



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

DRIELSON DAVISON SILVA GOUVÊA

**MODELAGEM MATEMÁTICA APLICADA AO COMPORTAMENTO ESPAÇO-
TEMPORAL DE *Praelongorthezia praelonga* (Douglas, 1891) (Hemiptera:
Sternorrhyncha: Ortheziidae) EM SISTEMAS DE PLANTIO DE CITROS**

**BELÉM
2021**

DRIELSON DAVISON SILVA GOUVÊA

**MODELAGEM MATEMÁTICA APLICADA AO COMPORTAMENTO ESPAÇO-
TEMPORAL DE *Praelongorthezia praelonga* (Douglas, 1891) (Hemiptera:
Sternorrhyncha: Ortheziidae) EM SISTEMAS DE PLANTIO DE CITROS**

Tese apresentada ao Programa de Pós-
Graduação em Agronomia da Universidade
Federal Rural da Amazônia como parte das
exigências para a obtenção do título de
Doutor em Agronomia

Linha de pesquisa: Produção Vegetal em
Sistemas Agrícolas

Orientador: Prof. Dr. Paulo Roberto Silva
Farias

Coorientador: Prof. Dr. Anderson Gonçalves
da Silva

**BELÉM
2021**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Bibliotecas da Universidade Federal Rural da Amazônia
Gerada automaticamente mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- G719m Gouvêa, Drielson Davison Silva
Modelagem Matemática Aplicada ao Comportamento Espaço-temporal de *Praelongorthezia praelonga* (Douglas, 1891) (Hemiptera: Sternorrhyncha: Ortheziidae) em Sistemas de Plantio de Citros / Drielson Davison Silva Gouvêa. - 2021.
66 f. : il. color.
- Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Agronomia (PPGA), Campus Universitário de Belém, Universidade Federal Rural Da Amazônia, Belém, 2021.
Orientador: Prof. Dr. Paulo Roberto Silva Farias
Coorientador: Prof. Dr. Anderson Gonçalves da Silva.
1. *Citrus sinensis*. 2. Dependência espacial. 3. Variáveis PCMN. 4. Habitat. I. Farias, Paulo Roberto Silva. *orient.* II. Título
-

CDD 630.21

DRIELSON DAVISON SILVA GOUVÊA

**MODELAGEM MATEMÁTICA APLICADA AO COMPORTAMENTO ESPAÇO-
TEMPORAL DE *Praelongorthezia praelonga* (Douglas, 1891) (Hemiptera:
Sternorrhyncha: Ortheziidae) EM SISTEMAS DE PLANTIO DE CITROS**

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

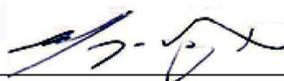
Orientador: Prof. Dr. Paulo Roberto Silva Farias
Coorientador: Prof. Dr. Anderson Gonçalves da Silva

09 de fevereiro de 2021
Data da Aprovação

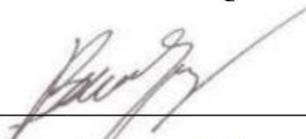
BANCA EXAMINADORA



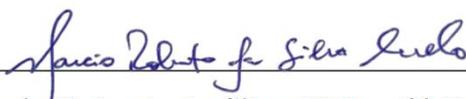
Dr. Paulo Roberto Silva Farias - Presidente
Universidade Federal Rural da Amazônia - UFRA



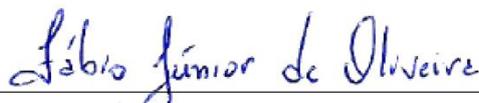
Dr. Wesley Augusto Conde Godoy – 1º Examinador
Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz – ESALQ/USP



Dr. Bruno Spacek Godoy – 2º Examinador
Universidade Federal do Pará – UFPA



Dr. Marcio Roberto da Silva Melo – 3º Examinador
Universidade Federal Rural da Amazônia – UFRA



Dr. Fábio Júnior de Oliveira – 4º Examinador
Universidade Federal Rural da Amazônia – UFRA

DEDICATÓRIA

*Aos meus pais Ritacínio e Galiléia,
meus irmãos e sobrinhos, à minha esposa
Joise e aos meus filhos Adryan, Hannah e*

João Gabriel.

Dedico

AGRADECIMENTOS

“Ser uma boa pessoa é muito mais importante do que obter um doutorado. Antes de qualquer coisa, uma pessoa deve ser atenciosa com as outras.”

Something in the Rain

Agradeço...

A DEUS, por tudo.

As incontáveis intercessões de Nossa Senhora de Narazé em minha vida.

Aos meus amados pais Ritacínio e Maria Galiléia, exemplos na minha vida.

À minha amada esposa Joise, não teria chegado aqui e a lugar nenhum sem o seu apoio diário.

Aos meus lindos filhos Adryan, Hannah e João Gabriel, pela compreensão nos momentos ausentes e pela paciência com o papai nos dias em que fiquei mais rabugento que o normal.

Aos meus queridos irmãos Drailton, Draucia, Dralmar e Dramerson e sobrinhos Arlysson e Rhiamy pelo grande apoio.

Agradeço ao meu orientador e amigo Prof. Dr. Paulo Roberto Silva Farias e ao meu co-orientador Prof. Dr. Anderson Gonçalves da Silva pelos incentivos, apoio, paciência e pela partilha do saber.

Aos membros da banca, Prof. Dr. Wesley Augusto Conde Godoy, Prof. Dr. Bruno Spacek Godoy, Prof. Dr. Fabio Júnior de Oliveira e Prof. Dr. Marcio Roberto da Silva Melo por aceitarem o convite de partilhar os seus conhecimentos para a melhoria deste trabalho.

Aos professores do doutorado pelo ensino, a Profa. Dra. Herdjanía Veras de Lima pelo apoio dado ao longo do curso e aos amigos/irmãos que a PPGAgro/UFRA me deu, em especial Adriano Gama, Artur Ferreira, Wendy Medeiros, João Almiro, Tiaguinho, Danielle, Leidy, Suzi e Alex, sentirei falta das nossas conversas (“balburdias”) científicas e diárias que me ajudaram a chegar até aqui.

A todos que de alguma forma me apoiaram e incentivaram durante o curso.

Muito Obrigado.

**MODELAGEM MATEMÁTICA APLICADA AO COMPORTAMENTO ESPAÇO-
TEMPORAL DE *Praelongorthezia praelonga* (Douglas, 1891) (Hemiptera:
Sternorrhyncha: Ortheziidae) EM SISTEMAS DE PLANTIO DE CITROS**

*“Os modelos matemáticos funcionam
como um ‘mapa rodoviário’ simplificado que nos ajuda a direcionar a
atenção e a escolher exatamente o que medir na natureza”*

Nicholas J. Gotelli

RESUMO

As pragas de insetos e doenças continuam sendo o principal desafio à produção agrícola e da economia citrícola no Brasil. A maneira de como a praga se comporta de um lugar para outro é a base de sua infestação e distribuição no espaço e no tempo criando uma extensa lista de danos causados às plantações. A cochonilha de placas *Praelongorthezia praelonga* (Douglas, 1891) (Hemiptera: Sternorrhyncha: Ortheziidae) têm se constituído uma ameaça aos plantios comerciais de citros do país e tendo em vista a ocorrência desta praga em uma cultura de grande relevância, torna-se necessário a efetiva implementação de ações que propiciem a redução da população da praga por meio de ações que possibilitem o seu controle integrado adequado. Neste estudo utilizou-se modelagem matemática de duas abordagens metodológicas com o objetivo geral de estudar o comportamento da cochonilha *P.praelonga* sob duas óticas distintas, a da geoestatística e da análise de principais coordenadas de matrizes vizinhas (PCNM). Os estudos foram realizados em dois sistemas de plantio comerciais, um agroflorestal e outro convencional, ambos localizados no polo citrícola de Capitão Poço no estado do Pará. De um lado, a modelagem de semivariogramas alinhados analisou e avaliou a distribuição espacial da *P. praelonga* em ambos os sistemas de plantio por meio dos mapas de krigagem obtidos, por outro lado, as variáveis PCNM que foram relacionadas à ocorrência da praga avaliaram a influência do habitat sobre a velocidade de propagação espaço-temporal provocada pela mesma nas duas áreas. Verificou-se com a geoestatística a existência de dependência espacial que variou de 3,3 a 7,3 m no sistema agroflorestal e 3,8 a 5,8 m no sistema convencional. Os resultados baseados em variáveis PCNM mostraram que apesar da proximidade geográfica os sistemas apresentaram diferenças no comportamento de propagação da praga tanto espacial quanto temporal. Observou-se nas duas metodologias que as maiores infestações ocorreram no sistema convencional quando comparado ao sistema agroflorestal. Finalmente, foi mostrado que a modelagem geoestatística é um método preciso para revelar informações relevantes ao controle da *P. praelonga* e que a modelagem de variáveis PCNM é um método explicativo que eficientemente investiga as relações espaciais e temporais entre a *P. praelonga* e o tipo de sistema de plantio que a mesma se encontra.

Palavras-chave: *Citrus sinensis*. Dependência espacial. Variáveis PCMN. Habitat

ABSTRACT

Insect pests and diseases continue to be the main challenge for agricultural production and the citrus economy in Brazil. The way the pest behaves from place to place is the basis of its infestation and distribution in space and time, creating an extensive list of damage to plantations. The *Praelongorthezia praelonga* mealybug (Douglas, 1891) (Hemiptera: Sternorrhyncha: Ortheziidae) has been a threat to commercial citrus plantations in the country and in view of the occurrence of this pest in a highly relevant crop, effective implementation of actions that allow the reduction of the pest population through actions that enable its adequate integrated control. In this study, mathematical modeling of two methodological approaches was used with the general objective of studying the behavior of the *P. praelonga* cochineal under two distinct optics, that of geostatistics and the analysis of main coordinates of neighboring matrices (PCNM). The studies were carried out in two commercial planting systems, one agroforestry and the other conventional, both located in the citrus pole of Capitão Poço in the state of Pará. On the one hand, the modeling of aligned semivariograms analyzed and evaluated the spatial distribution of *P. praelonga* in both planting systems using the obtained kriging maps, on the other hand, the PCNM variables that were related to the occurrence of the pest evaluated the influence of the habitat on the space-time propagation speed caused by the same in both areas. Geostatistics has verified the existence of spatial dependence that ranged from 3.3 to 7.3 m in the agroforestry system and 3.8 to 5.8 m in the conventional system. The results based on PCNM variables showed that despite the geographical proximity, the systems showed differences in the propagation behavior of the pest both in space and in time. It was observed in both methodologies that the greatest infestations occurred in the conventional system when compared to the agroforestry system. Finally, it was shown that geostatistical modeling is an accurate method to reveal information relevant to the control of *P. praelonga* and that the modeling of PCNM variables is an explanatory method that efficiently investigates the spatial and temporal relationships between *P. praelonga* and the type of system of planting in she finds herself.

Keywords: *Citrus sinensis*. Spatial dependence. PCMN variables. Habitat.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 – Produção mundial de laranjas (em 1000 toneladas).....	16
Figura 1.2 – Produção e exportação mundial de suco de laranja (em 1000 toneladas). 17	
Figura 1.3 – Produção em toneladas da laranja brasileira em 2019.	18
Figura 1.4 – Microrregiões do Pará que possuem maior produção laranja em 2019. ...	18
Figura 1.5 – Fábrica da Cítricos do Pará S.A – CITROPAR. Capitão Poço, Pará, Brasil.....	19
Figura 1.6 – Fábrica da Zampa Juices. Capitão Poço, Pará, Brasil.	19
Figura 1.7 – <i>Praelongorthezia praelonga</i> . Fêmea adulta (A), ovissaco ceroso (B) e ninfas (C). Capitão Poço, Pará, Brasil.....	21
Figura 1.8 – Morfologia da <i>Praelongorthezia praelonga</i> . Fêmea adulta. (A) Antena. (B) Seta apical. (C) Cerda em forma de cabelo. (D) Poros multiloculares. (E) Faixa do ovissaco. (F) Anel anal cada um com poros quadriloculares espalhados e poros simples. (G) Espiráculos torácicos. (H) Garra.	22
Figura 1.9 – <i>Praelongorthezia praelonga</i> . Macho adulto.	23
Figura 1.10 – <i>Praelongorthezia praelonga</i> . Macho adulto. (A) Cerda apical antenal. (B) Conexão tibiotársica. (C) Garra. (D ₁) Locule o poro com três lóculos. (D ₂) Locule e poro com quatro lóculos. (E) Dutos tubulares com dois tipos de cerdas periféricas. (F) Pequenos poros loculares. (G) Bainha peniana.	23
Figura 1.11 – Infestação de <i>Praelongorthezia praelonga</i> em (A) folhas de citros e (B) frutos. Capitão Poço, Pará, Brasil.....	24
Figura 1.12 – (A) Fumagina causada pelo ataque de <i>Praelongorthezia praelonga</i> em citros. (B) Laranjeira com alta infestação da praga. Capitão Poço, Pará, Brasil.....	24
Figura 1.13 – Pulverizadores (A) e trabalhadores (B) estão entre as principais formas de disseminação de <i>Praelongorthezia praelonga</i> em citros. Capitão Poço, Pará, Brasil....	25
Figura 1.14 – Representação gráfica de um semivariograma.....	26
Figura 1.15 – Semivariogramas experimentais.	27
Figura 2.1 – Mapa de localização dos sistemas de plantio agroflorestal e convencional de laranja (<i>C. sinensis</i>). Capitão Poço, Pará, Brasil.	39
Figura 2.2 – Visualização do sistema de plantio (A) agroflorestal com laranja (<i>C. sinensis</i>) e Teca (<i>T. grandis</i>) e (B) convencional com laranja (<i>C. sinensis</i>). Capitão Poço, Pará, Brasil.	40
Figura 2.3 – Croqui das áreas experimentais dos sistemas de plantio agroflorestal e convencional. Capitão Poço, Pará, Brasil.....	40
Figura 2.4 – Níveis de infestação de <i>Praelongorthezia praelonga</i> com temperatura e precipitação. Capitão Poço, Pará, Brasil.....	43

Figura 2.5 – Índice de dependência espacial dos semivariogramas ajustados, a partir da presença e ausência de <i>Praelongorthezia praelonga</i> nos sistemas de plantio agroflorestal e convencional. Capitão Poço, Pará, Brasil.	45
Figura 2.6 – Semivariogramas ajustados de <i>Praelongorthezia praelonga</i> nos sistemas de plantio agroflorestal e convencional nos meses de setembro (A), outubro (B), novembro (C) de 2008. Capitão Poço, Pará, Brasil.	46
Figura 2.7 – Semivariogramas ajustados de <i>Praelongorthezia praelonga</i> nos sistemas de plantio agroflorestal e convencional nos meses de dezembro (D) de 2008, janeiro (E) e fevereiro (F) de 2009. Capitão Poço, Pará, Brasil.	47
Figura 2.8 – Semivariogramas ajustados de <i>Praelongorthezia praelonga</i> nos sistemas de plantio agroflorestal e convencional nos meses de março (G), abril (H) e maio (I) de 2009. Capitão Poço, Pará, Brasil.	48
Figura 2.9 – Semivariogramas ajustados de <i>Praelongorthezia praelonga</i> nos sistemas de plantio agroflorestal e convencional nos meses de junho (J), julho (K) e agosto (L) de 2009. Capitão Poço, Pará, Brasil.	49
Figura 2.10 – Mapas de krigagem da distribuição espacial de <i>Praelongorthezia praelonga</i> nos sistemas de plantio agroflorestal e convencional nos meses de setembro (A), outubro (B), novembro (C) e dezembro (D) de 2008, janeiro (E) e fevereiro (F) de 2009. Capitão Poço, Pará, Brasil.....	50
Figura 2.11 – Mapas de krigagem da distribuição espacial de <i>Praelongorthezia praelonga</i> nos sistemas de plantio agroflorestal e convencional nos meses de março (G), abril (H), maio (I), junho (J), julho (K) e agosto (L) de 2009. Capitão Poço, Pará, Brasil.....	51
Figura 3.1 – Distribuição de frequência das médias das distâncias alcançadas pela <i>Praelongorthezia praelonga</i> em intervalos de 4 meses nos dois sistemas de plantio....	62

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1: Análise de variância para os níveis de infestação de <i>Praelongorthezia praelonga</i> os sistemas de plantio agroflorestal e convencional. Capitão Poço, Pará, Brasil.....	42
Tabela 2.2 : Infestação da <i>P. praelonga</i> , parâmetros ajustados do semivariograma exponencial, coeficiente de determinação (R^2) e parâmetro k para análise geoestatística em dois sistemas de cultivo, agroflorestal e convencional, no período de setembro de 2008 a agosto de 2009 na Amazônia Oriental, Capitão Poço, estado do Pará.....	44
Tabela 3.1: Matriz de confusão.....	59
Tabela 3.2: Estimativas dos parâmetros, erros-padrão e z-valores dos modelos logísticos usados para obter as variáveis PCNM significativamente relacionadas.....	61

SUMÁRIO

RESUMO	8
ABSTRACT	9
1 CONTEXTUALIZAÇÃO	15
1.1 REVISÃO DA LITERATURA	16
1.1.1 A Citricultura.....	16
1.1.2 Principais pragas da citricultura	20
1.1.3 Distribuição geográfica, Biologia e descrição da <i>Praelongorthezia praelonga</i>	20
1.1.4 Métodos Matemáticos.....	25
1.1.4.1 Geoestatística.....	25
1.1.4.2 Principais Coordenadas de Matrizes Vizinhas (<i>Principal Coordinates of Neighbour Matrices</i> - PCNM).....	29
1.1.4.3 Variáveis explicativas associada a localização de dados igualmente espaçados.	32
REFERÊNCIAS	33
2 CAPÍTULO 1 – DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DE <i>Praelongorthezia praelonga</i> EM PLANTIO DE CITROS EM ÁREAS DE SISTEMAS AGROFLORESTAL E CONVENCIONAL NA AMAZÔNIA ORIENTAL	36
RESUMO	36
ABSTRACT	36
2.1 Introdução	37
2.2 Material e Métodos	38
2.2.2 Identificação da área de estudo e amostragem.....	38
2.2.3 Análises estatísticas.....	41
2.2.4 Geoestatística	41
2.3 Resultados e Discussão	42
2.4 Conclusões	52
REFERÊNCIAS	53
3 CAPÍTULO 2 – EFEITO DA COMPLEXIDADE DO HABITAT SOBRE A VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DA COCHONILHA DE PLACAS <i>Praelongorthezia praelonga</i> EM PLANTIO DE CITROS	55
RESUMO	55
ABSTRACT	55
3.1 Introdução	56
3.2 Materiais e Métodos	57
3.2.2 Área de estudo.....	57
3.2.3 Monitoramento de <i>Praelongorthezia praelonga</i>	58
3.2.4 Análises estatísticas.....	58

3.2.4.1 Padrões espaciais e temporais	58
3.3 Resultados e Discussão	60
3.4 Conclusões	63
REFERÊNCIAS	64
CONCLUSÃO GERAL	66

1 CONTEXTUALIZAÇÃO

A base para um programa eficaz de manejo integrado está centrada na compreensão de como se comportam as pragas em determinadas áreas agrícolas, assim sendo, deve-se associar o movimento espaço-temporal das espécies ao tipo de habitat agrícola em que as mesmas se encontram (CAMPBELL et al, 2006). O uso constante de modelos matemáticos associados a programas computacionais específicos tem se mostrado extremamente útil a pesquisadores que buscam investigar como um inseto se dispersa por áreas agrícolas através de avaliações, comparações e descrições comportamentais da praga, possibilitando com isso um retorno aos agricultores para que possam realizar os manejos adequados e de forma mais eficiente (GODOY, 2018; GOUVÊA et al, 2020).

Neste trabalho utilizou-se a modelagem matemática para estudar o comportamento da cochonilha *Praelongorthezia praelonga* em dois sistemas de plantio de citros, um agroflorestal e outro convencional, na região nordeste do estado do Pará, de forma que foram testadas as seguintes hipóteses: (1) A distribuição espacial da cochonilha *Praelongorthezia praelonga* ocorre de forma agregada em plantios de citros no polo citrícola de Capitão Poço no estado do Pará, e (2) O habitat agrícola possui grande influência sobre a movimentação da cochonilha *Praelongorthezia praelonga* em plantios de citros no polo citrícola de Capitão Poço. Para testar essas hipóteses, dois estudos independentes foram realizados com os objetivos de: (1) Analisar a distribuição espacial de *Praelongorthezia praelonga* através de avaliações feitas em dois sistemas distintos de plantios de citros localizados no polo citrícola de Capitão Poço utilizando a geoestatística e (2) Avaliar a funcionalidade do habitat agrícola sobre a velocidade de propagação espaço-temporal da *Praelongorthezia praelonga* em dois sistemas de plantio de citros localizados no polo citrícola de Capitão Poço, Pará.

