



ISSN: 2230-9926

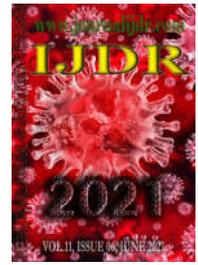
Available online at <http://www.journalijdr.com>

# IJDR

International Journal of Development Research

Vol. 11, Issue, 06, pp. 48273-48279, June, 2021

<https://doi.org/10.37118/ijdr.22211.06.2021>



RESEARCH ARTICLE

OPEN ACCESS

## GEOESTATÍSTICA APLICADA À FITOSSANIDADE: ESTADO DA ARTE E PERSPECTIVAS FUTURAS PARA O ESTADO DO PARÁ, BRASIL

\*Luiz Antonio Soares Cardoso, Paulo Roberto da Silva Farias and João Almiro Corrêa Soares

Universidade Federal Rural da Amazônia, Brasil

### ARTICLE INFO

#### Article History:

Received 06<sup>th</sup> March, 2021  
Received in revised form  
18<sup>th</sup> April, 2021  
Accepted 26<sup>th</sup> May, 2021  
Published online 30<sup>th</sup> June, 2021

#### Key Words:

Agricultura de Precisão,  
Variabilidade Espacial,  
Inovação de Processo.

\*Corresponding author:

Luiz Antonio Soares Cardoso

### ABSTRACT

O objetivo deste trabalho foi a realizar um levantamento bibliográfico do que já foi produzido de pesquisa sobre o uso da Geoestatística para a análise espacial de ataques fitossanitários no estado do Pará, Brasil e, desta forma, demonstrar como o estado vem lidando com a utilização desta ferramenta inovadora para solução de problemas fitossanitários identificados no cotidiano das culturas desenvolvidas no estado, como forma de otimizar o processo produtivo, diminuir despesas e aumentar a produtividade das culturas. A pesquisa foi realizada com base em repositórios de trabalhos acadêmicos, sites de revistas científicas e de indexadores oficiais. Como resultado, percebeu-se que a Geoestatística ainda é pouco utilizada no estado para a finalidade pesquisada, sendo possível a identificação de apenas 7 municípios onde já foram publicados trabalhos a respeito (Acará, Moju, Santa Izabel do Pará, Capitão Poço, Tomé Açu, Dom Eliseu e Igarapé-açu), relacionados apenas às culturas da palma-de-óleo (*Elaeis guineensis* Jacq.), do coco (*Cocos nucifera* L.), da laranja (*Citrus sinensis*), da pimenta-do-reino (*Piper nigrum* L.), do cacau (*Theobroma cacao* L.), do paricá (*Schizolobium amazonicum* Huber ex Ducke) e do milho (*Zea mays* L.).

Copyright © 2021, Luiz Antonio Soares Cardoso et al. This is an open access article distributed under the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Citation: Luiz Antonio Soares Cardoso, Paulo Roberto da Silva Farias and João Almiro Corrêa Soares. "Geoestatística aplicada à fitossanidade: estado da arte e perspectivas futuras para o estado do Pará, Brasil", *International Journal of Development Research*, 11, (06), 48273-48279.

## INTRODUCTION

As inovações tecnológicas estão cada vez mais presentes nos sistemas de produções agrícolas, contribuindo para a maximização dos resultados e proporcionando, por meio da Agricultura de Precisão (AP), em conjunto com a utilização de boas práticas de cultivo, um contínuo melhoramento dos sistemas produtivos (Oliveira *et al.*, 2020). Neste contexto, a AP vem a se apresentar como uma excelente ferramenta para a gestão destes sistemas produtivos, auxiliando nas tomadas de decisões (até mesmo em tempo real), proporcionando, por exemplo, o estabelecimento de práticas de manejo para determinada área, permitindo um melhor entendimento entre a relação da quantidade e/ou da qualidade dos insumos a serem aplicados, respeitando propriedades e características específicas do local (Mantovani *et al.*, 2020). Diante do exposto, podemos dimensionar um pouco da importância da AP como uma inovação de processo utilizada para o aumento da produtividade, onde quanto maior a quantidade de dados obtidos, mais consistentes serão as informações geradas e, consequentemente, o diagnóstico a ser proferido para determinada área de produção. Desta forma, a utilização de mapas de produtividade, por exemplo, se tornam fundamentais para a exposição e melhor visualização destes dados (Molin, 2017).

