente estudo, o valor de alcance ter sido maior na segunda época de amostragem quando comparado com o da primeira, pode estar relacionado à não eliminação das plantas doentes da área após a diagnose positiva na primeira época de amostragem, aumentando, assim, a fonte de inóculo para a infecção de novas plantas. A quantidade de doença no campo é influenciada pelo balanço entre infecção e remoção. Com isso, se a infecção for mais intensa que a remoção, a intensidade da doença tende a crescer (Bergamin Filho et al., 2014). No mesmo trabalho realizado por Silva et al. (2016), o alcance observado foi de apenas 20 m. Dinardo-Miranda e Fracasso (2009) determinaram a distribuição espacial de *Meloidogyne javanica* em cana-de-açúcar e observaram que o modelo esférico foi o que melhor se ajustou, com uma variação no alcance de 18 a 35 m. Em soja, o nematoide dos cistos (*Heterodera glycines*) apresentou uma moderada dependência espacial, cujo modelo ajustado foi o esférico com alcance de 63 m. Esses menores valores de alcance podem indicar maior descontinuidade na distribuição dos nematoides (Pinheiro et al., 2008).

Outro dado importante para justificar a dispersão pela raiz é a ausência de anisotropia, revelando que o comportamento da variável é uniforme em todas as direções. Gavassoni et al. (2001) utilizando a geoestatística para avaliar os efeitos do preparo do solo sobre os padrões espaciais de *Heterodera glycines* em campos de soja, e Farias et al., (2002) estudo de distribuição espacial com *Rothylemchus reniformis* em algodoeiro, observaram a presença de semivariograma anisotrópico, e atribuíram isso ao uso de maquinário no preparo de solo, uma vez que a expansão do nematoide seguia a direção ao longo da linha de plantio. No presente estudo não foi observada uma direção específica que influencie a expansão da doença, não havendo, assim, indicativo de dispersão direcional, mas ela foi circular, obedecendo a forma da reboleira.

O ajuste do modelo do semivariograma reflete bem o comportamento da variável nesse estudo. No modelo gaussiano a curva é parabólica junto à

origem e a tangente nesse ponto é horizontal, o que indica pequena variabilidade para curtas distâncias. Este modelo é usado no caso de fenômenos extremamente contínuos (Mazzella e Mazzella, 2013). Esse fenômeno é evidenciado nos mapas de probabilidade de ocorrência (Fig. 5), onde as áreas de alto risco (probabilidade $\geq 80\%$) são observadas próximas à reboleira, indicando continuidade da doença do foco inicial para as plantas vizinhas. Dados esses contrários a Silva et al. (2016), que obteve modelo exponencial do semivariograma e observou focos de várias reboleiras, dentro da área de estudo, quando o agente de dispersão foi o besouro, observando assim uma maior variabilidade na dispersão da doença.

Para melhor visualizar a expansão da doença e dos danos potenciais em campo, foi realizado um cálculo, com base no manejo adotado no local em estudo, e do tamanho da área de alto risco (probabilidade $\geq 80\%$) na primeira e segunda época de amostragem. Pode-se inferir que no intervalo de três meses entre as épocas de amostragens, a área de alto risco ($\geq 80\%$) passou de 5.825 m² para 6.778 m², o que corresponde a um aumento de 16% (953 m²) na área de expansão da doença. Se for considerado o intervalo de um ano, mantendo-se constante a dispersão da doença pelas raízes, esta expansão na área ocupada por plantas doentes seria de 3.812 m² ou 78 plantas/ha/ano, aproximadamente, teriam probabilidade maior ou igual a 80% de serem acometidas pela doença e de morrerem após dois a quatro meses. Em termos de produção de água de coco, o dano, nesta área em análise, seria de 11.740 L/ha/ano. Esses cálculos foram realizados considerando apenas uma reboleira. Contudo, plantios em áreas com declive acentuado, com água de irrigação aplicada em excesso, com uso de maquinários e de ferramentas sem a devida limpeza podem sofrer danos anuais ainda maiores.