Esta tese é constituída de três partes: Revisão da literatura, capítulo 1 e capítulo 2. A Revisão da literatura é dedicada aos conhecimentos básicos necessários ao desenvolvimento do trabalho começando pela citricultura, seguido por um estudo sobre a cochonilha de placas *Praelongorthezia praelonga* e por fim as ferramentas matemáticas utilizadas no estudo comportamental da praga. O Capítulo 1 aborda o estudo realizado da distribuição espacial da cochonilha *Praelongorthezia praelonga* em dois plantios comerciais de citros na Amazônia oriental utilizando a geoestatística. No Capítulo 2 apresentamos os efeitos que o habitat provoca na velocidade de propagação da cochonilha de placas *Praelongorthezia praelonga* em plantio de citros.

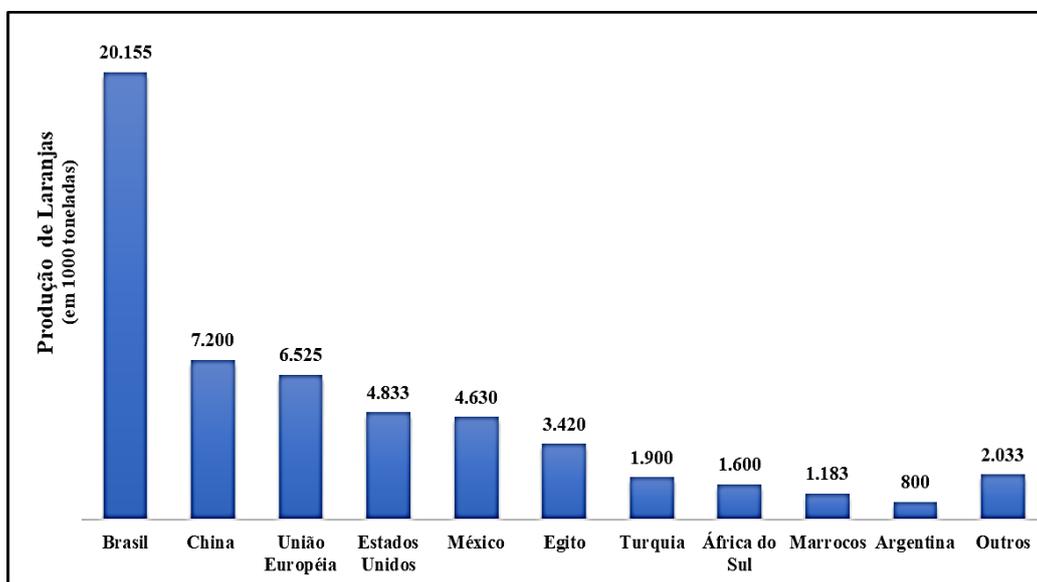
1.1 REVISÃO DA LITERATURA

1.1.1 A Citricultura

A citricultura brasileira é de incontestável importância econômica para o país, além de ser o maior produtor o Brasil é o mais importante fornecedor do suco *in natura* no mundo (OLIVEIRA, 2017). Mesmo com grandes mudanças no cenário mundial, como o aumento da concorrência com outras bebidas e a mudança nos hábitos alimentares dos consumidores, o setor tem realizado investimentos na formação dos pomares e em tecnologias de alta qualidade que fortalecem este setor que é visto como um dos mais antigos e importantes do agronegócio brasileiro (NEVES et al., 2017).

De acordo com dados do UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE – USDA, na safra 2018/2019, o setor citrícola brasileiro obteve um aumento em sua produção de 26%, atingindo pouco mais de 20 milhões de toneladas (Figura 1.1), sendo as condições climáticas, um dos principais fatores responsáveis pelo incremento da produção, proporcionando o desenvolvimento das árvores e o crescimento das frutas no período adequado (USDA, 2019).

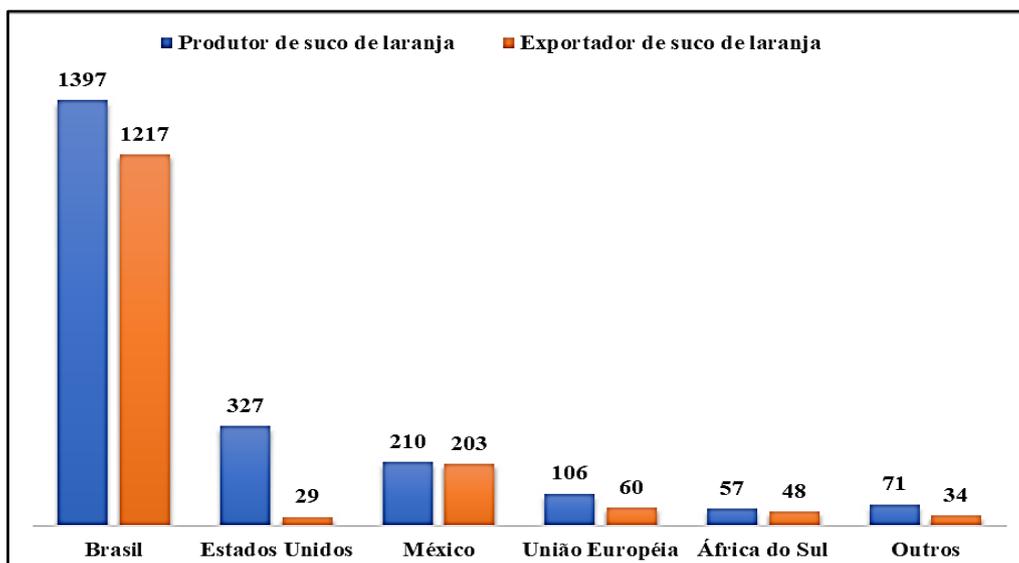
Figura 1.1 – Produção mundial de laranjas (em 1000 toneladas).



Fonte: USDA, 2019.

De acordo com o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) (2018), o Brasil é o terceiro maior exportador mundial de produtos agrícolas e o principal produtor e exportador de produtos importantes como cana-de-açúcar, café e dentre eles o suco de laranja (Figura 1.2).

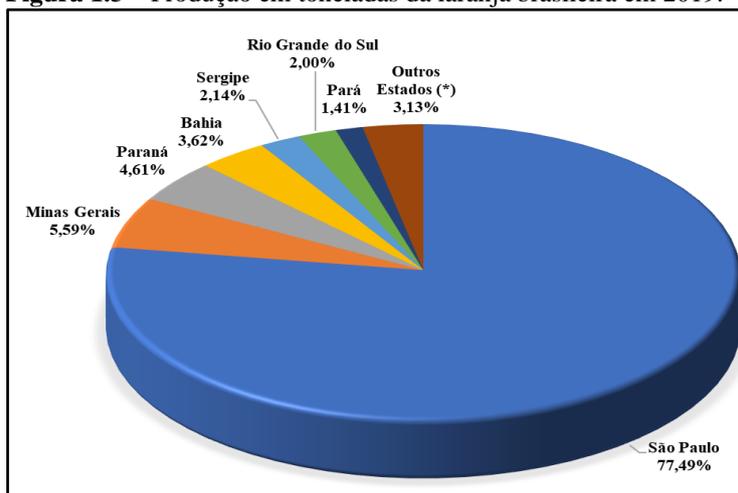
Figura 1.2 – Produção e exportação mundial de suco de laranja (em 1000 toneladas).



Fonte: USDA, 2019.

A Europa continua sendo o principal destino das exportações do suco de laranja brasileiro com 65,7% da produção, seguido de Estados Unidos com 21,1 %, Japão com 5,1% e China com 3,5% (ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS EXPORTADORES DE SUCOS CÍTRICOS – CITRUSB, 2019). A produção citrícola é responsável anualmente por um movimento de US\$ 14 bilhões, dos quais aproximadamente US\$ 2 bilhões somente em exportação de suco de laranja processado (USDA, 2019). O PIB do setor citrícola foi de US\$ 6,5 bilhões com arrecadação de US\$ 189 milhões em impostos. Essa atividade foi responsável pela geração de mais de 220 mil empregos diretos e indiretos no Brasil (GUIMARÃES, 2018).

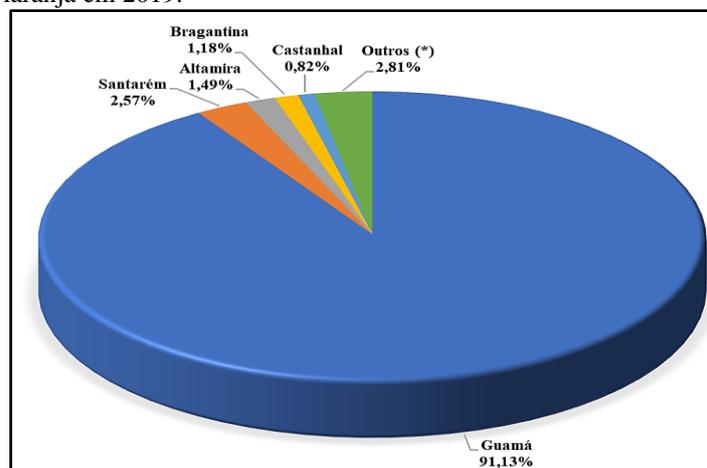
A produção nacional está concentrada na região Sudeste do País, em São Paulo e no Triângulo Mineiro. Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) (2019) o estado de São Paulo foi responsável por 77,49% do total produzido nacionalmente sendo considerado o maior produtor de laranja no país. Paralelo a isso, a região Norte vem apresentando um grande destaque na citricultura do país, tendo o estado do Pará como seu maior produtor e ocupando a sétima posição no ranking nacional dos estados produtores com 1,41 % do total produzido, conforme mostra a figura 1.3.

Figura 1.3 – Produção em toneladas da laranja brasileira em 2019.

Fonte: IBGE, 2019 – Levantamento Sistemático da Produção Agrícola.
 Nota (*): São 20 estados produtores que somados representa 3,13% da produção brasileira.

O Pará tem as melhores condições edafoclimáticas do Brasil e segundo os produtores rurais paraenses não há nenhum outro estado que possua condições tão favoráveis (FEDERAÇÃO DE AGRICULTURA E PECUÁRIA DO PARÁ – FAEPA, 2020). Não há grandes preocupações no que se refere as geadas, nem temperaturas baixas ou altas demais, tempestades e furacões. Solo, clima e as quantidade de chuvas são favoráveis ao plantio de citros no estado do Pará (SILVA, 2010).

As principais microrregiões produtoras de laranja do estado do Pará no ano de 2019 foram a de Altamira, a Bragantina, a de Castanhal, a do Guamá e a de Santarém. Observa-se que 91,13% de toda produção estadual está concentrada na microrregião do Guamá (Figura 1.4).

Figura 1.4 – Microrregiões do Pará que possuem maior produção laranja em 2019.

Fonte: IBGE, 2019 – Produção Agrícola Municipal.
 Nota (*): São 11 microrregiões produtoras que somados representa 2,81% da produção estadual.

O principal polo citrícola do estado é formado pelos municípios de Capitão Poço, Garrafão do Norte, Irituia, Nova Esperança do Piriá e Ourém, localizadas na microrregião do Guamá no nordeste do estado, sendo favorecido desde 1993 com a criação da Cítricos do Pará S.A (CITROPAR) (Figura 1.5) e em 2012 com a criação da Zampa Juices, a primeira fábrica de suco *in natura* do estado (Figura 1.6). A citricultura se tornou de extrema importância para a economia paraense por ser uma cultura responsável pela movimentação de mercado e geração de emprego. (FAEPA, 2018).

Figura 1.5 – Fábrica da Cítricos do Pará S.A – CITROPAR. Capitão Poço, Pará, Brasil.



Fonte: <http://citropar.com.br/>. Acessado em 13/12/2020.

Figura 1.6 – Fábrica da Zampa Juices. Capitão Poço, Pará, Brasil.



Fonte: <http://citropar.com.br/>. Acessado em 13/12/2020.

1.1.2 Principais pragas da citricultura

Muitos insetos e ácaros são responsáveis por atacarem a cultura de citros. A produção é constantemente afetada por mudanças climáticas e diversos problemas fitossanitários com pragas que muitas vezes transmitem doenças causadas por fungos, bactérias e vírus (CARVALHO, 2006). Entre os insetos que causam prejuízos à produção de citros a cochonilha *Praelongorthezia praelonga*, Douglas, 1891 (Hemiptera: Ortheziidae), tem grande importância como praga por ocorrer com grande frequência em várias regiões onde a cultura é cultivada (KONDO et al., 2013). Tal informação se dá por se tratar de uma praga de difícil controle, tanto biológico quanto químico (PARRA et al., 2003). Outros insetos, como a Mosca-negra-dos-citros (*Aleurocanthus woglumi*), cigarrinhas e algumas doenças causadas por ácaros como leprose dos citros (*Brevipalpus phoenicis*) e a falsa ferrugem (*Phyllocoptruta oleivora*) tem resultado em injúrias que são um problema nos plantios da cultura (GRAVENA, 1984).

A região norte do Brasil encontra-se livre de doenças que podem inviabilizar o agronegócio citrícola em regiões como a sudeste, tais como: o cancro cítrico (*Xanthomonas axonopodis* pv. *citri*), a morte súbita dos citros e o greening (*Candidatus liberibacter asiaticus* e *Candidatus liberibacter americanus*) (SILVA, 2010).

1.1.3 Distribuição geográfica, Biologia e descrição da *Praelongorthezia praelonga*

Dentre as principais pragas que ocorrem na citricultura, as cochonilhas são insetos conhecidos como um dos primeiros a serem combatidos na história do controle de pragas (GRAVENA, 2011). A cochonilha *Praelongorthezia praelonga* é considerada a praga polífaga mais importante da cultura de citros, sendo também referida constantemente como infestante de plantas ornamentais e medicinais (BARBOSA et al., 2007).

A cochonilha, antes chamada apenas de *Orthezia praelonga*, foi primeiramente relatada em 1891 em Trinidad pelo entomólogo inglês John William Douglas, é do tipo neotropical e está amplamente distribuída em países como Argentina, Bolívia, Chile, Peru, Suriname, Trinidad e Venezuela (SCHINOR et al., 2011). No Brasil o primeiro surto ocorreu no estado do Rio de Janeiro em 1947 e hoje essa espécie se encontra espalhada por diversas culturas e em todos os estados brasileiros (ROBBS, 1947).

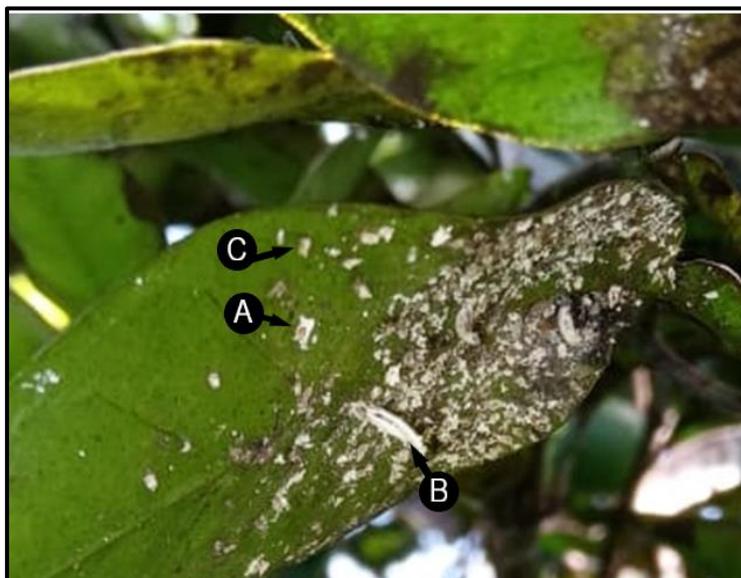
O ciclo de vida da *P. praelonga* compreende os estádios de ovo, ninfa e adultos. O ovo apresenta coloração esbranquiçada até a eclosão da ninfa, passando a assumir uma

coloração esverdeada. Os ovos inférteis são identificados através de uma coloração castanha. (CESNIK et al., 2004).

A fêmea apresenta três instares ninfais, são de coloração branca, corpo ceroso e movimentos lentos e logo desenvolvem o seu ovissaco achatado em forma de canoa ou calda longa o que a torna adulta primeiro que os machos e possuem cerca de 2,5 até 4,5 mm com a presença desse ovissaco (CARVALHO, 2006). Elas também, apresentam o corpo ovalado e de coloração esverdeada e são ápteras, ou seja, não possuem asas. Vivem cerca de 80 dias e ovipositam no interior do ovissaco acima de 100 ovos que ficam protegidos de inimigos naturais e ações de agrotóxicos o que dificulta ainda mais o controle da praga nos plantios (Figura 1.7) (BARBOSA et al., 2007).

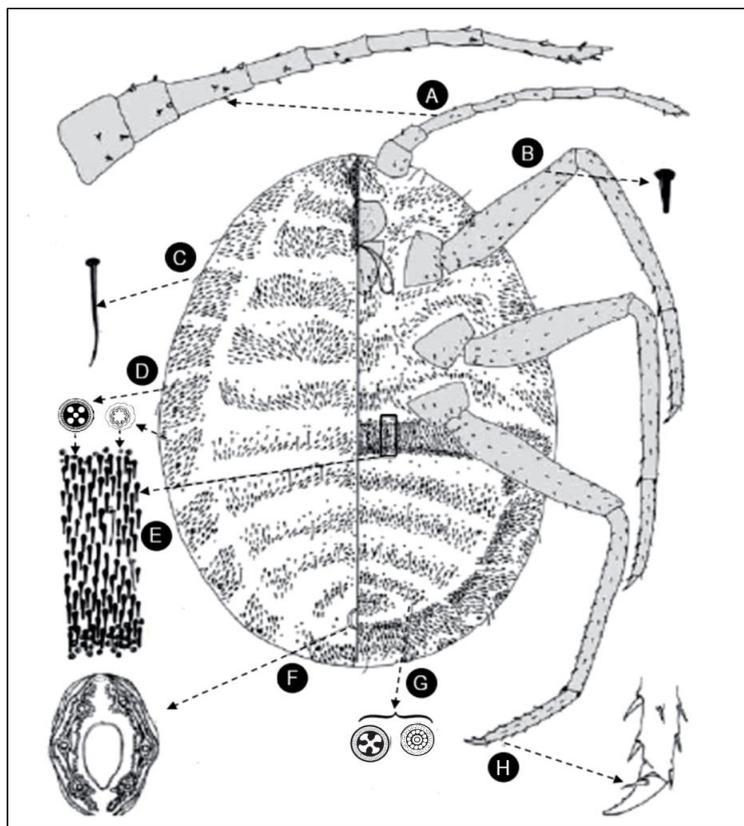
O que difere de forma crucial de um instar para o outro é o aumento de tamanho em função da alimentação e na troca de exúvias, exoesqueleto quitinoso, que o deixa rígido para proteger o corpo do inseto (BARBOSA et al., 2007). A descrições morfológicas da *P.praelonga* fêmea são fornecidas na figura 1.8, buscando uma melhor visibilidade das macroestruturas existentes na praga.

Figura 1.7 – *Praelongorthezia praelonga*. Fêmea adulta (A), ovissaco ceroso (B) e ninfas (C). Capitão Poço, Pará, Brasil.



Fonte: O autor (2020).

Figura 1.8 – Morfologia da *Praelongorthezia praelonga*. Fêmea adulta. (A) Antena. (B) Seta apical. (C) Cerda em forma de cabelo. (D) Poros multiloculares. (E) Faixa do ovissaco. (F) Anel anal cada um com poros quadriloculares espalhados e poros simples. (G) Espiráculos torácicos. (H) Garra.



Fonte: Adaptado do desenho de Konczne Benedicty & Kaydan (2004).