Dentre as diversas ferramentas disponíveis no campo da AP, destacamos, neste artigo, a Geoestatística, ressaltando logo de início, que a ferramenta em questão, apesar do seu recente desenvolvimento e crescente utilização pelas ciências agrárias, não foi desenvolvida primordialmente para este fim. É consenso, na literatura, que a Geoestatística surgiu na África do Sul, através de pesquisas de Krige (1951), que tratou da avaliação da distribuição de frequência dos valores de ouro em minas no Witwatersrand, onde a variação nos teores do minério foi analisada levando em conta a localização geográfica e a respectiva distância entre as amostras coletadas, permitindo a verificação da dependência espacial entre elas. Na sequência, Matheron (1963) conduziu trabalho onde ressaltou que além do conhecimento dos teores e das reservas de minério, também é de extrema relevância o estudo da estimativa de erros que podem existir em relação a estes valores. O referido pesquisador, desenvolveu os primeiros trabalhos com uma abordagem científica mais apropriada para estes problemas de estimativa, criticando modelos estatísticos clássicos e os comparando com os resultados fornecidos por meio da Geoestatística, enfatizando a sua utilização como forma de se evitar prejuízos econômicos. Daí surgiu a teoria das variáveis regionalizadas, proposta pelo autor e essencial para o desenvolvimento da Geoestatística. A referida teoria, pressupõe que cada dado é modelado como uma variável aleatória e pode ser

expressa pela soma de três componentes: um componente estrutural, uma componente aleatória e um erro aleatório. A Geoestatística corresponde ao segundo componente, que varia localmente e depende espacialmente do primeiro componente (PITA, 2012). A expressão é a que segue:

$$Z(x) = m(x) + \varepsilon'(x) + \varepsilon''$$

Onde:

- consiste na componente estrutural, associado ao valor médio constante ou a uma tendência constante;
- consiste na componente aleatória, espacialmente correlacionada;
- consiste no erro aleatório.

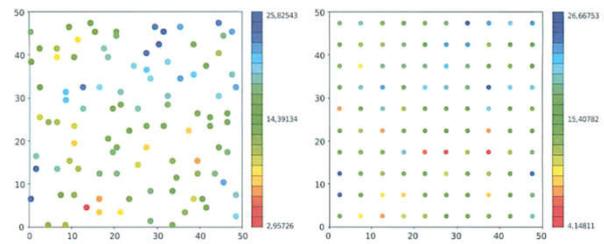
Esta teoria casa perfeitamente com a frase célebre do pesquisador Waldo Tobler, proferida ainda na década de 1970, também conhecida como a Primeira Lei da Geografia: “Tudo está relacionado com tudo, mas as coisas mais próximas estão mais relacionadas entre si do que as mais distantes.” (ABREU, 2018). Esta frase está intimamente ligada aos princípios que regem a Geoestatística. De forma sucinta, como citado anteriormente, a Geoestatística baseia-se no conceito das variáveis regionalizadas para a avaliação da variabilidade espacial de determinado atributo considerado, isto por meio da coleta e organização espacial dos dados disponíveis, levando em conta a semelhança entre pontos vizinhos georreferenciados. Vale ressaltar, que a Geoestatística não se limita apenas a análise da possível dependência espacial existente entre os atributos dos pontos amostrados, muito pelo contrário, a referida ferramenta também se torna importante na estimativa de valores até mesmo dos locais que não foram amostrados na área de estudo (GREGO *et al.*, 2014).

Neste sentido, no decorrer dos anos, pesquisadores vêm atuando no intuito de demonstrar as vantagens que os métodos geoestatísticos podem representar, buscando a otimização na produção e diminuição dos gastos, evitando também maiores danos ao meio ambiente local (CARDOSO & NASCIMENTO, 2019). Isto vem ocorrendo, mesmo que de forma ainda discreta, também no estado do Pará, Brasil. Diante de tudo o que foi explanado, o presente artigo teve como objetivo realizar um levantamento bibliográfico sistemático sobre a situação atual da Geoestatística para fins fitossanitários no estado do Pará, Brasil. Para isso, foi realizada uma pesquisa minuciosa de referenciais teóricos já produzidos sobre a temática na região.