O fato de no presente estudo o agente de dispersão ter sido revelado, implica em achados de suma importância para o manejo neste patossistema. Além disso, o uso das ferramentas geoestatísticas na distribuição espacial e no mapeamento das áreas com maior probabilidade de ocorrência do anel-vermelho-do-coqueiro, possibilitou realizar uma projeção de abrangência do *B. cocophilus* em locais que não foram amostrados, auxiliando na antecipação de medidas de manejo, como a identificação e erradicação precoce das plantas infectadas, minimizando os danos e consequentes perdas ocasionadas pela doença.

5.5 Conclusão

Na ausência do *R. palmarum*, a distribuição espacial do anel-vermelho-do-coqueiro tem um comportamento contínuo, do foco inicial para as plantas vizinhas. Aliada a isso, o forte grau de dependência espacial, a ausência de anisotropia e a escolha do modelo gaussiano do semivariograma, confirmam a pouca importância do vetor e a importância da dispersão da doença pelo sistema radicular.

5.6 Referências

- Bergamim Filho, A., Amorim, L., Hau, B. 2014. Análise temporal e espacial de epidemias, in: Zambolim, L., Jesus Júnior, W. C., Rodrigues, F. A. (Eds.), O essencial da fitopatologia: epidemiologia de doenças de plantas. UFV, Viçosa, pp. 100-165.
- Brida, A.L., Gabia, A.A., Pezzoni Filho, J.C., Moraes, D.A.C., Wilcken, S.R.S., 2016. Variabilidade espacial de *Meloidogyne javanica* em soja. Summa Phytopathologica. 42, 175-179. <http://dx.doi.org/10.1590/0100-5405/2140>
- Chinchilla, C.M., 1991. The red ring little leaf syndrome in oil palm and coconut palm. ASD Oil Palm Papers. 1-18. <http://www.asd-cr.com/ASD-Pub/Bol01/b01c1.htm>.
- Dinardo-Miranda, L.L., Fracasso, J.V., 2009. Spatial distribution of plant-parasitic nematodes in sugarcane fields. Scientia Agricola. 66, 188-194. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-90162009000200007>
- Duarte, A.G., Lima, I.S., Júnior, J.V.A., Duarte, A.G., Albuquerque, A.L.S., Cruz, M.M., 2008. Disposição do nematóide *Bursaphelenchus cocophilus* (Cobb), em coqueiros portadores da doença anel-vermelho. Revista Brasileira de Fruticultura. 30, 622-627. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-29452008000300010>
- Farias, P.R.S., Sánchez-Villa, X., Barbosa, J.C., Vieira, S.R., Ferraz, L.C.C.B., Solís-Delfin, J., 2002. Using geostatistical analysis to evaluate the presence of *Rotylenchulus reniformis* in cotton crops in Brazil: Economic Implications. Journal of Nematology. 34, 232-238.
- Gavassoni, W.L., Tylka, G.L., Munkvold, G.P., 2001. Relationships between tillage and spatial patterns of *Heterodera glycines*. Phytopathology. 91, 534-545. <https://doi.org/10.1094/PHYTO.2001.91.6.534>
- Gerber, K., Giblin-Davis, R.M., 1990. Association of the red ring nematode and other nematode species with the palm weevil, *Rhynchophorus palmarum*. Journal of Nematology. 22, 143-149.
- Giblin-Davis, R.M., Kanzabi, N., Davies, K.A., 2013. Nematodes that ride insects: unforeseen consequences of arriving species. Florida Entomologist Jupiter. 96, 770-780.
- Griffith, R., Giblin-Davis, R.M., Koshy, P.K., Sosamma, V.K., 2005. Nematode parasites of coconut and other palms, in: Luc, M., Sikora, R.A., Bridge, J. (Eds.), Plant parasitic nematodes in subtropical and tropical agriculture. 2 ed. CAB International, Wallingford, pp. 493-527.