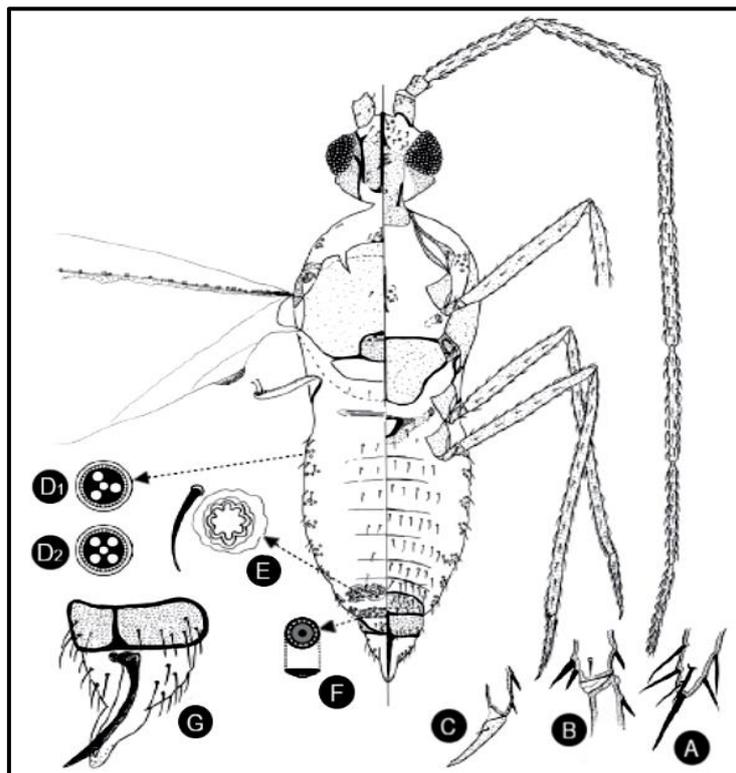
A partir do segundo instar de desenvolvimento, os machos dirigem-se para galhos, troncos ou solo, onde reunidos em colônias e envolvidos por exúvias evoluem para uma fase intermediária até chegar ao final do quarto instar onde emergem como adultos dispersando e procurando fêmeas para acasalamento (SCHINOR et al., 2011; CARVALHO, 2006). Na fase adulta apresentam no corpo uma coloração azulada mais clara e de maior comprimento em relação ao corpo da fêmea, as partes físicas desenvolvidas são, as tecas alares, as pernas delgadas e compridas e uma longa cauda formada por fios de cera (Figura 1.9) (CARVALHO, 2006). Diferente das fêmeas, os machos não causam prejuízos à planta, voam ao entardecer, possuem média de vida de 75 dias e sua função é exclusivamente para reprodução (KONDO et al., 2013). Na figura 1.10 observamos as descrições morfológicas da *P.praelonga* macho.

Figura 1.9 – *Praelongorthezia praelonga*. Macho adulto.



Fonte: Adaptado de Kondo & Szita (2013).

Figura 1.10 – *Praelongorthezia praelonga*. Macho adulto. (A) Cerda apical antenal. (B) Conexão tibiotársica. (C) Garra. (D₁) Locule o poro com três lóculos. (D₂) Locule e poro com quatro lóculos. (E) Dutos tubulares com dois tipos de cerdas periféricas. (F) Pequenos poros loculares. (G) Bainha peniana.

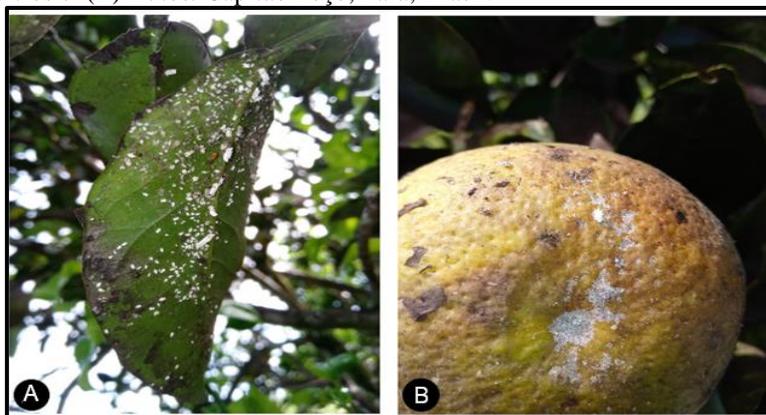


Fonte: Adaptado do desenho de Vea (2014).

Segundo Schinor et al. (2011) a *P. praelonga* provoca grandes prejuízos econômicos, pois sendo do tipo sugador costuma agir retirando a seiva de seus hospedeiros, enfraquecendo-os e ocasionando a queda prematura de folhas e frutos

(Figura 1.11). Apesar de ser encontrada praticamente em todos os meses do ano, é no período mais quente que ocorrem as maiores infestações e quando em altas densidades populacionais podem causar a morte da planta hospedeira (CARVALHO, 2006).

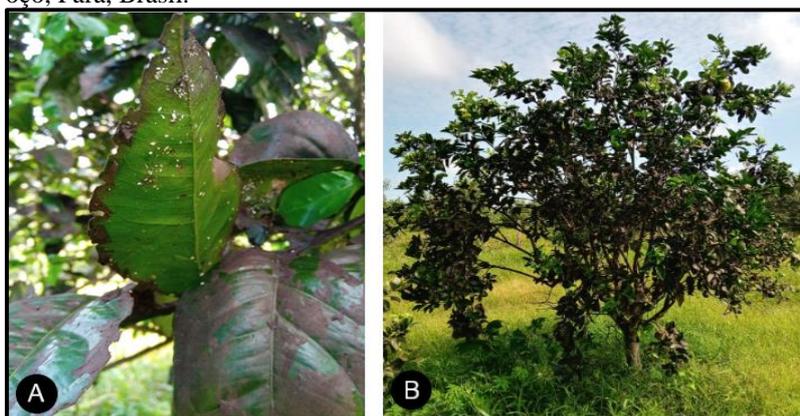
Figura 1.11 – Infestação de *Praelongorthezia praelonga* em (A) folhas de citros e (B) frutos. Capitão Poço, Pará, Brasil.



Fonte: O autor (2020).

Os danos indiretos causados na planta provocam resíduos de uma substância açucarada (“honeydew”), que quando acumulado promove o desenvolvimento de patógenos, como o fungo *Capnodium sp* conhecido como “fumagina”, identificada por uma camada fina e escura que cobre as folhas e os frutos impedindo a planta de realizar trocas gasosas e a fotossíntese (Figura 1.12) (PRATES, 1987).

Figura 1.12 – (A) Fumagina causada pelo ataque de *Praelongorthezia praelonga* em citros. (B) Laranjeira com alta infestação da praga. Capitão Poço, Pará, Brasil.



Fonte: O autor (2020).

Geralmente as infestações desses insetos são observadas em ramos, tronco, folhas, frutos e pedúnculos de frutos sendo encontradas em focos ou reboleiras. A dispersão ocorre pelo deslocamento de fêmeas adultas e de ninfas na planta em mudas infestadas. Contudo existem formas mais eficientes de disseminação da praga como o uso constante de pulverizadores tratorizados que se utilizam do vento favorecendo a dispersão de ninfas

e adultos de *P. praelonga* durante a aplicação de produtos fitossanitários (Figura 1.13) (FERNANDES et al., 2007). Para Carvalho (2006) a disseminação da praga também ocorre, principalmente, durante a colheita por meio de roupas dos trabalhadores e através de uma relação simbiótica entre a *P. praelonga* e algumas espécies de formigas que ajudam no transporte de uma planta à outra ao longo dos pomares, uma troca simples onde a formiga é beneficiada com o “honeydew” já citado e fornecido pelo ataque da praga.

Figura 1.13 – Pulverizadores (A) e trabalhadores (B) estão entre as principais formas de disseminação de *Praelongorthezia praelonga* em citros. Capitão Poço, Pará, Brasil.



Fonte: O autor (2020).

Para o Manejo Integrado de Pragas (MIP) a *P. praelonga* deve ser controlada em baixos níveis de infestação, uma vez que seu ataque normalmente se inicia em focos, atribuindo a essa praga o comportamento agregado em reboleira, o uso de inseticidas deve acontecer de forma pontual nas plantas afetadas e plantas vizinhas, pois somente assim é possível reduzir a densidade populacional desse inseto e preservar os inimigos naturais que mantem a *P. praelonga* sob equilíbrio ecológico. (GRAVENA, 1984 ; KONDO et al, 2013).

1.1.4 Métodos Matemáticos

1.1.4.1 Geoestatística

A Geoestatística é uma subdisciplina da Estatística Espacial, foi desenvolvida por Matheron (1962, 1965, 1970, 1971, 1973) e colegas de trabalho no Centre de morphologie mathématique da École des Mines de Paris (LEGENDRE & LEGENDRE, 1998). Ela compreende a estimativa de semivariogramas, krigagem, métodos de validação para estimativas de krigagem e métodos de simulação para dados geograficamente distribuídos (“regionalizados”) (FORTIN & DALE, 2005).

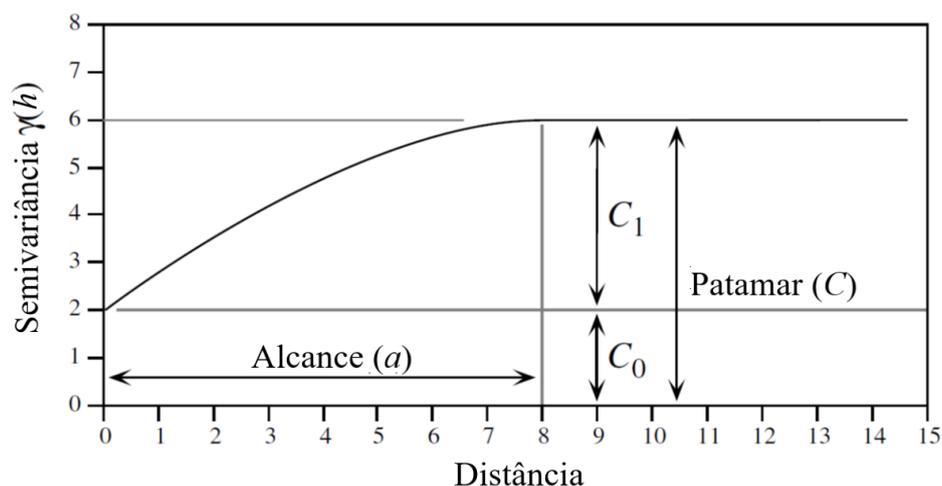
A geoestatística inclui um conjunto de métodos estatísticos que dizem respeito a dados aleatórios de amostragem com variabilidade espacial e que representam quantidades físicas com importância econômica ou ambiental (OLIVEIRA, 2017). Para Farias et al., (2003) a geoestatística já se encontra bem estabelecida e desenvolvida sendo amplamente utilizada em pesquisas importantes que auxiliam em diversas áreas científicas, dentre elas na aplicação de métodos precisos no controle de pragas e doenças em diversos plantios de culturas agrícolas.

Os modelos utilizados são baseados na função de semivariância ($\gamma^*(h)$), uma das ferramentas mais utilizadas para representar a distribuição espacial de uma função aleatória ($Z(x_\alpha)$) de dados de amostragem (x_α) na direção de um vetor (h), sendo dada pela equação:

$$\gamma^*(h) = \frac{1}{2n(h)} \sum_{\alpha=1}^{n(h)} [Z(x_\alpha) - Z(x_\alpha + h)]^2 \quad (1.1)$$

Os modelos de $\gamma^*(h)$ que se relacionam com os valores correspondentes de h são representados por um gráfico denominado semivariograma (Figura 1.14).

Figura 1.14 – Representação gráfica de um semivariograma.



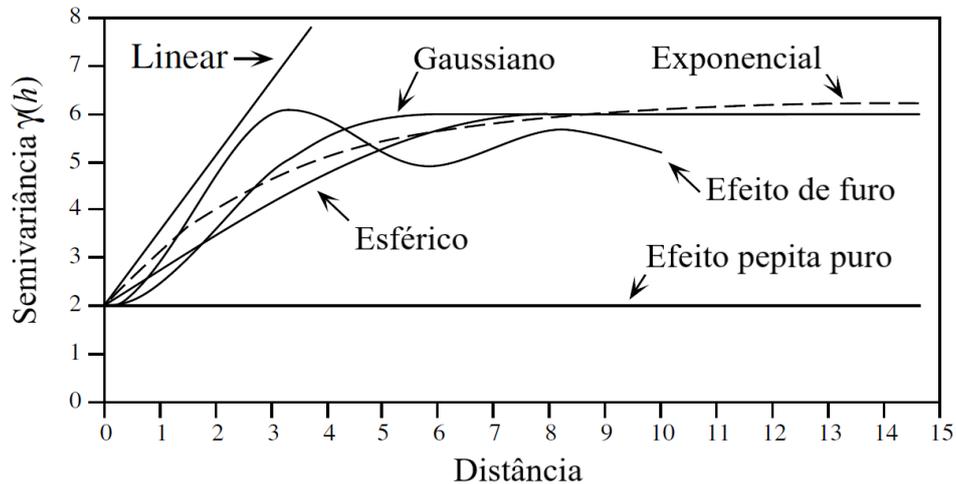
Fonte: Adaptado de Numerical Ecology, Legendre & Legendre (1998).

O crescimento de $\gamma^*(h)$, ao longo do semivariograma, inicia em um ponto chamado efeito pepita (C_0) e atinge um valor máximo no qual a função de semivariância se torna estável chamado *patamar* ($C = C_1 + C_0$) (ou *sill*) ele corresponde aproximadamente a variância total dos dados de amostragem, a distância em que $\gamma^*(h)$ atinge o patamar é

denominada *alcance* (*a*) (ou *ranger*) ela mede a distância limite da dependência espacial dos dados de amostragem (VIEIRA et al., 1983).

Para descrever quantitativamente a dependência espacial dos dados amostragem, são utilizados os semivariogramas ditos “experimentais” (Figura 1.15).

Figura 1.15 – Semivariogramas experimentais.



Fonte: Adaptado de Numerical Ecology, Legendre & Legendre (1998).

Embora um semivariograma experimental seja um bom resumo descritivo da proximidade espacial entre os dados de amostragem ele não fornece todos os valores necessários de semivariâncias para a produção de mapas futuros que auxiliarão na interpretação destes dados, por este motivo um modelo matemático deve ser associado ao semivariograma para buscar o melhor ajuste de proximidade espacial entre os dados e, somente desta maneira, serão apresentados os valores das semivariâncias para todas as distâncias próximas entre eles (BORCARD et al., 2011).

Os modelos matemáticos frequentemente usados são os seguintes:

- Modelo esférico:

$$\gamma(h) = C_0 + C_1 \left[1,5 \frac{h}{a} - 0,5 \left(\frac{h}{a} \right)^3 \right] \text{ se } h \leq a; \gamma(h) = C \text{ se } h > a \quad (1.2)$$

- Modelo exponencial:

$$\gamma(h) = C_0 + C_1 \left[1 - \exp \left(-3 \frac{h}{a} \right) \right] \quad (1.3)$$

- Modelo gaussiano:

$$\gamma(h) = C_0 + C_1 \left[1 - \exp \left(-3 \frac{h^2}{a^2} \right) \right] \quad (1.4)$$

- Modelo efeito de furo:

$$\gamma(h) = C_0 + C_1 \left[1 - \frac{\sin(ah)}{ah} \right] \quad (1.5)$$

- Modelo Linear:

$$\gamma(h) = C_0 + bh \quad (1.6)$$

Onde b é a inclinação do modelo de semivariograma. Um modelo linear com patamar é obtido adicionando a especificação: $\gamma(h) = C$, se $h \geq a$.

- Modelo efeito pepita puro:

$$\gamma(h) = C_0, \text{ se } h > a ; \gamma(h) = 0 \text{ se } h = 0 \quad (1.7)$$

A segunda parte se aplica a uma estimativa local. Na prática, as observações têm o tamanho do local de amostragem, o erro nessa escala é sempre maior que zero.

A geoestatística lida com distribuições em que a dependência espacial (ou Índice de Dependência Espacial – IDE) é a sua principal característica. Sua função é estimar os parâmetros estatísticos C_0 e C_1 encontrados no ajuste do semivariograma e que determinam a distribuição espacial e a dependência dos dados relevantes, desta forma pode-se usá-los para interpolar os dados de amostragem nos locais onde não há medições disponíveis.

Duas propostas de classificação são usadas para a análise do IDE, são elas:

- Por Cambardella et al., (1994) calculada pela equação:

$$\text{IDE} = \frac{C_0}{C_0 + C_1} \quad (1.8)$$

Nesta classificação a dependência espacial pode ser considerada forte se o valor encontrado for inferior a 0,25 ($\text{IDE} < 0,25$), moderada se o valor estiver compreendido entre 0,25 e 0,75 ($0,25 < \text{IDE} < 0,75$) ou fraca se o valor for superior a 0,75 ($\text{IDE} > 0,75$).

- Por Zimback (2001) calculada pela equação:

$$\text{IDE} = \frac{C_1}{C_0 + C_1} \quad (1.9)$$

Nesta classificação a dependência espacial pode ser considerada baixa se o valor encontrado for inferior a 0,25 ($IDE < 0,25$), moderada se o valor estiver compreendido entre 0,25 e 0,75 ($0,25 < IDE < 0,75$) ou forte se o valor for superior a 0,75 ($IDE > 0,75$).

A precisão dos dados de amostragem é adquirida quando se utiliza a interpolação por krigagem. O método foi batizado por Matheron em homenagem ao geoestatístico sul-africano D. G. Krige (1966), que foi o primeiro a desenvolver soluções formais para o problema de estimativa das reservas de minério a partir de dados de amostragem (BORCARD et al., 2011). A equação desenvolvida é dada por:

$$Z^*(h) = \sum_{\alpha=1}^N \lambda_{\alpha} Z(x_{\alpha}) \quad (1.10)$$

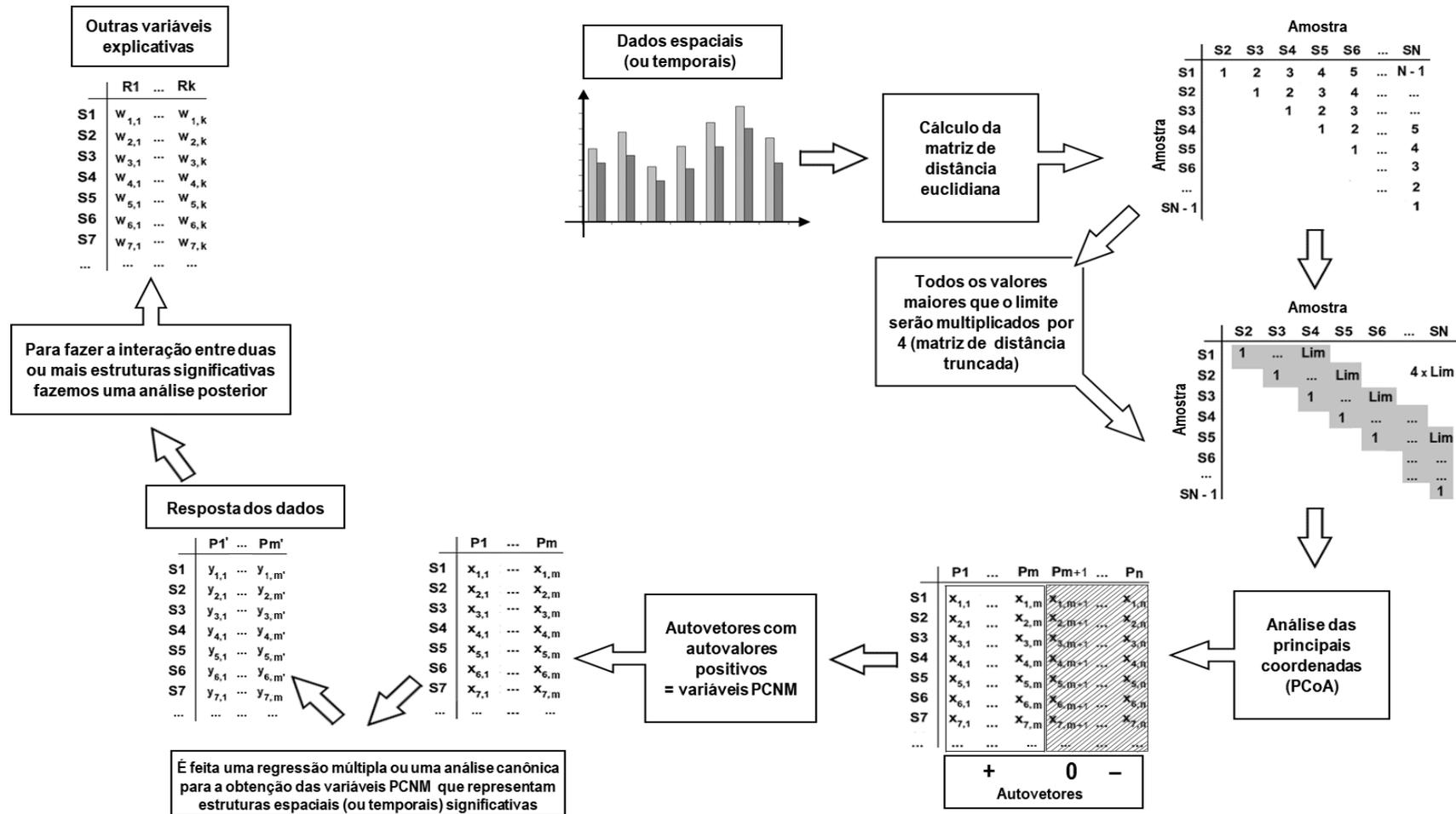
onde $Z^*(h)$ é o valor estimado da função Z^* na direção do vetor h ; λ_{α} são os pesos dos dados vizinhos desenvolvidos para o dado de amostragem x_{α} , com base nos parâmetros dos semivariogramas ajustados, $Z(x_{\alpha})$ é o valor estimado da função Z do dado de amostragem x_{α} .