## MÉTODO GEOESTATÍSTICO

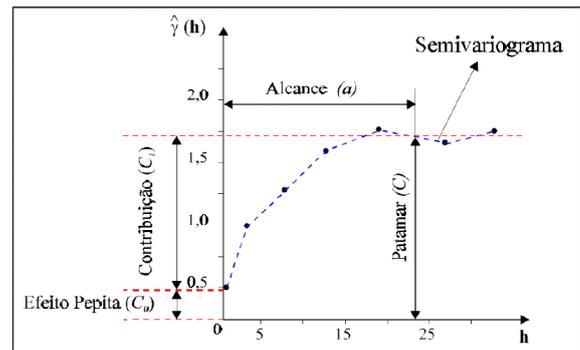
O processo de inferência espacial, inerente a Geoestatística, inicia-se a partir da coleta de um determinado número de amostras ( $n$ ) representativas, em termos de distribuição e variabilidade espacial, do atributo a ser estudado. Esta coleta pode ocorrer de forma aleatória ou de forma sistemática, conforme figura 1 (YAMAMOTO & LANDIM, 2013). A Geoestatística possui a hipótese intrínseca de que a probabilidade de variação dos atributos amostrados, separados pela mesma distância, tem uma variação igual. Desta forma, assume-se a estacionariedade dentro do alcance da continuidade espacial. Esta é a principal hipótese em que a Geoestatística está embasada (PITA, 2012). Mas de que forma podemos expressar as relações espaciais observadas em uma determinada área? Para responder esta pergunta temos que recorrer a literatura disponível sobre a temática.

Segundo Montero *et al.* (2015), existem duas funções que podem nos auxiliar em relação à expressão das informações de dependência espacial detectadas: a covariância e os semivariogramas, cada uma atendendo a uma série de requisitos, dependendo da hipótese estacionária assumida. Contudo, cabe ressaltar, que os semivariogramas, quando comparados com a covariância, possuem uma cobertura maior em relação à amplitude do espectro de variáveis regionalizadas, por este motivo, vamos enfatizá-lo neste momento (Figura 2):



Fonte: Yamamoto & Landim (2013).

Figura 1. Mapa com pontos amostrados aleatoriamente e de forma sistemática



Fonte: Camargo (1997).

Figura 2. Exemplo de semivariograma

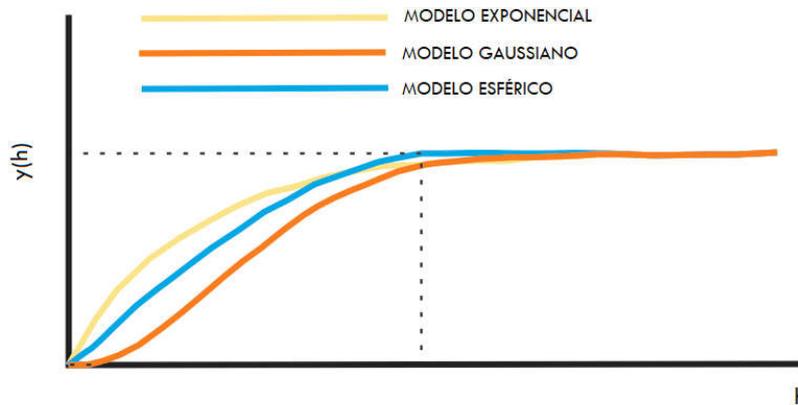
A partir do semivariograma acima e de acordo com Camargo (1997), temos as seguintes variáveis:

- Alcance ( $a$ ): remete a distância até onde as amostras estão correlacionadas espacialmente;
- Patamar ( $C$ ): é o valor do semivariograma que corresponde ao seu Alcance ( $a$ ). A partir deste valor, considera-se que não existe mais dependência espacial entre as amostras;
- Contribuição ( $C_I$ ): corresponde à diferença entre Patamar ( $C$ ) e Efeito Pepita ( $C_0$ );
- Efeito Pepita ( $C_0$ ): segundo Isaaks & Srivastava (1989), diz respeito ao salto vertical do valor de 0 (zero) na origem para o valor do variograma em distâncias de separação extremamente pequenas. Ele pode ocorrer, dentre outros motivos, devido a erros de amostragem ou devido a uma variabilidade de escala curta, por exemplo.