- Howland, A.S., Schreiner, R.P., Zasada, I.A., 2014. Spatial distribution of lant-parasitic nematodes in Semi-Arid *Vitis vinifera* vineyards in Washington. *Journal of Nematology*. 46, 321–330. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4284083/>
- Landim, P.M.B., 2006. Sobre Geoestatística e mapas. *Terra e Didática*. 2, 19-33. <http://www.ige.unicamp.br/terraedidatica>
- Mazzella, A., Mazzella, A., 2013. The importance of the model choice for experimental semivariogram modeling and its consequence in evaluation process. *Journal of Engineering*. 1-10. <http://dx.doi.org/10.1155/2013/960105>
- Motomiya, A.V.A., Corá, J.E., Pereira, G.T., 2006. Uso da krigagem indicatriz na avaliação de indicadores de fertilidade do solo. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*. 30, 485-496. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832006000300010>
- Oliver, M.A., Webster, R.A., 2014. A tutorial guide to geostatistics: Computing and modelling variograms and kriging. *Catena*. 113, 56-69. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2013.09.006>
- Pinheiro, J.B., Pozza, E.A., Pozza, A.A.A., Moreira, A.S., Alves, M.C., Campos, V.P., 2008. Influência de nutrição mineral na distribuição espacial do nematoide de cisto da soja. *Nematologia Brasileira*. 32, 270-278. <http://docentes.esalq.usp.br/sbn/nbonline/ol%20324/270-278%20co.pdf>
- Pinho, R.C., Farias, P.R.S., Rodrigues, K.C.V., Tinôco, R.S., Santos, A.V.F., Marssena, R.T.P., 2016. Distribuição espacial de *Rhynchophorus palmarum* em palma de óleo no Estado do Pará, Amazônia. *Revista de Ciências Agrárias/Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences*. 59, 22–31. <http://periodicos.ufra.edu.br/index.php/ajaes/article/view/2116>
- Santos, M.A.D., Castro, L.H.S., Guimarães, E.C., 2016. Diagnóstico de fitonematoides no campo, técnicas de amostragem e geoestatística, in: Oliveira, C.M.G., Santos, M.A., Castro, L.H.S. (Eds.), *Diagnóstico de Fitonematoides*. Millennium, Campinas, pp. 15-65.
- Seidel, E.J., Oliveira, M.S.A., 2016. Classification for a geostatistical index of spatial dependence. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*. 40, 1-10. <http://dx.doi.org/10.1590/18069657rbcs20160007>
- Silva, C.M., Laís, C.M., Mercês, E.P.R., Silva, G.B., Lins, P.M.P., Carvalho, E.A., 2016. Distribuição espacial do anel vermelho (*Bursaphelenchus cocophilus*) e da resinose (*Thielaviopsis paradoxa*) em coqueiro. *Agrárias*. 11, 192-197. doi:10.5039/agraria.v11i3a5385
- Sun, Y., Kang, S., Li, F., Zhang, L., 2009. Comparison of interpolation methods for depth to groundwater and its temporal and spatial variations in the Minqin oasis of northwest China. *Environmental Modelling & Software*. 24, 1163-1170. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2009.03.009>
- Warwick, D.R.N., Bezerra, A.P.T., 1992. Possible root transmission of the red ring nematode (*Rhadinaphelenchus cocophilus*) to coconut palms. *Plant Disease*. 76, 809-811. https://www.apsnet.org/publications/PlantDisease/BackIssues/Documents/1992Articles/PlantDisease76n08_809.pdf
- Xie, Y., Chen, T.B., Lei, M., Yang, J., Guo, Q.J., Song, B., Zhou, X.Y., 2011. Spatial distribution of soil heavy metal pollution estimated by different interpolation methods: Accuracy and uncertainty analysis. *Chemosphere*. 82, 468-476. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2010.09.053>

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo possibilitou conhecer as áreas com maior prevalência do anel-vermelho-do-coqueiro e estimar a probabilidade de ocorrência desta doença no Perímetro Irrigado Nilo Coelho (PINC). Além disso, foi possível inferir que o mecanismo de dispersão do *B. cocophilus* no PINC não ocorre por meio de seu principal vetor, o coleóptero *Rhynchophorus palmarum*, mas por outras formas, como pelo uso de ferramentas e maquinários agrícolas contaminados, além do contato entre raízes de plantas doentes com as sadias.

As informações geradas são importantíssimas para traçar estratégias de manejo em áreas isentas ou infestadas pela doença evitando desta forma sua dispersão por todo o PINC. Associado a isso, medidas que vise conscientizar produtores, técnicos e extensionistas sobre a importância desta doença devem ser realizadas, uma vez que os prejuízos decorrentes são desconhecidos pela maioria dos produtores da região. Tais iniciativas favorecerão ainda mais o desenvolvimento da cocoicultura no Submédio do Vale do São Francisco.