1.1.4.2 Principais Coordenadas de Matrizes Vizinhas (*Principal Coordinates of Neighbour Matrices* - PCNM)

Uma maneira importante de como transformar informações sobre os efeitos do espaço ou do tempo usando apenas as coordenadas de localização dos dados de amostragem (valores de latitude e longitude ou tempo de monitoramento) tem obtido destaque em estudos voltadas para pesquisas de pragas agrícolas. Borcard e Legendre (2002) desenvolveram um método de decomposição relativo à ordem espacial de locais de amostragem denominado Principais Coordenadas de Matrizes Vizinhas (PCNM), também conhecido como Mapas de Autovetores de Moran (MEM).

O método é capaz de detectar estruturas espaciais ou temporais de escala variada em dados de resposta, para isso, ele cria um conjunto de variáveis explicativas (ou seja, variáveis PCNM) que possuem ordem em todas as escalas compreendidas pela matriz de dados e determina para quais dessas variáveis os dados de resposta estão respondendo estatisticamente (BELLIER et al., 2007). Na figura 1.16 observamos os passos necessários para o funcionamento do método.

Figura 1.16 – Ilustração do método de análise espacial (ou temporal) baseado na análise das principais coordenadas de uma matriz truncada de Euclides entre os locais (ou tempos) de amostragem.



Fonte: O autor (2020).

Na ilustração observamos que a distância entre as amostras é representada por uma matriz de distância euclidiana, calculada a partir de dados espaciais ou temporais associados aos locais da amostra. Como o método analisará as amostras vizinhas, será estabelecida uma distância limite acima da qual as distâncias serão consideradas "grandes", qualquer distância euclidiana acima deste valor será convertida para quatro vezes o valor limite (BORCARD & LEGENDRE, 2002). Esta matriz de distância modificada será submetida à análise das coordenadas principais (PCoA).

Devido à "truncação" da matriz de distância original para criar uma matriz vizinha, a PCoA da matriz vizinha produzirá mais autovetores em relação à mesma análise feita em uma matriz de distância padrão, de forma que todos os autovetores resultantes com autovalores positivos poderão ser usados como um novo conjunto de variáveis explicativas após a realização de uma análise de regressão múltipla ou multivariada restrita (BUTTIGIEG & RAMETTE, 2014). Para se realizar a interação entre duas estruturas significativas uma nova análise estatística deve ser realizada resultando em um novo conjunto de variáveis explicativas.

Matematicamente, Dray et al. (2006) detalharam os procedimentos que geram as funções básicas do método PCNM em três etapas importantes, são elas:

- O cálculo da matriz de distância Euclidiana (geográfica) entre os N locais da amostra ($D = [d_{ij}]$);
- A escolha de um limite máximo (Lim) para a construção da matriz de distâncias truncadas ($D^* = [d^*_{ij}]$) obedecendo a seguinte regra:

$$D^* = \begin{cases} d_{ij}, & \text{se } d_{ij} \leq Lim \\ 4 \cdot Lim & \text{se } d_{ij} > Lim \end{cases}$$

- A execução da análise de coordenadas principais (PcoA) na matriz de distâncias truncadas através da diagonalização de matrizes (Δ) dada por:

$$\Delta = \left[-\frac{\tilde{1}}{2} (d_{ij}^{*2} - d_{i..}^{*2} - d_{..j}^{*2} + d_{...}^{*2}) \right] = -\frac{\tilde{1}}{2} \left(I - \frac{11^{Lim}}{N} \right) D^* \left(I - \frac{11^{Lim}}{N} \right) \quad (1.11)$$

onde

$$\Rightarrow d_i^{*2} = \frac{\tilde{1}}{N} \sum_{j=1}^N d_{ij}^{*2}, d_{..j}^{*2} = \frac{\tilde{1}}{N} \sum_{i=1}^N d_{ij}^{*2}, d_{...}^{*2} = \frac{\tilde{1}}{N} \sum_{i=1}^N d_{i..}^{*2}; \quad (1.12)$$

$$\Rightarrow D_2^* = \left[(d_{ij}^*)^2 \right]; \quad (1.13)$$

$\Rightarrow I$ é a matriz identidade;

$\Rightarrow \tilde{1}$ é um vetor contendo todos os 1's.

1.1.4.3 Variáveis explicativas associada a localização de dados igualmente espaçados.

Uma extensão espacial é frequentemente composta de dados coletados em locais de amostragem aproximadamente iguais, de maneira que a localização desses dados é usada para calcular as variáveis explicativas (GODOY, 2010). Segundo Guénard et al., (2010) em uma extensão percorrida cuja localização dos dados é igualmente espaçada as variáveis explicativas se comportam de forma senoidal em termos de intensidade, continuidade e periodicidade, de forma que na primeira variável explicativa o comprimento de onda possui um valor aproximado à extensão espacial e a para a última variável o comprimento de onda se aproxima da distância entre os locais de amostragem.

A relação existente entre o comprimento de onda (λ_i), ordem de localização (i), maior distância entre os locais da amostra (M) e a distância entre os locais dos dados (S_i), é dada pela equação:

$$\lambda_i = 2 \frac{M + S_i}{i + 1} \quad (1.14)$$

Observe que o comprimento de onda está relacionado com o tamanho das estruturas espaciais predominantes na área de estudo e, portanto, com a extensão espacial em que essas estruturas ocorrem. Por esse motivo, extensão espacial e comprimento de onda serão usados de forma permutativa (MORAES et al., 2012).

REFERÊNCIAS

- BARBOSA, F. R.; GONZAGA NETO, L.; CARVALHO, G. K. L.; CARVALHO, R. S. Manejo e controle da cochonilha ortézia (*Orthezia praelonga*), em plantios irrigados de acerola, no submédio São Francisco. **Petrolina: Embrapa Semi-Árido**,. 4 p (Embrapa Semi-Árido. Circular Técnica, 83), 2007.
- BELLIER,E. MONESTIEZ,P, DURBEC, J.P, CANDAU, J.N.I, Identifying spatial relationships at multiple scales: principal coordinates of neighbour matrices (PCNM) and geostatistical approaches. **Ecography** 30: 385_399, 2007.
- BORCARD, D, GILLET, F, LEGENDRE,P ., **Numerical Ecology with R**. Springer Science Business Media, LLC, 2011.
- BORCARD, D, LEGENDRE,P . All-scale spatial analysis of ecological data by means of principal coordinates of neighbour matrices, **Ecological Modelling** 153, 51–68, 2002.
- BUTTIGIEG PL, RAMETTE A . A Guide to Statistical Analysis in Microbial Ecology: a community-focused, living review of multivariate data analyses. **FEMS Microbiol Ecol**. 90: 543–550, 2014.
- CAMPBELL, J.F., CHING-OMA, G.P., TOEWS, M.D., RAMASWAMY, S. Spatial distribution and movement patterns of stored-product insects. **Proceedings of the 9th International Working Conference on Stored Product Protection**, Campinas, SP, Brazil, October 15-18, 2006, p. 361-370., 2006.
- CARVALHO, R.S, Sugador Mortal [Entrevista concedida a] **Cultivar: Hortaliças e Frutas**, ano VI, N° 35, 16-20, 2006.
- CESNIK R.; FERRAZ J. M. G. Biologia e controle biológico de *Orthezia praelonga*. **Manejo Integrado de Plagas y Agroecología** (Costa Rica) No. 70 p .90-96. 2003.
- CITRUSBR. Associação Nacional dos Exportadores de Sucos Cítricos. **Revista Citros**. Ano 1, número 2. 2017. Disponível em: <<http://www.citrusbr.br>> Acesso em: 17 ago. 2019.
- DRAY, S., P. LEGENDRE, AND P. R. PERES-NETO. Spatial modeling: a comprehensive framework for principal coordinate analysis of neighbor matrices (PCNM). **Ecological Modelling**, in press, 2006.
- FAEPA. AGRONEGÓCIO PARAENSE. **Federação de Agricultura e Pecuária do Pará** Disponível em: <<http://sistemafaepa.com.br/faepa/agronegocio-paraense/>>. Acesso em: 17 de ago. 2019.
- FARIAS, P. R. S. Agricultura de precisão: mapeamento da produtividade em pomares cítricos usando geoestatística. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 25, n. 2, p. 235-241, 2002.

FERNANDES, O. A; CARNEIRO, T, R; CAMPOS, A. P; OLIVEIRA, T. T; FERREIRA, M. C. F; Dispersão de *Orthezia praelonga* Douglas, 1891 (Hemiptera: Ortheziidae) causada por equipamentos de pulverização em pomar de citros. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal - SP, Vol. 29, No. 2, p. 249-253, 2007.

FORTIN, M.J, DALE, M.R.T, **Spatial Analysis: A guide for Ecologists**, Cambridge University Press, 2005.

GODOY, Bruno Spacek, **Ecologia de insetos aquáticos em córregos do Cerrado: do nicho hutchinsoniano ao distúrbio intermediário**. Orientador: Leandro Gonçalves Oliveira. 2010. 199 f. Tese (Doutorado em Ecologia e Evolução) - Universidade Feredal de Goiás -UFG , Goiânia, 2010.

GODOY, WESLEY. A. C., Modelos computacionais estimam a movimentação de pragas agrícolas: *USP e Unesp desenvolvem tecnologia que pode possibilitar o manejo mais eficiente de insetos que atacam lavouras*. **Jornal da USP/Agência Fapesp** Editorias: Ciências Agrárias – jornal.usp.br/?p=141715, 12/01/2018. Acessado em 18/09/2020.

GOUVÊA, D.D.S, FARIAS,P.R.S, MEDEIROS,W, SANTOS, A.F, SILVA, A.G. Distribuição espacial de *Praelongorthezia praelonga* em cultivo de citros em áreas de sistemas agroflorestal e convencional na Amazônia oriental. **Research, Society and development**, 2020.

GUÉNARD, G, LEGENDRE, P., BOISCLAIR, D AND BILODEAU, M. Multiscale codependence analysis: an integrated approach to analyze relationships across scales. **Ecology**, 91(10), pp. 2952–2964_ 2010 by the Ecological Society of America, 2010.

GRAVENA, S. **História do controle de pragas na citricultura brasileira**, Citrus Research & Technology, v.32, n.2, p.85-92, 2011.

GRAVENA, S. **Manejo integrado de pragas do citros**. Laranja, Cordeirópolis, n.5, p. 323-362, 1984.

GUIMARÃES, L. **Citricultura brasileira é líder mundial**. Folha do Técnico Agrícola, ano III, n°5, SINTAMIG, 2018.

IBGE. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística-IBGE**. Produção Agrícola nacional e regional. Disponível em: <<http://www2.sidra.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 16 ago. 2019.

KAIDAN, M.B, SZITA,E., New species of the genus *Ortheziola* Sulc (Hemiptera, Coccoidea, Ortheziidae). **Launched to accelerate biodiversity research - ZooKeys**, 2014.

KONDO, D.T.; PERONTI, A. L. B. G.; KOZÁR, F.; SZITA, E. **The citrus *orthezia*, *Praelongorthezia praelonga* (Douglas) (Hemiptera: Ortheziidae), a potential invasive species**. In: PEÑA, J. (Ed.). Potential Invasive Pests of Agricultural Crops: CAB International, p. 301-319, 2013.

LEGENDRE, P., & L. LEGENDRE. **Numerical ecology**. Second English edition. Elsevier Science, Amsterdam, the Netherlands, 1998.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO, MAPA. **Projeções do agronegócio**. Brasil 2017/18 A 2027/28 .Projeções De Longo Prazo, Brasília, 2018.

MORAES, L.E.S, GHERARDI, D.F.M, KATSURAGAWA,M, PAES, E.T, Brazilian sardine (*Sardinella brasiliensis* Steindachner, 1879) spawning and nursery habitats: spatial-scale partitioning and multiscale relationships with thermohaline descriptors, **ICES Journal of Marine Science**, 2012.

NEVES, M.F.; TROMBIN, V.G. **Anuário da citricultura** 2017. 1.ed. São Paulo: Citrusbr, 2017.

OLIVEIRA, F. J. DE et al. Spatial distribution of citrus leprosis in the Eastern Amazon. **Revista Ciência Agronômica**, v. 47, n. 1, p. 56–68, 2017.

PARRA, J. R. P., OLIVEIRA, A. & S. PINTO . **Guia ilustrado de pragas e insetos benéficos dos citros**. Piracicaba, FEALQ, 140p, 2003.

PRATES, H.S. **Ortézia, uma praga potencial**. Casa Agricola. 9: 16-19. 1987.

ROBBS, C. F.; **O piolho branco da laranjeira, uma ameaça da citricultura do Distrito Federal**. Rio de Janeiro, BR, Boletim do Campo 3(19):1-4. 1947.

SCHINOR ,E.H , AZEVEDO.F.A, FILHO,F.A.A.M , MENDES,B.M.J, Organogênese in vitro em algumas espécies de citrus. **Revista Brasileira de Fruticultura.**, Jaboticabal - SP, v. 33, n. 2, p. 526-531, Junho 2011.

SILVA, Anderson. Gonçalves. **Dinâmica populacional de mosca-negra-dos citros (*aleurocanthus woglumi* ashby, 1915) em pomares de citros em sistema agroflorestal e monocultura**. Orientador: Arlindo Leal Boiça Junior. 2010. 96 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, JABOTICABAL, 2010.

VEA.I. **Morphology of the Males of Seven Species of Ortheziidae (Hemiptera: Coccoidea)**. American museum novitates,Number 3812, 36 pp. , 2014.

VIEIRA, S. R.; NIELSEN, D. R.; BIGGAR, J. W. Spatial variability of field-measured in filtration rate. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, 45: 1040-48, 1983.

USDA, **United States Department of Agriculture**. Citrus: World markets and trade. Disponível em: <<http://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/citrus.pdf>>. Acesso em: 16 ago. 2019.

2 CAPÍTULO 1 – DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DE *Praelongorthezia praelonga* EM PLANTIO DE CITROS EM ÁREAS DE SISTEMAS AGROFLORESTAL E CONVENCIONAL NA AMAZÔNIA ORIENTAL

RESUMO

O estudo da distribuição espacial é importante para elaboração de planos de ajuda no monitoramento, prevenção e controle de pragas em áreas de plantios agrícolas. Os objetivos científicos destacam as vantagens da avaliação da distribuição espacial de pragas, incluindo a utilização da geoestatística como fundamental ajuda para análise e elaboração do plano de manejo integrado. Para a cochonilha de placas *Praelongorthezia praelonga* foram conduzidos ensaios em duas áreas comerciais de plantio em citros, uma de 58.240 m² do tipo agroflorestal e outra de 49.280 m² do tipo convencional, ambas localizadas em Capitão Poço, PA. As coletas foram realizadas no período de setembro de 2008 a agosto de 2009 em todas as plantas do talhão, avaliando-se a ocorrência de ninfas e/ou adultos vivos de *P. praelonga*. Realizou-se avaliações mensais observando a presença ou a ausência da praga nos dois sistemas de plantio. As áreas foram georreferenciadas e foi realizada a análise espacial através de modelos de semivariogramas e interpolação dos mapas de krigagem. O modelo de melhor ajuste aos dados foi o exponencial, com alcances variando entre 3,8 a 5,8 m para o sistema convencional e 3,3 a 7,3 m para o sistema agroflorestal. Os mapas de krigagem mostraram a distribuição espacial da praga nas áreas estudadas, indicando forte agregação em ambos os sistemas com Índice de Dependência Espacial (IDE) com valores entre 0 a 0,605 variando entre forte e moderado para todas as avaliações nos sistemas de plantio.

Palavras-chave: Geoestatística. *Citrus sinensis*. Dependência espacial. Krigagem.

ABSTRACT

The study of spatial distribution is important for the elaboration of plans to help in the monitoring, prevention and control of pests in areas of agricultural crops. The scientific objectives highlight the advantages of assessing the spatial distribution of pests, including the use of geostatistics as a fundamental aid for the analysis and development of the integrated management plan. For the *Praelongorthezia praelonga* scale insects, tests were conducted in two commercial citrus growing areas, one of 58,240 m² of agroforestry and

another of 49,280 m² of conventional type, both located in Capitão Poço, PA. The collections were carried out from September 2008 to August 2009 in all plants in the areas, evaluating the occurrence of nymphs and / or live adults of *P. praelonga*. Monthly evaluations were carried out observing the presence or absence of the pest in both planting systems. The areas were georeferenced and spatial analysis was performed using semivariogram models and interpolation of kriging maps. The best fit model for the data was exponential, with ranges ranging from 3.8 to 5.8 m for the conventional system and 3.3 to 7.3 m for the agroforestry system. Kriging maps showed the spatial distribution of the pest in the studied areas, indicating strong aggregation in both systems with Spatial Dependence Index (IDE) with values between 0 to 0.605 ranging from strong to moderate for all evaluations in two the study areas.

Keywords: Geostatistics. *Citrus sinensis*. Spatial dependence. Kriging.

2.1 Introdução

O Brasil apresenta números expressivos que traduzem a grande importância econômica e social da cadeia citrícola o que a torna de fundamental importância para a economia do agronegócio do País (BARROS, 2016). Atualmente o estado de São Paulo, o Triângulo de Minas Gerais e o Noroeste do Paraná são as regiões de maior produção nacional, destacando-se devido aos investimentos tecnológicos e a importância econômica dada à produção de frutos *in natura* e a exportação de suco concentrado (AGRIANUAL, 2019).

No Estado do Pará, a citricultura teve um forte crescimento na mesorregião do Nordeste do estado (SILVA, et al., 2015). O polo de citricultura do estado é formado pelos municípios de Capitão Poço, Garrafão do Norte, Irituia, Nova Esperança do Piriá e Ourém, sendo um pouco mais de 90% de toda a citricultura centralizada no município de Capitão Poço, cuja exportação da fruta atende outros estados, além de vários países da União Europeia (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA [IBGE], 2019).

Dentre as principais pragas causadoras de prejuízos econômicos para a produção de citros no país as cochonilhas de placas *Praelongorthezia praelonga* (Douglas, 1891) (Hemiptera: Ortheziidae) destaca-se como a principal praga fitossuccívora dos plantios de citros, devido ao difícil controle os custos de implantação e manutenção dos pomares

cítricos se tornam elevados sem contar os eventuais prejuízos decorrentes da perda de colheitas e mercados.

A cochonilha *P. praelonga* é um inseto desprovido de carapaça quitinosa, mas possui uma cera protetora sobre o corpo, tal ausência permite uma elevada movimentação na fase de ninfa e na fase adulta, provocando a sua propagação natural ao longo do plantio (CARVALHO, 2006). Seu ataque em elevadas densidades populacionais podem causar a morte da planta e se não identificada e combatida pode prejudicar todo o talhão (Kondo, 2012).