Cabe ressaltar, que modelar um semivariograma é uma etapa de extrema importância dentro da análise Geoestatística, não consistindo em uma etapa das mais fáceis de se realizar. Os modelos de semivariogramas, juntamente com seus parâmetros, fornecem informações sobre o intervalo, tamanho, direção e o tipo de correlações espaciais existentes. Desta forma, a modelagem de semivariogramas consiste no ajuste de um modelo de semivariograma que se adeque aos valores experimentais. Para isso, várias funções podem ser utilizadas em combinação para descrever melhor a forma do semivariograma experimental. Dentre este rol, podemos citar, de acordo com a sua relevância, as funções: exponencial, gaussiana e esférica (OBROSLAK & DOROZHYNKY, 2017), conforme figura 3. A partir da seleção do modelo teórico de semivariograma que melhor se ajuste aos dados amostrados, inicia-se a fase das estimativas geoestatísticas. A principal delas, e que será enfatizada neste tópico, é a denominada *krigagem*. A *krigagem* é um processo de estimativa de valores de variáveis distribuídas no espaço e/ou tempo, tendo como principal diferença, em relação aos métodos tradicionais, o fato de que somente ela é capaz de apresentar estimativas não tendenciosas, além da mínima variância associada ao valor estimado. Existem alguns tipos de *krigagem*, como, por exemplo, a *krigagem* simples, *krigagem* da média, *krigagem* universal e *krigagem* ordinária, sendo a última a mais usual. Salienta-se, que as estimativas geoestatísticas, como a *krigagem*, dependem da existência ou não do

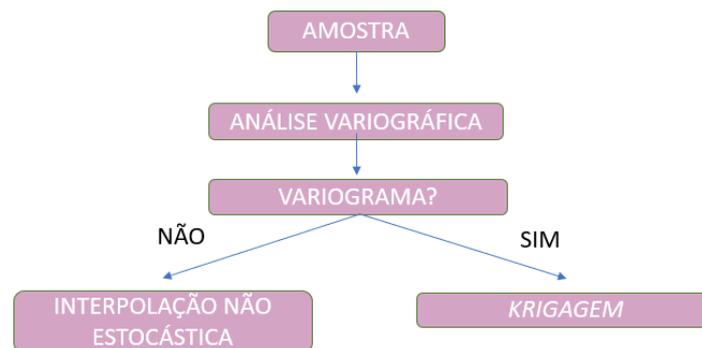
efeito pepita, da amplitude e da presença de anisotropia (YAMAMOTO & LANDIM, 2013). De forma resumida, pode-se afirmar, que o semivariograma é responsável pela análise estrutural dos dados, os modelando estatisticamente no espaço. Por sua vez, a *krigagem* faz uso do semivariograma para realizar a interpolação estocástica. Portanto, o variograma não é parte da *krigagem*, mas sim um requisito para a mesma (SANTOS, 2018).

Desta forma, um país como o Brasil, que possui um vasto território cultivado, caracterizado por uma enorme diversidade do que foi relatado acima, não deve ser tratado de forma homogênea, pois cada região possui as suas peculiaridades, que devem ser levadas em conta quando o assunto é o manejo das pragas agrícolas identificadas nas culturas desenvolvidas em cada uma delas. Partindo desta lógica, na sequência serão explanadas algumas das pragas presentes em culturas



Fonte: adaptado de Isaaks & Srivastava (1989).

Figura 3. Modelos semivariográficos mais utilizados na Geoestatística



Fonte: adaptado de Yamamoto & Landim (2013).

Figura 4. Interpolação ou *krigagem* dependendo da obtenção do variograma

Tabela 1. Cidades que existem pesquisas com o uso da Geoestatística para fins fitossanitários, suas respectivas mesorregiões do estado do Pará, Brasil e as culturas trabalhadas com a ferramenta em questão.

MUNICÍPIO	MESORREGIÃO	CULTURA
Acará	Nordeste Paraense	Palma-de-óleo
Capitão Poço	Nordeste Paraense	Laranja e Pimenteira-do-reino
Dom Eliseu	Sudeste Paraense	Paricá
Igarapé-açu	Nordeste Paraense	Milho
Moju	Nordeste Paraense	Palma-de-óleo e Coqueiro
Santa Izabel do Pará	Metropolitana de Belém	Coqueiro
Tomé-açu	Nordeste Paraense	Cacau