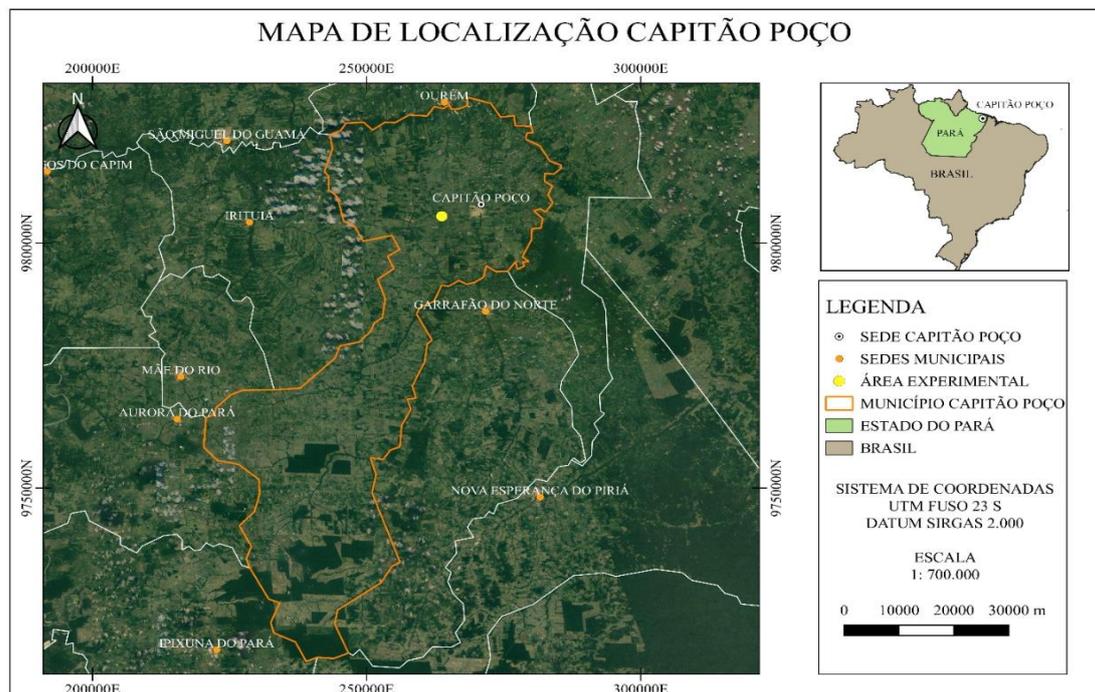
A agricultura de precisão é utilizada como importante técnica do manejo integrado de pragas e bastante aplicada para pragas sugadoras, pois torna possível o mapeamento em diferentes áreas do plantio localizando os focos de infestação da praga (GÓNGORA-CANUL, et al., 2018). A principal metodologia para a confecção de mapas é a geoestatística, que usa semivariogramas alinhados para mapear a infestação da praga no plantio e assim implementar ações de combate e redução da população da praga (FARIAS, et al., 2018). Neste estudo, aplicou-se a geoestatística como meio de controle da praga, através de avaliações da distribuição espacial da *P. praelonga* em dois sistemas de plantio de citros, um agroflorestal e outro convencional, no nordeste do estado do Pará.

2.2 Material e Métodos

2.2.2 Identificação da área de estudo e amostragem

O experimento foi conduzido durante a safra agrícola 2008/2009, em uma área comercial localizada no município de Capitão Poço no estado do Pará, na Amazônia Oriental (Coordenadas geográficas da sede da Fazenda: 01° 45 '15" S, 47° 07' 30" W) (Figura 2.1). O clima é caracterizado pela ocorrência de temperaturas elevadas, acompanhadas de muita umidade. A temperatura mínima oscila entre 22°C e 23°C e a máxima entre 30°C e 34°C. A umidade relativa do ar está entre 85% a 91% com chuvas abundantes e pluviosidade de 2.250 a 2.500 mm anuais. As chuvas não se distribuem igualmente durante o ano, sendo a maior concentração no período de janeiro a junho (80%) (MARTORANO et al., 1993).

Figura 2.1 – Mapa de localização dos sistemas de plantio agroflorestal e convencional de laranja (*C. sinensis*). Capitão Poço, Pará, Brasil.



Fonte: O autor (2020).

Os sistemas de plantio comerciais são do tipo agroflorestal e convencional com mesma variedade de laranjeiras “Pêra Rio” (*Citrus sinensis* Osbeck), porta-enxerto limão cravo (*Citrus limonia* Osbeck) com altura média de 2,20 m, plantadas em espaçamentos de 5 x 7 m, apresentando 7 anos de idade. No sistema agroflorestal as laranjeiras estavam distribuídas em 32 fileiras, sendo 52 plantas de citros por fileira, totalizando 1664 plantas de citros em 58.240 m², o que corresponde a 89,9% da área total do sistema (Figura 2.2A). Já o sistema de plantio convencional foi disposto em 32 fileiras com 44 plantas por fileira, em um total de 1408 plantas distribuídas em uma área de 49.280 m² (Figura 2.2B). Para ambos os sistemas a densidade de plantio foi de 285 laranjeiras por hectare.

O sistema agroflorestal ainda contava com a presença de Teca (*Tectona grandis* L.f.) que estavam dispostas a cada três linhas do plantio de citros, totalizando 11 fileiras com Teca, e a cada 3 plantas de citros totalizando 187 plantas de Teca, o que correspondendo a 10,1% da área total. A digitalização das plantas das áreas experimentais foi feita pelo software SURFER 14.0 (Golden Software), que facilitou a visualização de uma base da imagem. Foi usado como referência os pontos coletados pelo GPS nos extremos das quadras (Figura 2.3) e para a coleta dos pontos utilizou-se no período de avaliação um receptor GPS V Plus, fabricado pela Garmin.

Para construção da base de imagem foram utilizadas as coordenadas (latitude e longitude) dos talhões nos dois sistemas de plantio. As coordenadas (ponto) utilizadas no trabalho foram transformadas para o sistema UTM (Universal Transversa de Mercator), seguindo o sistema das coordenadas retangulares, seguindo a metodologia de FARIAS et al. (2003).

Figura 2.2 – Visualização do sistema de plantio (A) agroflorestal com laranja (*C. sinensis*) e Teca (*T. grandis*) e (B) convencional com laranja (*C. sinensis*). Capitão Poço, Pará, Brasil.



Fonte: O autor (2020).

Figura 2.3 – Croqui das áreas experimentais dos sistemas de plantio agroflorestal e convencional. Capitão Poço, Pará, Brasil.



Fonte: O autor (2020).

As áreas experimentais receberam adubação de acordo com análise de solos considerado às exigências nutricionais da cultura dos citros, não se utilizou inseticida no

período das avaliações de *P. praelonga*. O controle de plantas daninhas foi feito por meio de roçadeira mecânica nas ruas do pomar e com uso de herbicida nas linhas de plantio. Para o município de Capitão Poço os dados climáticos médios mensais como precipitação pluviométrica (mm) e temperatura (°C) foram obtidos junto à estação meteorológica da empresa Cítricos do Pará S.A (CITROPAR). Fatores abióticos importantes como as variáveis: Umidade Relativa (UR%) e velocidade do vento na área experimental não foram estudadas por falta de dados da região do presente estudo.

Realizaram-se avaliações mensais no período de setembro de 2008 a agosto de 2009. O levantamento populacional foi realizado em condições de campo em 100% das plantas do talhão, avaliando-se a presença ou ausência de ninfas e/ou adultos vivos de *P. praelonga*. Todas as plantas foram vistoriadas, com as avaliações sendo feitas nos quadrantes norte, sul, leste e oeste, anotando-se presença da praga com o número um (1) ou ausência com o número zero (0), nos dois sistemas de plantio.

2.2.3 Análises estatísticas

Para o número de plantas com presença de *Praelongorthezia praelonga* calculou-se o índice de infestação mensal (%) e foram realizadas correlações para analisar este índice com as variáveis precipitação pluviométrica (mm) e temperatura (°C). Para a comparação entre os sistemas de plantio fez-se análise de variância (ANOVA), usou-se delineamento experimental inteiramente ao acaso (DIC), com dois tratamentos (sistemas de plantio) e doze repetições (meses de amostragem). Os dados de amostragem foram submetidos à análise de variância pelo teste de KOLMOGOROV–SMIRNOV para avaliar a normalidade dos mesmos e quando significativo as médias foram comparadas pelo teste TUKEY a 5% de probabilidade. Para construção do banco de dados para as análises da distribuição espacial, gráficos e tabelas, foi usado o software Microsoft EXCEL 2016.

2.2.4 Geoestatística

A análise de dependência espacial foi feita com o uso da geoestatística e classificada de acordo com os intervalos propostos por Cambardella et al., (1994), onde se pôde modelar a distribuição espacial existente entre os focos de infestação de *P. praelonga*. Foram testados os modelos matemáticos esférico, o exponencial, o gaussiano e o efeito de furo para o ajuste do semivariograma experimental através da variância dos dados da

amostra, encontrando os parâmetros: efeito pepita (C_0), o patamar ($C_0 + C_1$) e o alcance da dependência espacial (a). Para a escolha do modelo de melhor ajuste utilizou-se o maior coeficiente de determinação (R^2). Comprovada a dependência espacial foi possível realizar as interpolações por krigagem e mapear a ocorrência da praga nos dois sistemas de plantio. Para a elaboração e ajustes dos semivariogramas experimentais aos modelos matemáticos e construção dos mapas de krigagem foi utilizado o software SURFER 14.0 (Golden Software).

2.3 Resultados e Discussão

Em todos os meses avaliados, em ambos os sistemas de plantio, a *Praelongorthezia praelonga* esteve presente nas plantas, entretanto foram apresentadas diferenças nos índices de infestação, os valores máximos e mínimos apresentados foram 64,7 % e 38,1 % para o sistema agroflorestal e 74,4 % e 39,3 % para o sistema convencional conforme mostra a figura 2.4. Os resultados obtidos na análise de variância estão dentro da normalidade segundo o teste de Kolmogorov-Smirnov, além disso eles mostram que o sistema convencional apresentou média de infestação de *P. praelonga* maior ($p < 0,05$), com média de 63,96%, enquanto que a média de infestação do sistema agroflorestal foi de 52,28% das plantas com a presença da praga.

O coeficiente de variação (CV%) foi de 17,44 %, um valor considerado baixo para experimentos de campo, estando de acordo com Gomes (2000) que recomenda na estatística, em condições de campo experimental, que o limite máximo razoável para o coeficiente de variação deve ser de 30% (Tabela 2.1).

Tabela 2.1: Análise de variância para os níveis de infestação de *Praelongorthezia praelonga* os sistemas de plantio agroflorestal e convencional. Capitão Poço, Pará, Brasil.

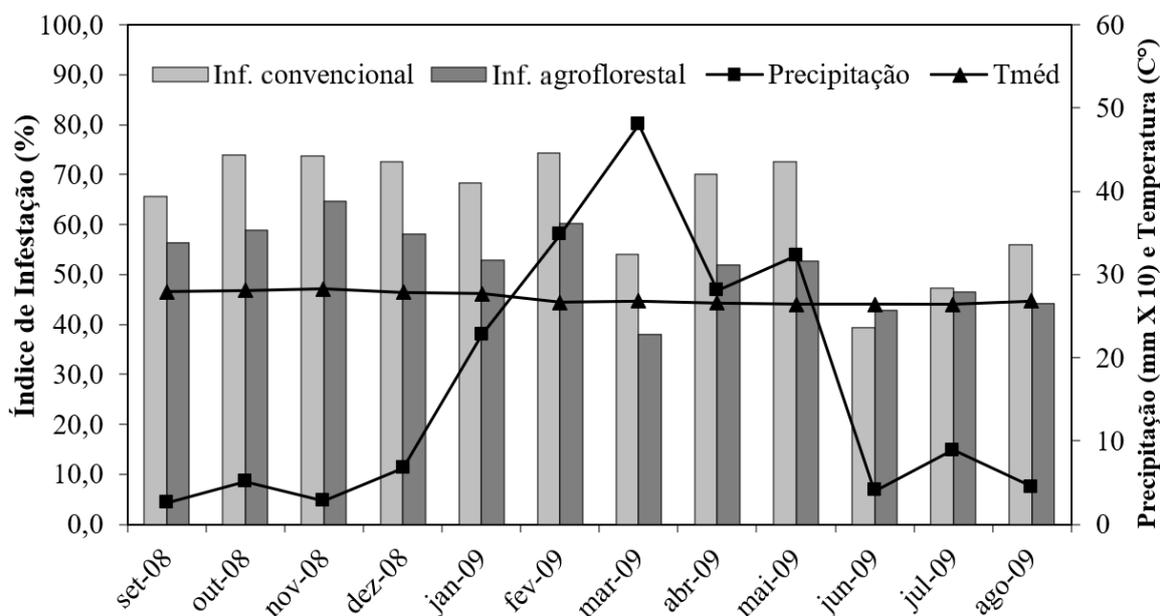
Fonte de Variação	GL	SQ	QM	F	Prob
Sistema de Plantio	1	820,17	820,17	7,979	0,0099**
Resíduo	22	2.261,52	102,80		
CV (%) = 17,44 %					
Sistema de Plantio				Média	
Convencional				63,96 a	
Agroflorestal				52,28 b	

Fonte: O autor (2020).

**Médias comparadas teste Tukey a 5 % de probabilidade de erro.

As maiores infestações de *P. praelonga* ocorreram no sistema convencional em onze dos doze meses avaliados, outubro, novembro, dezembro de 2008 e fevereiro, abril e maio de 2009 foram os meses que apresentaram maior infestação a menor infestação foi observada em junho de 2009, já para o sistema de plantio agroflorestal a *P. praelonga* apresentou as maiores infestações nos meses de setembro, outubro, novembro, dezembro de 2008 e fevereiro de 2009 e as menores nos meses de março e junho de 2009 (Figura 2.4). Cesnik e Ferraz (2003) citam em estudos que a temperatura ótima para o desenvolvimento da *P. praelonga* é ao redor de 25 °C, no presente estudo a temperatura média geral foi de 27,2 °C, ou seja, a praga encontrou condições favoráveis de desenvolvimento durante todo o período avaliado.

Figura 2.4 – Níveis de infestação de *Praelongorthezia praelonga* com temperatura e precipitação. Capitão Poço, Pará, Brasil.



Fonte: O autor (2020).

Para cada amostragem realizada foi gerado um semivariograma experimental, sendo assim foram ajustados ao total 24 semivariogramas, 12 para cada um dos sistemas de plantio, sendo que dentre todos os modelos experimentais testados o modelo que melhor se ajustou foi o modelo exponencial (Tabela 2.2). Autores como Brandão, et al., (2017) apresentaram pesquisas onde o modelo exponencial é considerado um bom estimador a ser usado na distribuição espacial de insetos pragas para a geração de mapas de krigagem.

Tabela 2.2: Infestação da *Praelongorthezia praelonga*, parâmetros ajustados do semivariograma exponencial, coeficiente de determinação (R^2) e parâmetro IDE. Capitão Poço, Pará, Brasil.

¹ Época	Sistema de plantio agroflorestal								Sistema de plantio convencional							
	² Inf (%)	³ Md	Parâmetros			⁷ Área (m ²)	⁸ R ²	⁹ IDE	Inf (%)	Md	Parâmetros			Área (m ²)	R ²	IDE
			⁴ C ₀	⁵ C ₁	⁶ a(m)						C ₀	C ₁	a(m)			
set/08	56,4	Exp	0,040	0,202	3,5	38,48	0,98	0,165	65,6	Exp	0,066	0,164	4,2	55,42	0,95	0,287
out/08	58,9	Exp	0,080	0,155	4,5	63,62	0,98	0,340	73,9	Exp	0,040	0,155	4,0	50,27	0,97	0,205
nov/08	64,7	Exp	0,115	0,105	7,0	153,94	0,97	0,523	73,8	Exp	0,062	0,136	5,2	84,95	0,97	0,313
dez/08	58,1	Exp	0,100	0,138	6,5	132,73	0,98	0,420	72,5	Exp	0,038	0,161	4,8	72,38	0,99	0,191
jan/09	52,8	Exp	0,110	0,133	6,0	113,10	0,99	0,453	68,4	Exp	0,030	0,186	4,5	63,62	0,98	0,139
fev/09	60,2	Exp	0,000	0,236	4,1	52,81	0,98	0,000	74,4	Exp	0,030	0,160	4,0	50,27	0,82	0,158
mar/09	38,1	Exp	0,080	0,156	6,0	113,10	0,95	0,339	54,0	Exp	0,100	0,146	3,8	45,36	0,91	0,407
abr/09	52,0	Exp	0,130	0,117	5,6	98,52	0,96	0,526	70,0	Exp	0,060	0,150	4,0	50,27	0,94	0,286
mai/09	52,6	Exp	0,120	0,123	6,9	149,57	0,96	0,494	72,6	Exp	0,070	0,130	4,2	55,42	0,97	0,350
jun/09	42,8	Exp	0,000	0,240	3,3	34,21	0,98	0,000	39,3	Exp	0,040	0,198	4,2	55,42	0,97	0,168
jul/09	46,6	Exp	0,050	0,190	4,2	55,42	0,99	0,208	47,3	Exp	0,083	0,166	5,1	81,71	0,95	0,333
ago/09	44,2	Exp	0,150	0,098	7,3	167,42	0,95	0,605	55,9	Exp	0,080	0,166	5,8	105,68	0,96	0,325

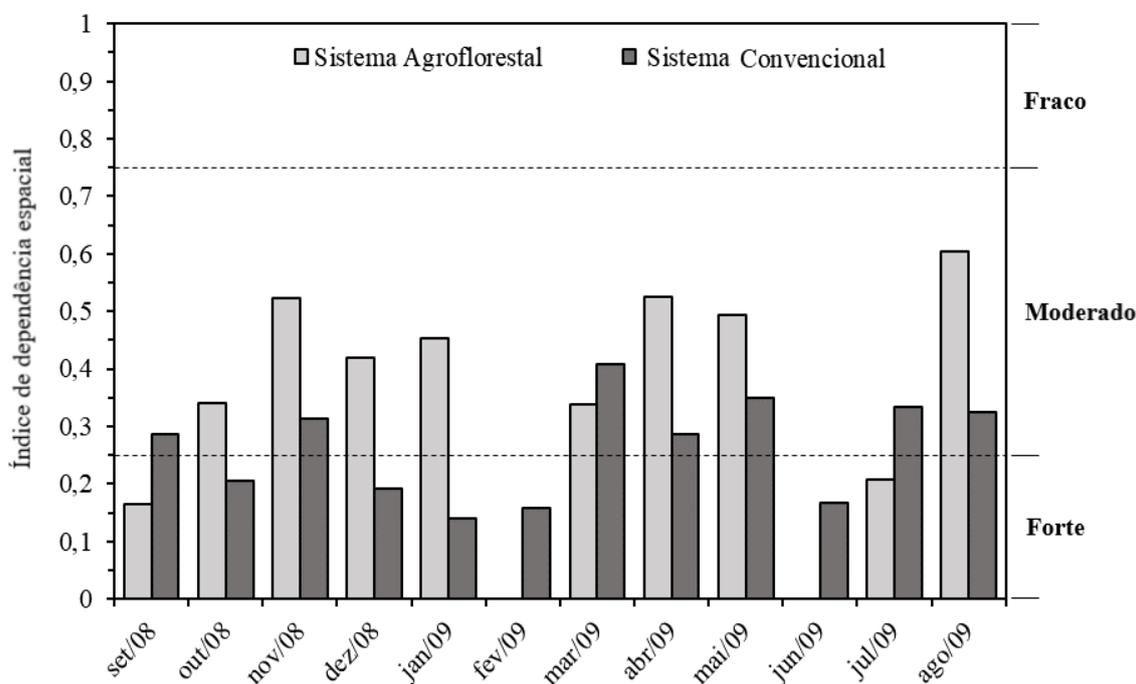
Fonte: O autor (2020).

¹Mês da Amostragem; ²Inf (%) nível de infestação dada pela relação plantas com presença de *P. praelonga*/total de plantas; ³modelo; ⁴efeito pepita; ⁵variância espacial; ⁶alcance (metros); ⁷ áreas dada pela relação $\pi \cdot r^2$ ($r = a$); ⁸Índice de determinação (Valores próximos a 1 indicam bom ajuste) e ⁹Índice de dependência espacial dado pela relação $C_0/(C_0+C_1)$.

Ao longo dos 12 meses avaliados, a precipitação foi mais elevada no período de janeiro a maio de 2009, com maior média em março de 2009 atingindo 480 mm, sendo que neste mês o nível de infestação nas plantas por *P. praelonga* foi menor nos dois sistemas de plantio, uma provável explicação seria a influência que a chuva possui como agente de controle natural apesar da proteção do ovissaco da praga, tais situações já foram observadas por Silva (2010) em estudos relacionados à Mosca-Negra-dos citros (*Aleurocanthus Woglumi* Ashby).

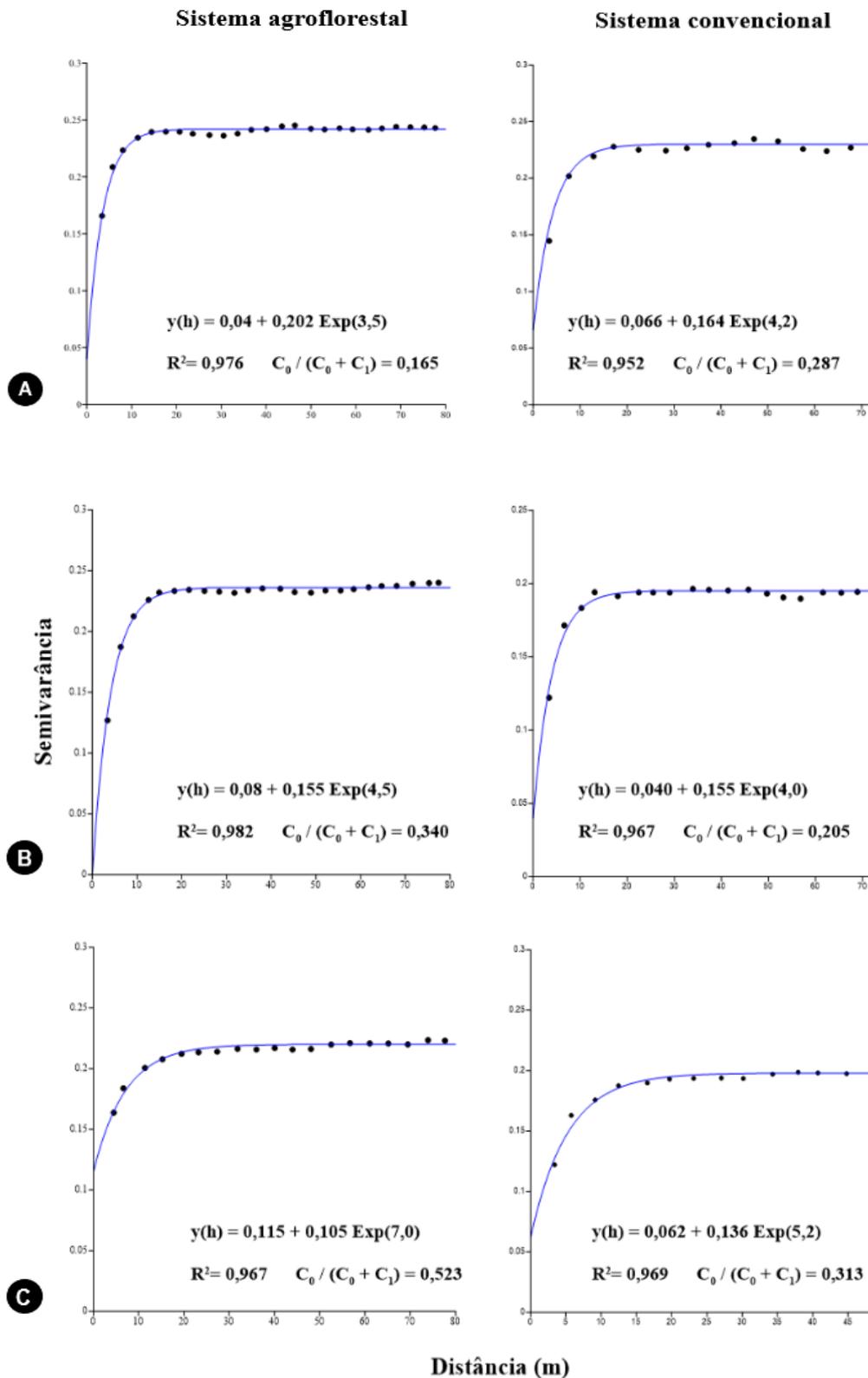
O alcance da dependência espacial foi uma informação considerada importante, no sistema agroflorestal houve variação de 3,3 a 7,3 m sendo representado por uma área de influência de 34,21 a 167,42 m², já para sistema convencional a variação foi de 3,8 a 5,8 m com área de 45,36 a 105,68 m². Os valores dos índices de dependências espaciais (IDE) variaram de 0 a 0,605, ou seja, entre forte (IDE < 0,25) e moderado (0,25 < IDE < 0,75) conforme mostra a figura 2.5.

Figura 2.5 – Índice de dependência espacial dos semivariogramas ajustados, a partir da presença e ausência de *Praelongorthezia praelonga* nos sistemas de plantio agroflorestal e convencional. Capitão Poço, Pará, Brasil.



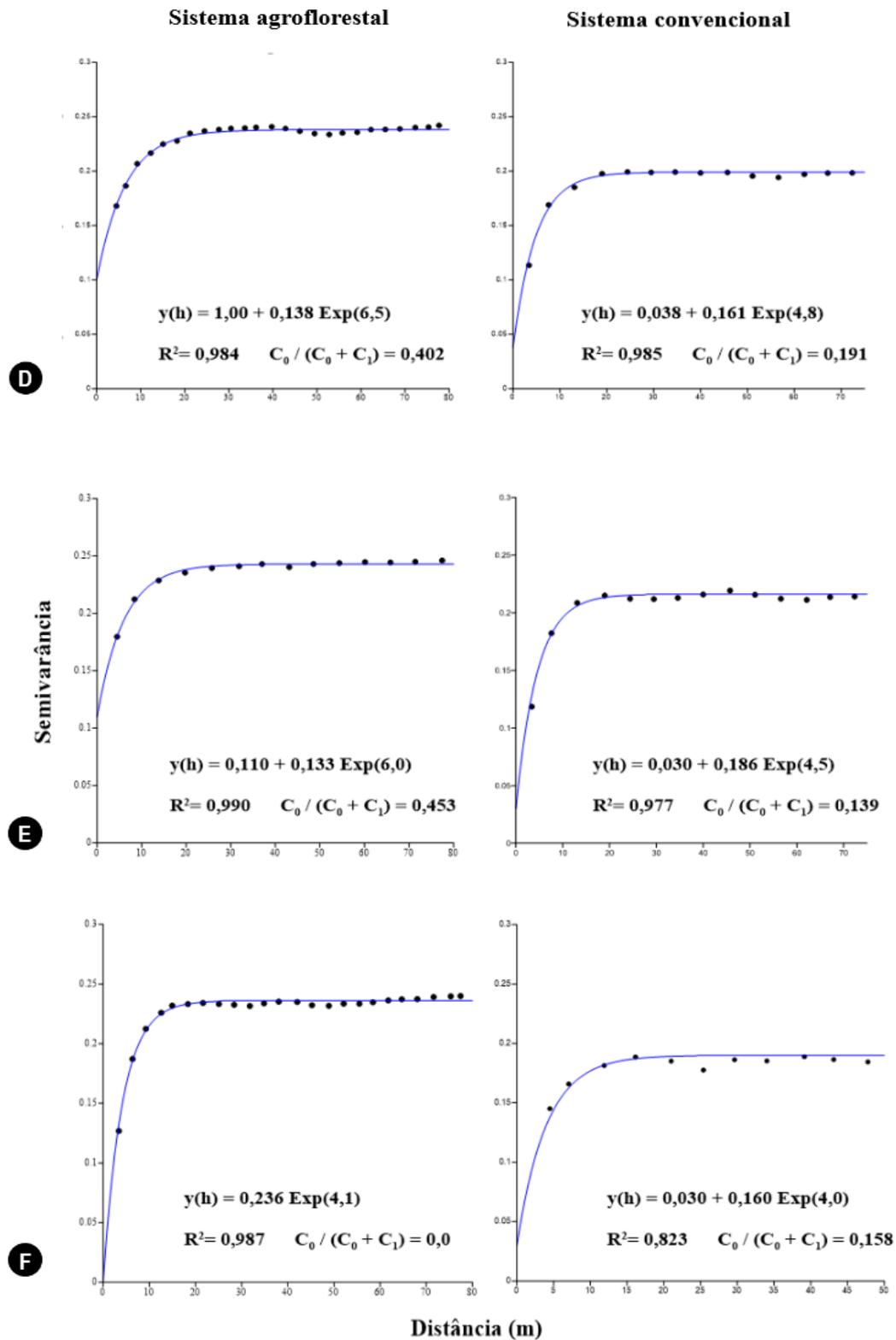
Fonte: O autor (2020).

Figura 2.6 – Semivariogramas ajustados de *Praelongorthezia praelonga* nos sistemas de plantio agroflorestal e convencional nos meses de setembro (A), outubro (B), novembro (C) de 2008. Capitão Poço, Pará, Brasil.



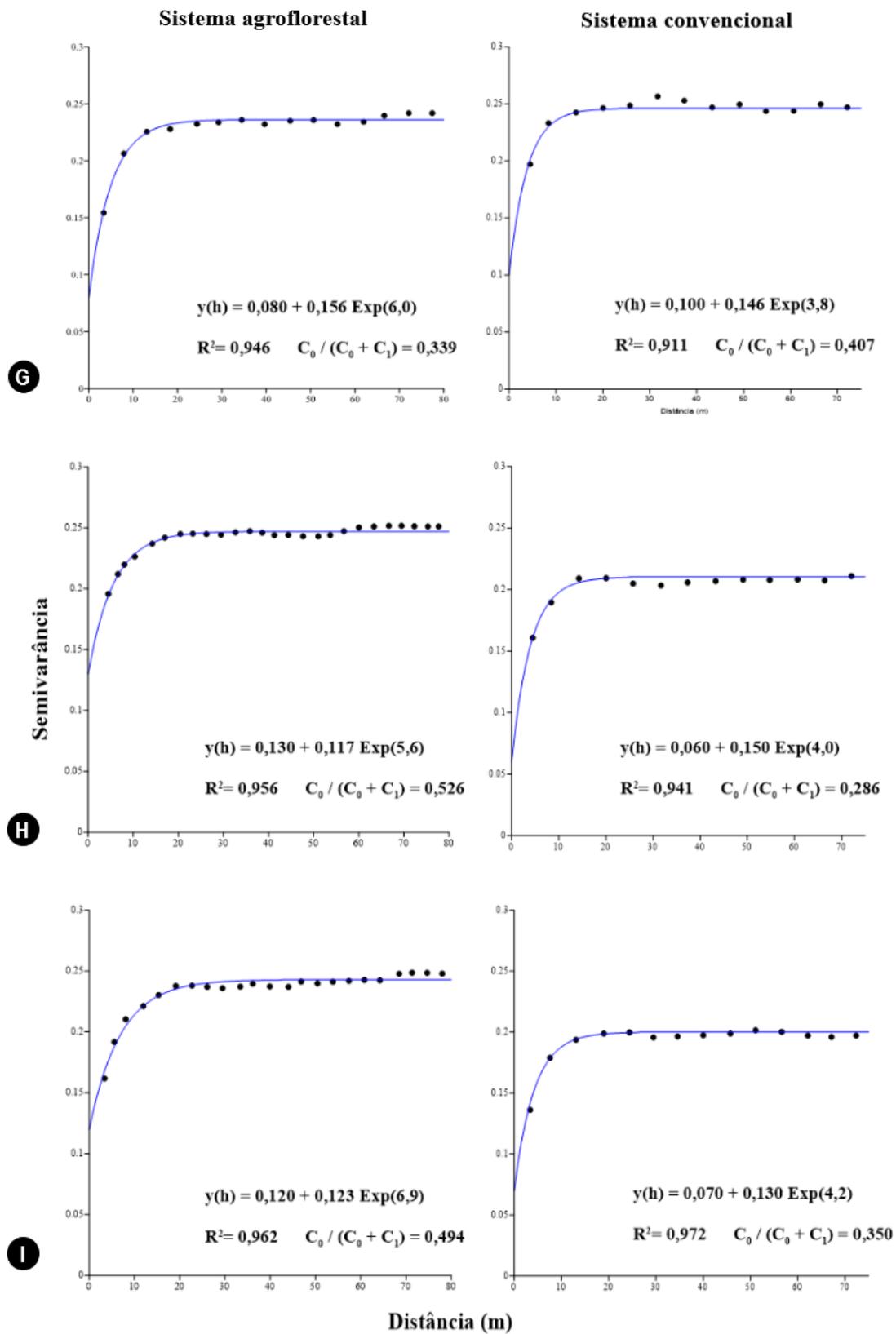
Fonte: O autor (2020).

Figura 2.7 – Semivariogramas ajustados de *Praelongorthezia praelonga* nos sistemas de plantio agroflorestal e convencional nos meses de dezembro (D) de 2008, janeiro (E) e fevereiro (F) de 2009. Capitão Poço, Pará, Brasil.



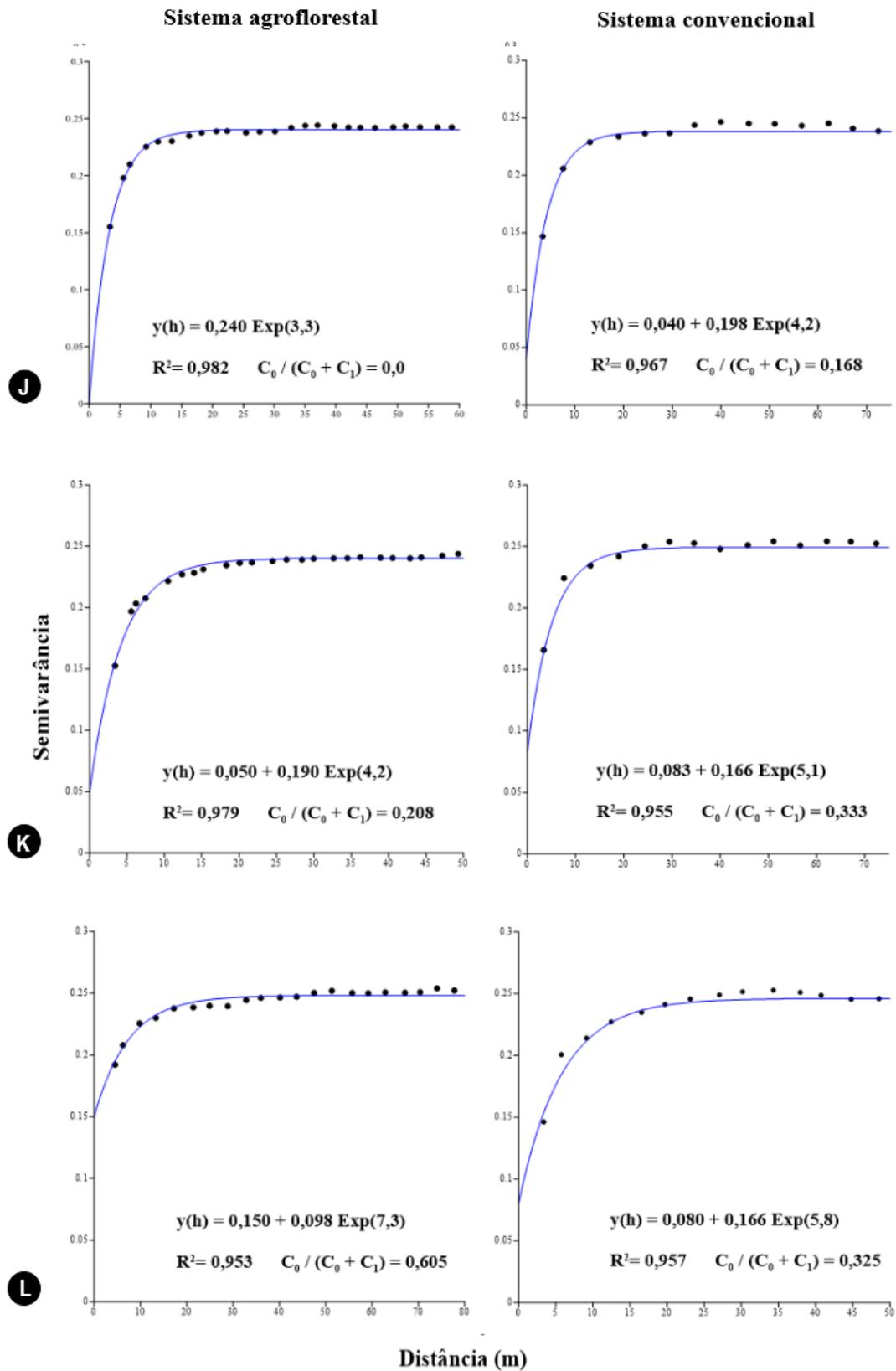
Fonte: O autor (2020).

Figura 2.8 – Semivariogramas ajustados de *Praelongorthezia praelonga* nos sistemas de plantio agroflorestal e convencional nos meses de março (G), abril (H) e maio (I) de 2009. Capitão Poço, Pará, Brasil.



Fonte: O autor (2020).

Figura 2.9 – Semivariogramas ajustados de *Praelongorthezia praelonga* nos sistemas de plantio agroflorestal e convencional nos meses de junho (J), julho (K) e agosto (L) de 2009. Capitão Poço, Pará, Brasil.

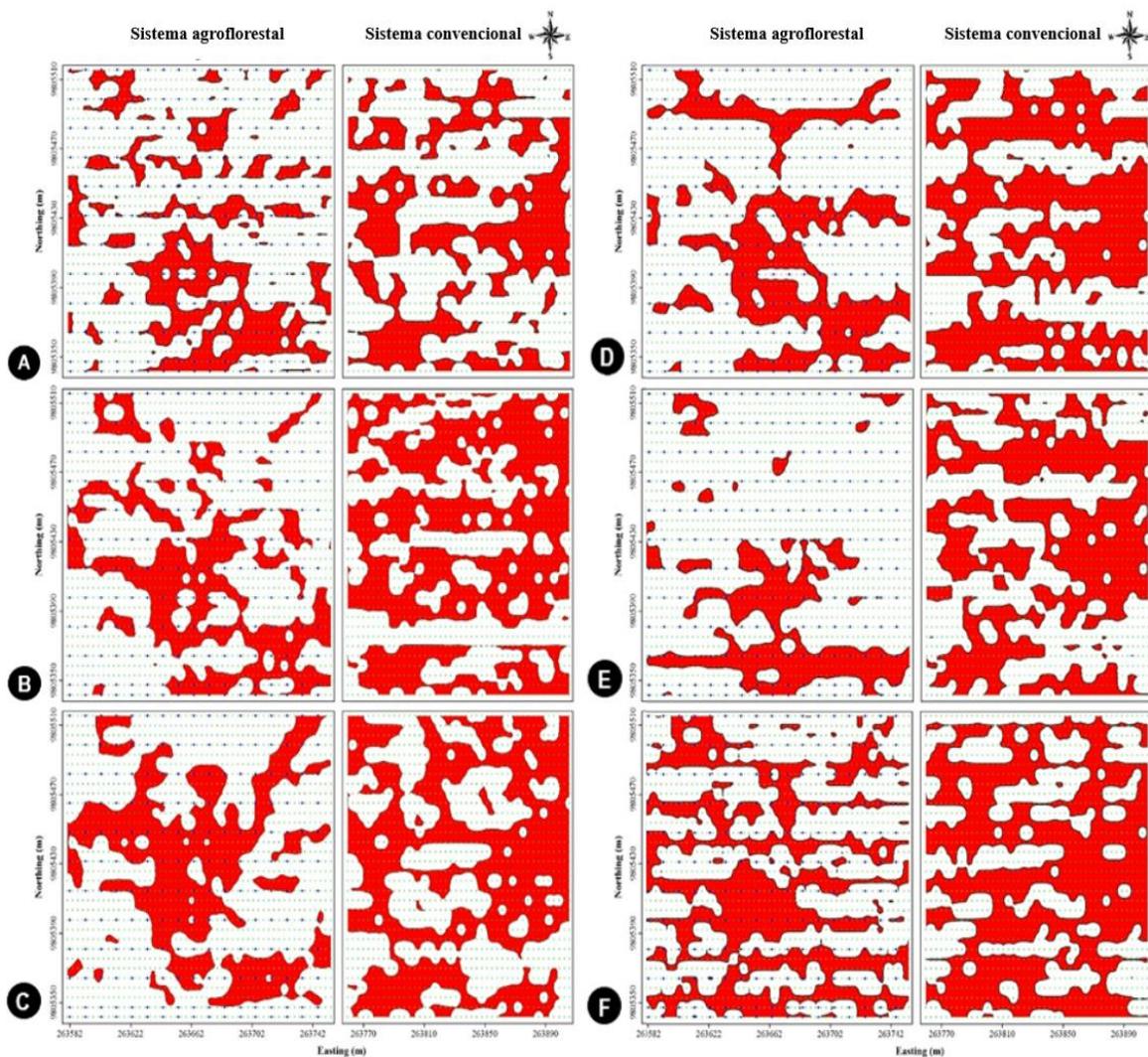


Fonte: O autor (2020).