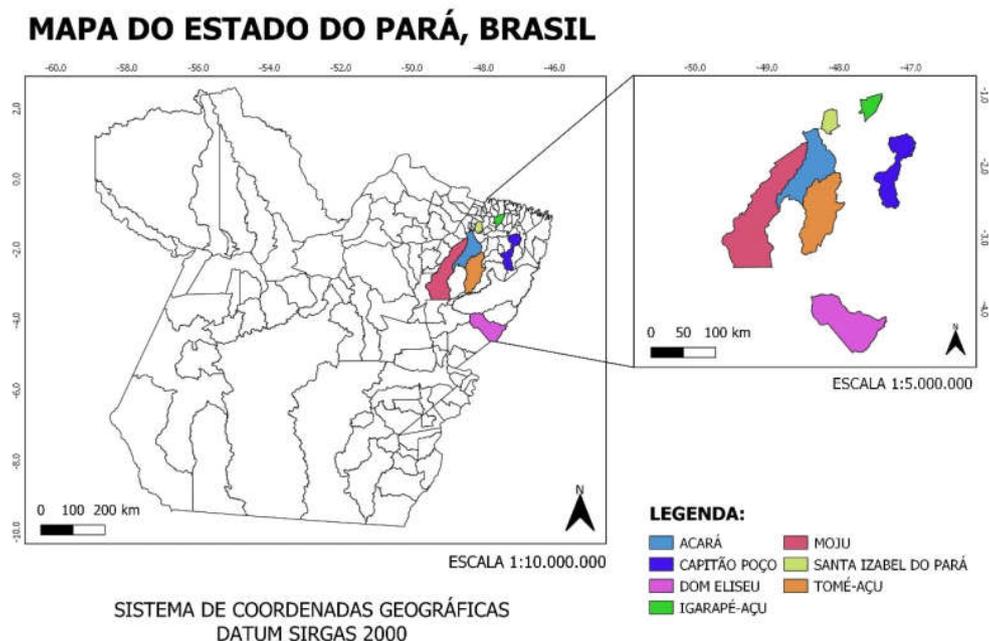
Fonte: adaptado de IBGE (2020b).

**ESTADO DA ARTE DA GEOESTATÍSTICA EM FITOSSANIDADE NO PARÁ:** Em primeiro lugar, vale enfatizar que pragas agrícolas incluem uma vasta extensão de organismo, não se resumindo apenas aos insetos. Dentre as pragas agrícolas, podemos incluir, por exemplo, as ervas daninhas, os patógenos de plantas (fungos, bactérias e vírus), bem como roedores e nematóides, além, claro, dos insetos e ácaros. Estes organismos são assim denominados por se alimentarem de determinadas culturas, causando prejuízo ao rendimento do produtor. Estima-se que as pragas agrícolas sejam capazes de causar um dano de aproximadamente um terço do que se é produzido (WALKER & FREDERICK, 2011). Esses danos costumam variar conforme a localidade, devido, dentre outras, a questões como: características climáticas, variedades, técnicas agrônomicas utilizadas e características socioeconômicas (GALLO *et al.*, 2002).

produzidas no estado do Pará, Brasil, levando em conta o objetivo do trabalho em questão, que é o de enfatizar aquelas que de alguma forma utilizaram a Geoestatística, como ferramenta de AP, para dimensionar a variabilidade espacial das pragas identificadas. O estado do Pará localiza-se na região Norte do Brasil possuindo uma extensão territorial de cerca de 1.245.870,707 km<sup>2</sup> e uma população estimada de 8.690.745 pessoas para o ano de 2020. Sua capital é o município de Belém (IBGE, 2020a; IBGE, 2020c). Segundo IBGE (2020b), o estado é subdividido em 6 (seis) mesorregiões, a saber: Baixo Amazonas, Marajó, Metropolitana de Belém, Nordeste Paraense, Sudoeste Paraense e Sudeste Paraense. No estado do Pará, existem algumas publicações relevantes quanto ao uso de métodos geoestatísticos para uma melhor visualização do comportamento espacial de determinados ataques fitossanitários em culturas específicas.