Os semivariogramas dos meses de fevereiro e junho de 2009 do sistema agroflorestal mostram que não foi detectada a dependência espacial IDE = 0 pelo fato de $C_0 = 0$ (efeito pepita puro) o que indicando a aleatoriedade da praga ou início da infestação da mesma.

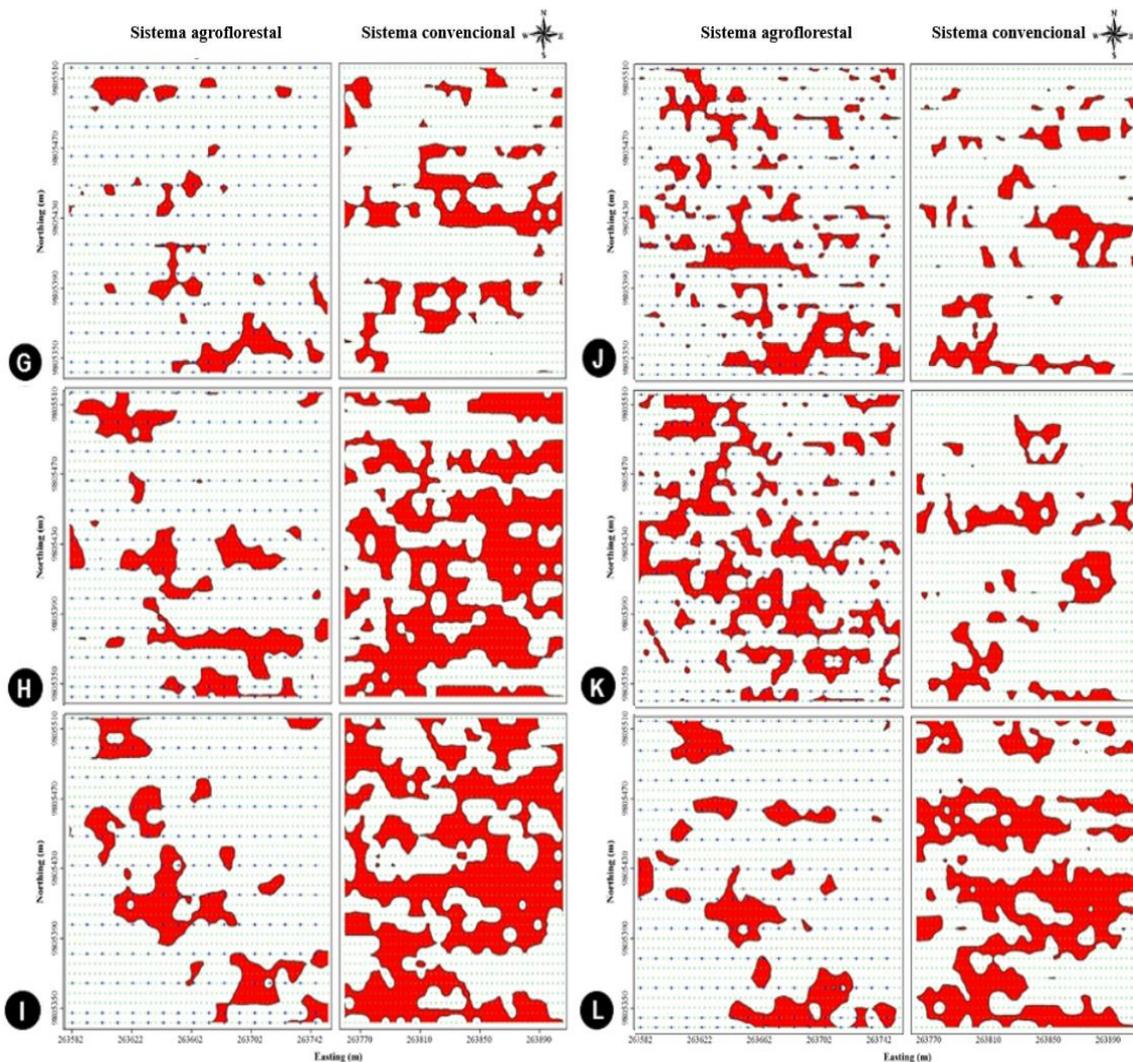
Os resultados dos mapas de krigagem na figura 2.10, mostram que as populações de *P. praelonga* apresentam distribuição do tipo agregada em ambos os sistemas de plantio mostrando uma dependência espacial de infestação planta a planta. A figura 2.11 mostra que nos meses de março até agosto de 2009 ocorreu baixos níveis de dispersão em ambos os sistemas de plantio.

Figura 2.10 – Mapas de krigagem da distribuição espacial de *Praelongorthezia praelonga* nos sistemas de plantio agroflorestal e convencional nos meses de setembro (A), outubro (B), novembro (C) e dezembro (D) de 2008, janeiro (E) e fevereiro (F) de 2009. Capitão Poço, Pará, Brasil.



Fonte: O autor (2020).

Figura 2.11 – Mapas de krigagem da distribuição espacial de *Praelongorthezia praelonga* nos sistemas de plantio agroflorestal e convencional nos meses de março (G), abril (H), maio (I), junho (J), julho (K) e agosto (L) de 2009. Capitão Poço, Pará, Brasil.



Fonte: O autor (2020).

A evidência mensal de uma distribuição agregada mostra a infestação principalmente em relação a linha de plantio, isso pôde ser observado através do modelo de semivariograma exponencial ajustado. Em sua pesquisa Fernandes et al. (2006) aponta que por ser áptera, a principal forma de disseminação de ninfas e fêmeas adultas no plantio se dá por meio do movimento passivo, pelo vento, e do trânsito de máquinas e caminhões, do material de colheita (escadas e sacolas), das roupas, das mudas infestadas e dos implementos agrícolas.

É possível constatar nos mapas de krigagem, que nos meses iniciais do experimento, setembro, outubro, novembro e dezembro de 2008 aconteceram as maiores incidências de infestação da *P. praelonga* nos dois sistemas de plantio, isso é decorrente

da época que é mais quente na região e com baixos níveis de precipitação. A infestação da praga continua elevada, em ambos os sistemas, nos meses de janeiro e fevereiro de 2009 apesar do reflexo das chuvas acentuadas e alta pluviosidade. Dessa forma, acredita-se que a presença das plantas de teca no sistema de plantio agroflorestal pode ter atenuado o nível de infestação da praga dentro da área experimental nestes dois meses.

A comparação dos mapas de krigagem, no período avaliado, entre os índices de infestação de *P. praelonga* nos dois sistemas de plantio mostrou que o sistema agroflorestal apresentou as menores taxas de infestação quando comparado ao sistema convencional, com exceção do mês de junho que apesar de apresentar a menor taxa se mostrou próximo da taxa de infestação do sistema convencional.

2.4 Conclusões

Foi possível determinar o comportamento espacial agregado da *P. praelonga* nos dois sistemas de plantio através da observação de reboleiras formadas.

A temperatura média da região influenciou diretamente na regulação populacional da praga nos dois sistemas de plantio durante o período avaliado.

O número de plantas com presença de *P. praelonga* foi reduzido devido a altas precipitações pluviométricas nos meses de março, abril, maio, junho, julho e agosto.

Os mapas de krigagem mostraram que as infestações de *P. praelonga* não se distribuíram em 100% da superfície dos dois sistemas de plantio, tal informação mostra a aplicabilidade necessária para o produtor direcionar as medidas de controle nas áreas específicas de infestação.

REFERÊNCIAS

- AGRIANUAL. **Anuário da Agricultura Brasileira**. São Paulo: Fnp Consultoria & Comercio, 472p., 2019.
- BARROS,G.S.C, MIRANDA,S.H.G, OSAKI,M, ALVES,L.,R.A, ADAMI, A.O, NISHIKAWA, M.E, PEREZ, F.C, LIM,F.F., RIBEIRO,R.G, **Mensuração Econômica da incidência de pragas e doenças no Brasil**. Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada (CEPEA).Esalq-USP, 2019.
- BRANDÃO, A. D. S., FARIAS, P. R. S., DIONÍSIO, L. F. S., TINÔCO; R. S., SILVA, A. G., SILVA, T. A. F. Spatial and Temporal Distribution of *Opsiphanes invirae* (Lepidoptera: Nymphalidae) in oil palm, Pará State, Brazil. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**. volume 12, n.4, p.464-469,2017.
- CAMBARDELLA, C. A., MOORMAN, T. B., NOVAK, J. M., PARKIN, T. B.,KARLEN, D. L., TURCO, R. F. & KONOPKA, A. E. **Field-Scale variability of soil properties in central Iowa soils**. Soil Science Society of America Journal, volume.58, 1994.
- CARVALHO, R.S, Sugador Mortal [Entrevista concedida a] **Cultivar: Hortaliças e Frutas**, ano VI, N° 35, 16-20, 2006.
- CESNIK R.; FERRAZ J. M. G. Biología e controle biológico de *Orthezia praelonga*. **Manejo Integrado de Plagas y Agroecología** (Costa Rica) n.70 p .90-96, 2003.
- FARIAS, P. R. S.; NOCITI, L. A. S.; BARBOSA, J. C.; PERECIN, D. Agricultura de precisão: mapeamento da produtividade em pomares de cítricos usando geoestatística. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 25, n. 2, p. 235-241, 2003.
- FARIAS, P. R. S., HARADA, A.Y., FILGUEIRAS, C.C., LIMA, B. G., SALES, T. M., SILVA, A. G., & SOUZA, B. H. S. Mapping *Azteca barbifex* Forel (Hymenoptera: Formicidae) Dispersal in Georeferenced Orange (*Citrus Sinensis* [L.] Osbeck) Orchard in the eastern Amazon, Brazil. **Insectes Sociaux**, 2018.
- FERNANDES, O. A; CARNEIRO, T, R; CAMPOS, A. P; OLIVEIRA, T. T; FERREIRA, M. C. F; Dispersão de *Orthezia praelonga* Douglas, 1891 (Hemiptera: Ortheziidae) causada por equipamentos de pulverização em pomar de citros. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal - SP, Vol. 29, No. 2, p. 249-253, 2007.
- GÓNGORA-CANUL, C. C., MARTÍNEZ-SEBASTIÁN, G., AGUILERA-CAUICH, E. A., UC-VARGUEZ, A., LÓPEZ-PUC, G., & PÉREZ-HERNÁNDEZ, O, Spatio-Temporal Dynamics of Mealybug (Hemiptera: Pseudococcidae) Populations in Plantations of *Jatropha Curcas* L. in Yucatan, Mexico. **Industrial Crops and Products**, volume 117, p.110-117., 2017.12.070., 2018.
- GRAVENA, S. História do controle de pragas na citricultura brasileira, **Citrus Research & Technology**, v.32, n.2, p.85-92, 2011.

GUILLERMO, L. M., & TAKUMASA, K. Insectos y Ácaros de los cítricos: Compendio Ilustrado de Especies Dañinas y Benéficas, con técnicas para el Manejo Integrado de Plagas. 2ª Ed. **Colección Nuevo Conocimiento Agropecuario**. Mosquera, Colombia, 2017.

IBGE. Indicadores Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística: Produção Agrícola (2019). Recuperado de www.ibge.gov.br.

KONDO, T., PERONTI, A. L., KOZAR, F., & SZITA, E. Los insectos escama asociados a los cítricos, con énfasis en *Praelongorthezia praelonga* (Douglas) (Hemiptera: Coccoidea: Ortheziidae) in cítricos: Cultivo, poscosecha e industrialización. Colombia: **Editorial Artes y Letras Sas**, p.173-189, 2012.

LEGENDRE, P., & L. LEGENDRE. **Numerical ecology**. Second English edition. Elsevier Science, Amsterdam, the Netherlands., 1998.

MARTORANO, L. Estudos climáticos do Estado do Pará, classificação climática (Köppen) e deficiência hídrica, **Thornthwhite**, 1993.

PARRA, J. R. P., OLIVEIRA, A. & S. PINTO. **Guia ilustrado de pragas e insetos benéficos dos citros**. Piracicaba, FEALQ, 140p, 2003.

SILVA, Anderson. Gonçalves. **Dinâmica populacional de mosca-negra-dos citros (*aleurocanthus woglumi ashby, 1915*) em pomares de citros em sistema agroflorestal e monocultura**. Orientador: Arlindo Leal Boiça Junior. 2010. 96 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho”, JABOTICABAL, 2010.

SILVA, A. G., FARIAS, P. R. S., BOIÇA JÚNIOR, A. L., LIMA, B. G., PONTE, N. H. T., PINHO, R. C., & BARBOSA, R. S. Análise espacial da Mosca-Negra em sistema agroflorestal de citros. **Comunicata scientiae**, volume 6, n.3, p.350-358, 2015.

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

3 CAPÍTULO 2 – EFEITO DA COMPLEXIDADE DO HABITAT SOBRE A VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DA COCHONILHA DE PLACAS *Praelongorthezia praelonga* EM PLANTIOS DE CITROS

RESUMO

Estudos sobre movimentos de insetos pragas levam à questionamentos sobre o comportamento do mesmo e a importância desta movimentação na dinâmica populacional da espécie. O monitoramento de uma praga em uma área agrícolas fornece uma fonte conveniente de dados para estudar o seu movimento em uma determinada região. Este trabalho teve como objetivo avaliar os efeitos causados pela velocidade de propagação da cochonilha de placas *Praelongorthezia praelonga* em dois sistemas de plantio de citros, um agroflorestal e outro convencional, localizados no polo citrícola do município de Capitão Poço, Pará. Foi utilizada uma análise de regressão logística múltipla para quantificar as interações existentes relacionando variações espaciais e temporais com a ocorrência da praga nos plantios. Os resultados avaliados mostraram que as maiores movimentações ocorreram no sistema convencional com as maiores interações, diferente do sistema agroflorestal que apresentou baixa movimentação da *P. praelonga* indicando a heterogeneidade do ambiente como fator que dificulta a rapidez com que a praga se propaga ao longo do plantio agrícola.

Palavra-chave: Movimento. Variáveis PCNM. Interação espaço-tempo. Pragas.

ABSTRACT

Studies on insect pest movements lead to questions about its behavior and the importance of this movement in the population dynamics of the species. Monitoring a pest in an agricultural area provides a convenient source of data to study its movement in a given region. This work aimed to evaluate the effects caused by the propagation speed of the scale of the *Praelongorthezia praelonga* plate in two citrus cultivation systems, an agroforestry and a conventional one, for a period of 12 months. The region is located in the citrus pole of the municipality of Capitão Poço, Pará. A multiple logistic regression analysis was used to quantify the existing interactions relating spatial and temporal variables with the occurrence of the pest in citrus plantations. The evaluated results showed that the biggest movements occurred in the conventional system with greater

interactions found, differently from the agroforestry system that presented low movement of *P. praelonga* indicating the heterogeneity of the environment as a factor that hinders the propagation speed of the pest at planting.

Keyword: Movement. PCNM variables. Space-time interaction. Pests.

3.1 Introdução

O aumento de pragas agrícolas e doenças em plantações nos últimos anos tem sido um dos principais problemas econômicos da agricultura no Brasil (BARROS et al, 2019). A movimentação das pragas dentro dos plantios agrícolas é um desafio para seu controle despertando grande interesse em criar estratégias capazes de reduzir os danos causados pragas e conter sua expansão pelas lavouras (GODOY, 2018). A compreensão sobre como as pragas agrícolas, principalmente insetos, se movimentam dentro de grandes áreas é essencial para o manejo integrado, mesmo porque não se sabe onde, quando e por que elas se movem (MALAQUIAS et al, 2017). Tal movimento está relacionado à variação no espaço e no tempo e como consequência as populações de pragas agrícolas desenvolvem padrões de ocupação espaço-temporal bastante complexas (WANG et al, 2009). Por isso, em estudos sobre a dinâmica populacional de pragas, as escalas espacial e temporal devem ser sempre consideradas simultaneamente, permitindo a determinação de épocas e locais do ataque às culturas agrícolas (STINNER, 1986).

A forma como se desenvolve um modelo estatístico espaço-temporal para o movimento de um organismo depende de vários fatores, entre eles o habitat em que se encontra (CÁRDENAS, 2002). Entre as áreas de produção agrícola, os sistemas agroflorestais (SAFs) se assemelham aos sistemas naturais, com comunidades com maior diversidade de insetos, em decorrência do aumento do número de habitats e do menor uso de agrotóxicos. (FELDENS, 2018). Assim, espera-se que os níveis de infestação de pragas agrícolas sejam menores em um sistema agroflorestal quando comparados a outros tipos de sistemas como o direto ou convencional, pois no sistema agroflorestal existe uma maior variedade de recursos para as pragas em função da maior diversidade de plantas, além de ter mais inimigos naturais, predadores, parasitas ou competidores que auxiliam no controle biológico das pragas (SILVA, 2010).

Neste estudo, uma abordagem diferente foi usada para quantificar o movimento da cochonilha de placas *Praelongorthezia praelonga*, que é do tipo picador-sugador e costuma agir retirando a seiva de seus hospedeiros, enfraquecendo-os e ocasionando a

queda prematura de folhas e frutos. O aparecimento de vários surtos dessa praga em plantações de citros tem se tornado uma preocupação entre os produtores da região Nordeste do estado do Pará, Brasil. Um modelo estatístico foi desenvolvido a partir de observações do comportamento da praga em dois tipos de sistemas de plantio comercial para avaliar fatores que causam rápida, ou lenta propagação da praga. Assim, este trabalho teve como objetivo avaliar os efeitos causados pela velocidade de propagação da cochonilha de placas *Praelongorthezia praelonga* nestes dois sistemas de plantio de citros, um agroflorestal e outro convencional, localizados no polo citrícola do município de Capitão Poço. Os resultados dessa nova abordagem poderão ajudar o monitoramento, prevenção e controle futuro de *P.praelonga* em plantações de citros e de outras culturas.

3.2 Materiais e Métodos

3.2.2 Área de estudo

O estudo foi realizado na Fazenda Santana localizada no município de Capitão Poço no estado do Pará, na Amazônia Oriental (Coordenadas geográficas da sede da Fazenda: 01° 45 '15" S, 47° 07' 30" W). Essa região é caracterizada pela predominância de Latossolo Amarelo de textura média, ácido e, em geral, com baixa fertilidade natural. (Andrade et.al, 2017). O clima é classificado como AMI segundo Köppen, com temperatura média anual de aproximadamente 25° C e precipitação pluviométrica próxima a 2.250 mm anuais, com maior concentração de janeiro a junho, representando cerca de 80% do total. A umidade relativa do ar gira em torno de 85% (KOPPEN, 1948).

Os sistemas comerciais de plantio são do tipo agroflorestal e convencional com a mesma variedade de laranjeiras “Pêra Rio” (*Citrus sinensis Osbeck*), porta-enxerto de cravo-da-índia (*Citrus limonia Osbeck*) com altura média de 2,20 m, plantadas em espaçamento de 5 x 7 m, apresentando 7 anos de idade. No sistema agroflorestal, as laranjeiras estavam distribuídas em 32 fileiras, com 52 citros por fileira, totalizando 58.240 m², o que corresponde a 89,9% da área total. A presença de plantio de Teca (*Tectona grandis Lf*) é arranjada para cada três linhas de plantio de citros, totalizando 11 linhas com Teca, e para cada 3 plantas de citros totalizando 187 plantas de Teca, o que corresponde a 10,1% da área total do sistema agroflorestal. O sistema convencional foi organizado em 32 fileiras com 44 plantas por fileira, distribuídas em uma área de 49.280 m². Para ambos os sistemas, a densidade de plantio foi de 285 laranjeiras por hectare.

3.2.3 Monitoramento de *Praelongorthezia praelonga*

A presença e ausência de ninfas e adultos vivos de *P. praelonga* foi monitorada mensalmente pelo período de 1 ano, setembro de 2008 a agosto de 2009, em todas as plantas de citros do talhão nos dois sistemas de plantio, onde observou-se principalmente os ramos internos que são os preferidos da praga. Cada planta, de citros e Teca, teve sua localização espacial conhecida (utilizando-se o espaçamento da cultura).

3.2.4 Análises estatísticas

3.2.4.1 Padrões espaciais e temporais

Para avaliar os efeitos causados pela velocidade de propagação da *P. praelonga* na sua dinâmica populacional nos dois sistemas de plantio foram criadas variáveis explicativas, tanto espaciais quanto temporais, calculadas pelo método das Principais Coordenadas de Matrizes Vizinhas (*Principal Coordinates of Neighbor Matrices* - PCNM) (BORCARD & LEGENDRE, 2002; BORCARD et al., 2011).

Foram usadas as coordenadas geográficas (latitude, longitude) como eixos espaciais das parcelas do talhão de onde foram calculadas matrizes de distâncias euclidianas, essas distâncias são então decompostas em um novo conjunto de variáveis espaciais independentes (e, portanto, ortogonais). Essas variáveis podem então ser usadas como variáveis explicativas em uma análise restrita apropriada, e aquelas que mostram poder explicativo significativo podem então ser incorporadas a modelos que levam em conta diferentes escalas espaciais de variação. A mesma abordagem foi usada para obter os dados da PCNM temporal onde foram calculados os eixos temporais correspondentes e determinados pelo período de monitoramento (unidade meses) resultando em valores conhecidos como variáveis explicativas temporais.

Para encontrar a velocidade de propagação de *P. praelonga* no espaço-tempo, foi usado como análise restrita um modelo de regressão logística múltipla utilizando a função *logit* para que a variável “ocorrência” assumira os valores de 0 ou 1, dado por:

$$\begin{aligned} & \bullet O_j \sim N(\mu_i, s) \\ & \bullet \mu_i = \text{logit}(y_j) \end{aligned} \tag{3.1}$$

$$\bullet y_j = a + T_1 \sum_{i=1}^L b_i E_i + T_2 \sum_{i=1}^L c_i E_i + \dots + T_t \sum_{i=1}^L k_i E_i \tag{3.2}$$

Onde O_j é a ocorrência da espécie no período j , E_i os eixos espaciais, com $i \in \{1, 2, \dots, 10, \dots, L - 2, L - 1, L\}$ sendo L o número de autovetores, T_i o número de eixos temporais e a, b_i, c_i, \dots, k_i os parâmetros da regressão.

Foi calculada a matriz PCNM espacial do estudo, porém devido a grande quantidade de eixos espaciais encontrados (1160 eixos para o sistema agroflorestal e 982 eixos para o sistema convencional) optou-se pela utilização dos 10 primeiros e dos 10 últimos eixos com autocorrelação espacial positiva em cada sistema de plantio sendo representado por $E_i \in \{E_1, E_2, \dots, E_{10}, E_{L-10}, E_{L-9}, \dots, E_L\}$. Tal proposta metodológica foi utilizada visando conseguir observar padrões tanto nas maiores quanto nas menores escalas possíveis, pois sendo o número de eixos muito grande iria tornar a análise e a interpretação dos resultados inviável e muito complexa.

Da mesma maneira foi criada a matriz PCNM temporal sendo encontrados 7 eixos em ambos os sistemas de plantio, em seguida as variáveis temporais foram selecionadas relacionando a ocorrência de *P.praelonga* com uma sequência de dados dos eixos da matriz PCNM em cada planta do sistema, de onde foram extraídas 3 variáveis $\{T_1, T_4, T_7\}$ para o sistema de plantio agroflorestal e 6 variáveis $\{T_1, T_2, T_3, T_4, T_6, T_7\}$ para o sistema de plantio convencional, todas com autocorrelação temporal positiva.

Para avaliar a qualidade de ajuste do modelo de regressão logística foi utilizada a medida de proporção global de acertos que inicialmente considera os valores estimados das variáveis explicadas definidos pela seguinte regra:

$$PGA = \frac{n_{11} + n_{22}}{n_1 + n_2} \quad (3.3)$$

sendo n_{11} , n_{22} , n_1 e n_2 os elementos da chamada matriz de confusão dada na tabela 3.1.

Tabela 3.1: Matriz de confusão

		Estado estimado		
		ausência	presença	Total
Estado observado	ausência	n_{11}	n_{12}	n_1
	presença	n_{21}	n_{22}	n_2

Fonte: Adaptada de Mingoti (2007)

Na tabela foi representado o número de elementos observados no período i e estimados no período j como ausência (0) e presença (1), ou seja, $(i, j) = (ausência, presença)$. Para interpretação foram selecionadas as variáveis espaciais que tiveram interação com as variáveis temporais.

As análises foram realizadas utilizando o ambiente R, no pacote VEGAN (2020). Utilizou-se apenas as coordenadas principais com autovalores positivos como descritoras espaciais e temporais no processo de decomposição da variação em relação aos elementos das matrizes PCNM. Segundo Borcard & Legendre (2002), os autovalores negativos não podem ser utilizados porque seus eixos são formados por números complexos.

Para este estudo os limites físicos das extensões espaciais e os períodos igualmente espaçados λ_i foram calculados através das distâncias médias entre os locais de amostragem (S_i) que foram calculadas pela média aritmética das distâncias geográficas entre todos os pares possíveis de locais de dados amostrais vizinhos, considerando as relações de transferências definidas pelo critério de vizinhança relativa. Os valores de M obtidos foram determinados com base na distância geográfica média entre os locais de amostragem mais ao sul e mais ao norte, calculada para cada planta em cada sistema de cultivo. De maneira análoga foram realizados os cálculos para os períodos (meses) da estrutura temporal, com M sendo o tempo máximo, S_i os valores médios entre os meses e i a posição do eixo.

3.3 Resultados e Discussão

Os resultados obtidos pelos modelos, de acordo com a metodologia de escolha das variáveis espaciais, mostraram que o número de interações espaço-temporais existentes nos sistemas de plantio, foram de 5 interações para o sistema de plantio agroflorestal e 12 interações para o sistema de plantio convencional (Tabela 3.2).

A dispersão da cochonilha de placas *Praelongorthezia praelonga* ocorreu mais rapidamente no sistema de plantio convencional devido ao maior número de interações, o que representa maior movimentação da praga e conseqüentemente maior infestação durante o período analisado. Em sistemas mais heterogêneos, como o agroflorestal, a movimentação é menor indicando infestações também menores. Entre os fatores que podem estar interferindo na infestação da cochonilha *P. praelonga* no sistema de plantio agroflorestal, destaca-se o efeito de barreira, conforme estudos feitos por Rao, Singh e Day (2000). Esses autores ainda acrescentam que os componentes do sistema atuam protegendo herbívoros e inimigos naturais. Citam, ainda, que as práticas agroflorestais possivelmente contribuam para a proteção do sistema ao auxiliar no estabelecimento de inimigos naturais dos insetos pragas, porém, reconhecem que o assunto deve ser investigado com mais cuidado.

Na tabela 3.2 observa-se que no sistema agroflorestal a *P. praelonga* atinge valores maiores em períodos de tempo também maiores, ocorrendo o mesmo para valores e períodos de tempo menores. No sistema convencional a movimentação da praga se comporta de maneira senoidal, indo do maior valor para o menor conforme o período de tempo avaliado aumenta, confirmando a teoria descrita por Guénard et al., (2010).

Tabela 3.2: Estimativas dos parâmetros, erros-padrão e z-valores dos modelos logísticos usados para obter as variáveis PCNM significativamente relacionadas.

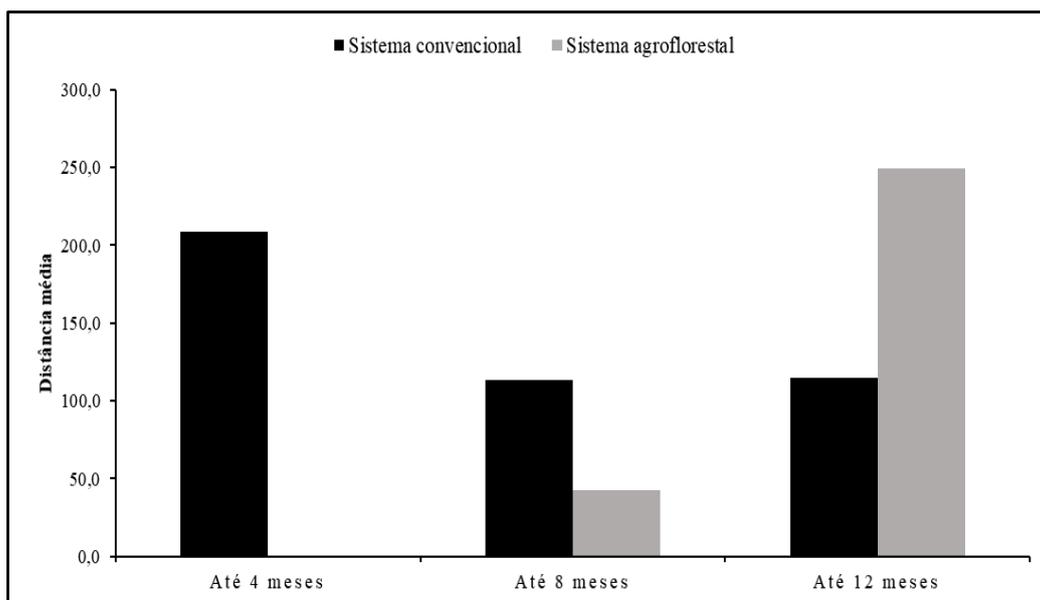
Sistema de plantio agroflorestal				
Extensão (metros: meses) / PCNM				
	Estimate	Std. error	z value	Pr(> z)
(Intercept)	0,09	0,01	6,38	< 0,01 ***
388,20 : 12 / E1:T1	-7,21	2,01	-3,58	0,01 ***
225,46 : 12 / E2:T1	5,71	2,01	2,84	0,01 **
135,28 : 12 / E4:T1	9,20	2,01	4,57	0,01 ***
84,55 : 4,8 / E7:T4	7,95	2,01	3,95	0,01 ***
0,58 : 4,8 / E1154:T4	4,55	2,01	2,26	0,02 *
Sistema de plantio convencional				
Extensão (metros: meses) / PCNM				
	Estimate	Std. Error	z value	Pr(> z)
(Intercept)	0,57	0,01	35,90	< 0,01 ***
208,58 : 12 / E2:T1	-4,93	2,09	-2,35	0,02 *
156,44 : 12 / E3:T1	-8,30	2,09	-3,96	0,01 ***
78,22 : 12 / E7:T1	6,03	2,09	2,88	0,01 **
69,52 : 12 / E8:T1	5,46	2,09	2,60	0,01 **
62,57 : 12 / E9:T1	-4,16	2,09	-1,98	0,04 *
208,58 : 8 / E2:T2	4,38	2,09	2,09	0,03 *
156,44 : 6 / E3:T3	5,91	2,09	2,82	0,01 **
69,52 : 6 / E8:T3	-5,35	2,09	-2,55	0,01 *
62,57 : 6 / E9:T3	5,10	2,09	2,43	0,01 *
56,88 : 6 / E10:T3	-4,80	2,09	-2,29	0,02 *
125,15 : 4,8 / E4:T4	5,04	2,09	2,40	0,01 *
208,58 : 3,4 / E2:T6	-5,33	2,09	-2,54	0,01 *

Fonte: O autor (2020).

A qualidade de ajuste do modelo que avaliou os parâmetros de movimento da praga, mostrou proporção global de acerto igual a 52,4 % para o sistema de plantio agroflorestal e 64 % para o sistema de plantio convencional, indicando um bom o ajuste por parte dos modelos de regressão adotados. Gouvêa et al., (2020) obteve resultados semelhantes quando utilizou a geoestatística como ferramenta de avaliação da distribuição espacial da *P.praelonga* em plantio de citros.

As distancias médias percorridas por *P. praelonga* foram maiores nos primeiros 4 meses (distância média de 200 m) no sistema convencional, caindo 50% em até 8 e 12 meses; o contrário foi observado no sistema agroflorestal, onde a distância média percorrida foi observada quando concluído os 12 meses de observação, não sendo observado movimento nos 4 primeiros meses (Figura 3.1).

Figura 3.1 – Distribuição de frequência das médias das distâncias alcançadas pela *Praelongorthezia praelonga* em intervalos de 4 meses nos dois sistemas de plantio.



Fonte: O autor (2020).

Os dados sugerem um padrão de movimento proporcional para os dois sistemas de tal forma que a velocidade de propagação aumenta com o aumento da distância entre os locais de amostragem ou diminui quando a distância entre os locais de amostragem também diminui.

3.4 Conclusões

Foi possível observar através das interações obtidas pelo modelo apresentado e pelas representações gráficas o comportamento espaço-temporal da cochonilha de placas *Praelongorthezia praelonga* nos dois sistemas de plantio mostrando que as maiores velocidades de propagação nas infestações ocorreram no sistema convencional, quando comparado ao sistema agroflorestal.

Apesar da proximidade geográfica os dois sistemas de plantio apresentaram diferenças no comportamento de propagação da praga, tanto espacial quanto temporal o que classifica o tipo de habitat agrícola como influenciador direto na movimentação populacional da praga durante o período avaliado.

REFERÊNCIAS

- BARROS,G.S.C, MIRANDA,S.H.G, OSAKI,M, ALVES,L,R.A, ADAMI, A.O, NISHIKAWA, M.E, PEREZ, F.C, LIM,F.F., RIBEIRO,R.G, Mensuração Econômica da incidência de pragas e doenças no Brasil. **Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada** (CEPEA).Esalq-USP, 2019.
- BORCARD, D, GILLET, F, LEGENDRE,P , **Numerical Ecology with R**. Springer Science Business Media, LLC, 2011.
- BORCARD, D, LEGENDRE,P . All-scale spatial analysis of ecological data by means of principal coordinates of neighbour matrices, **Ecological Modelling** 153, 51–68, 2002.
- CÁRDENAS, R. R, **Modelagem da distribuição espaço-temporal da broca do café (Hypothenemus hampei Ferrari) em uma cultura da região central colombiana**. Dissertação de Mestrado. Esalq/USP, Piracicaba, 2002.
- CARVALHO, R.S, Sugador Mortal [Entrevista concedida a] **Cultivar: Hortaliças e Frutas**, ano VI, N° 35, 16-20, Dezembro 2005/ Janeiro 2006.
- DRAY, S., P. LEGENDRE, P. R. PERES-NETO. Spatial modeling: a comprehensive framework for principal coordinate analysis of neighbor matrices (PCNM). **Ecological Modelling**, in press, 2006.
- FELDENS, L. **O homem, a agricultura e a história**, 1ª Edição, Ed Univates, Lajeado, 2018.
- FERNANDES, O.A, CARNEIRO, T.R, CAMPOS, A.P, OLIVEIRA, T.T, FERREIRA, M.C., Dispersão de *Orthezia prelonga* Douglas, 1891 (Hemiptera: Ortheziidae) causada por equipamentos de pulverização em pomar de citros. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal - SP, v. 29, n. 2, p. 249-253, 2007.
- GODOY, WESLEY. A. C., Modelos computacionais estimam a movimentação de pragas agrícolas: *USP e Unesp desenvolvem tecnologia que pode possibilitar o manejo mais eficiente de insetos que atacam lavouras*. **Jornal da USP/Agência Fapesp** Editorias: Ciências Agrárias – jornal.usp.br/?p=141715, 12/01/2018. Acessado em 18/09/2020.
- GOUVÊA, D.D.S, FARIAS,P.R.S, MEDEIROS,W, SANTOS, A.F, SILVA, A.G. Distribuição espacial de *Praelongorthezia praelonga* em cultivo de citros em áreas de sistemas agroflorestal e convencional na Amazônia oriental. **Research, Society and development**, 2020.
- GRIFFITH,D ,A. P. R. PERES-NETO, Spatial Modeling in Ecology: The flexibility of eigenfunction spatial analyses. **Ecology**, 87(10), pp. 2603–2613 by the Ecological Society of America, 2006.

GUÉNARD, G, LEGENDRE, P., BOISCLAIR, D AND BILODEAU, M. Multiscale codependence analysis: an integrated approach to analyze relationships across scales. **Ecology**, 91(10), pp. 2952–2964 by the Ecological Society of America, 2010.

KONDO, T. SZITA, E. The citrus orthezia, *Praelongorthezia praelonga* (Douglas) (Hemiptera: Ortheziidae), a potential invasive species. **Potential Invasive Pests of Agricultural Crops** (ed. J. Peña). CAB International 2013.

KOPPEN, W. **Climatologia: con un estudio de los climas de la tierra**. México: Fondo de Cultura Economica, 1948. 478p.

LEGENDRE, P., BORCARD, D. & PERES-NETO, P.R. Analyzing beta diversity: partitioning the spatial variation of community composition data. **Ecology**, 75, 435–450, 2005.

LEGENDRE, P., AND L. LEGENDRE. **Numerical ecology**. Second English edition. Elsevier Science, Amsterdam, The Netherlands. 1998.

MALAQUIAS, J. B. , GODOY W. A. C. , GARCIA ,A. G. ,RAMALHO F. S., OMOTO ,C. Larval Dispersal of *Spodoptera frugiperda* Strains on Bt Cotton: A Model for Understanding Resistance Evolution and Consequences for its Management. **Scientific reports**, 2017.

MINGOTI, S.A. **Análise de dados através de métodos de estatística multivariada: Uma abordagem aplicada**, Belo Horizonte, Editora UFMG, 2007.

MORAES, L.E.S, GHERARDI, D.F.M, KATSURAGAWA, M, PAES, E.T, Brazilian sardine (*Sardinella brasiliensis* Steindachner, 1879) spawning and nursery habitats: spatial-scale partitioning and multiscale relationships with thermohaline descriptors, **ICES Journal of Marine Science**, 2012.

PARRA, J.R.P., H.N. OLIVEIRA & A. DE S. PINTO. 2003. **Guia ilustrado de pragas e insetos benéficos dos citros**. Piracicaba, FEALQ, 140p.

RAO, M.; SINGH, M.; DAY, R. Insect pest problems in tropical agroforestry systems: Contributory factors and strategies for management. **Agroforestry Systems**, v. 50, n. 3, p. 243-277, 2000.

SILVA, A.G, **Dinâmica populacional de Mosca-Negra-dos citros (*Aleurocanthus Woglumi* Ashby, 1915) em Pomares de Citros em Sistema Agroflorestal e Monocultura**. Dissertação de Mestrado. UNESP, Jaboticabal, 2010.

STINNER R. E., SAKS. M ,DOHSE, L. **Modeling of Agricultural Pest Displacement. Insect Flight: Dispersal and Migration** Edited by W. Danthanarayana, Springer-Verlag Berlin Heidelberg 1986.

WANG.C, LI. D, HU .Y, WU. X, QI.Y., Research of spatio-temporal analysis of agricultural pest, **international Symposium on Spatial Analysis, Spatial-Temporal Data Modeling, and Data Mining**, 2009.

CONCLUSÃO GERAL

O presente trabalho concluiu que para um controle satisfatório o manejo deve ser elaborado com base no conhecimento do comportamento da cochonilha de placas *Praelongorthezia praelonga* nas áreas de plantio. A geoestatística mostrou importantes respostas através dos mapeamentos das áreas experimentais, como a distribuição espacial agregada independentemente do sistema de cultivo de citros avaliado, assim como a análise de variáveis PCNM que através das interações resultantes da ocorrência da praga com o habitat em que elas se encontravam mostrou que em um sistema heterogêneo a movimentação é menor indicando assim menores infestações da praga.

Os resultados encontrados por ambos os métodos são fundamentais para o manejo integrado da *Praelongorthezia praelonga*, pois a complementação das informações obtidas pode elaborar estratégias que ajudem na minimização dos custos de produção de citros na região de Capitão Poço.

De forma geral as avaliações mostraram que a modelagem de insetos se concentra em apenas um único componente do sistema, a praga, ao invés de todo o sistema de produção da cultura. Sugerimos o pensamento sistêmico como uma abordagem possível para vincular safras, pragas e condições de habitat para fornecer uma avaliação mais abrangente da produção de safras agrícolas.