Estes tipos de trabalhos, se tornam cada vez mais importantes e necessários, no sentido de contribuir para a otimização das futuras tomadas de decisões por parte do produtor rural, no que tange ao combate às pragas identificadas. Dentre as culturas produzidas no estado do Pará, e que possuem pesquisas que fizeram uso de algum método geoestatístico, podemos citar as culturas da palma-de-óleo (*Elaeis guineensis* Jacq.), do coco (*Cocos nucifera* L.), da laranja (*Citrus sinensis*), da pimenta-do-reino (*Piper nigrum* L.), do cacau (*Theobroma cacao* L.), do paricá (*Schizolobium amazonicum* Huber ex Ducke) e do milho (*Zea mays* L.). Abaixo seguem os municípios paraenses onde há trabalhos com uso da Geoestatística para monitoramento e/ou análise espacial de pragas presentes em culturas específicas (Tabela 1). O mapa abaixo localiza a disposição dos municípios acima em relação ao território paraense (Figura 5). Em relação a palma-de-óleo, existem trabalhos sobre a distribuição espacial e da autocorrelação espacial e espaço-temporal de casos de amarelecimento fatal (AF) em plantios orgânicos no município do Acará (SILVA *et al.*, 2016a; SANTOS, 2018; ANHÊ, 2018). Além do município citado, também foram realizados trabalhos referentes à análise espaço-temporal do AF no município de Moju (SÁ *et al.*, 2018). Ressaltando que o AF ainda não tem etiologia conhecida. Continuando no município do Acará, também foram realizados trabalhos ligados a distribuição espacial do inseto *Rhynchophorus palmarum*, principal vetor do nematóide *Bursaphelenchus cocophilus* também em plantios de palma-de-óleo (PINHO *et al.*, 2016).

*Ashby*), a leprose dos citros (*Citrus leprosis virus* -CiLV), a formiga *Azteca barbifex* Forel e a cochonilha *Praelongorthezia praelonga* no município de Capitão Poço. Evidenciando, que a maioria dos trabalhos no município dizem respeito a mosca-negra-dos-citros. Para esta praga em específico, já foram realizados trabalhos de análise e caracterização espacial, permitindo a visualização da sua distribuição em determinados plantios, além de pesquisas que trataram da influência de fatores abióticos na sua infestação em plantios associados a agroflorestas, assim como, a comparação entre ocorrências em sistemas agroflorestais e em monocultivos (MAIA, 2008; SILVA *et al.*, 2011a; SILVA *et al.*, 2011b; SILVA *et al.*, 2014; SILVA *et al.*, 2015). Em relação a leprose dos citros, que tem a sua disseminação facilitada pelo ácaro *Brevipalpus phoenicis*, Oliveira *et al.* (2016), verificaram a distribuição espacial da doença em determinados pomares de laranja do município em questão. Além desta, também foi possível a utilização da Geoestatística para o mapeamento da dispersão espacial da formiga *Azteca barbifex* Forel em um pomar georreferenciado do município (FARIAS *et al.*, 2018). Mais recentemente, Gouvêa *et al.* (2020) realizaram pesquisa relacionada a distribuição espacial da cochonilha *Praelongorthezia praelonga* em cultivo de citros plantados em áreas de sistema agroflorestal e convencional. Ainda no município de Capitão Poço, também existe trabalho voltado para a análise Geoestatística da incidência da fusariose (*Fusarium oxysporum* f. sp. *piperis*) na cultura da pimenteira-do-reino (BISPO & SOARES, 2019).



**Figura 5. Mapa do estado do Pará, Brasil, com a localização dos municípios onde houveram pesquisas com uso da Geoestatística para fins fitossanitários**

Voltando ao município de Moju, foram realizados ainda trabalhos referentes a distribuição espaço-temporal da larva *Opsiphantes invirae* (BRANDÃO *et al.*, 2017) e do inseto *Rhynchophorus palmarum* (SANTOS, 2020), também relacionados a plantações de palma-de-óleo. Ainda em Moju, foram realizados estudos para o modelagem espaço-temporal e mapeamento geoestatístico da distribuição espacial da resinose (*Thielaviopsis paradoxa*) (NASCIMENTO *et al.*, 2014; PINHEIRO *et al.*, 2015; SILVA *et al.*, 2016b) e do anel vermelho (*Bursaphelenchus cocophilus*) (SILVA *et al.*, 2016b), assim como estudos para avaliação da distribuição espaço-temporal da doença murcha-de-*Phytomonas* (SANTOS, 2020; SANTOS *et al.*, 2020), todos em plantios de coqueiros. Além de Moju, em Santa Izabel do Pará também foram realizadas pesquisas em plantios de coco por meio de análise Geoestatística do patossistema da folha curta, que possui agente etiológico ainda desconhecido, assim como a análise espacial e da dinâmica populacional da cigarrinha *Haplaxius crudus* (SANTOS & NORONHA, 2019; BASTOS *et al.*, 2019). Na produção de citros, com ênfase na laranja, existem trabalhos relacionados a mosca-negra-dos-citros (*Aleurocanthus woglumi*

No município de Tomé-açu, houve pesquisa relacionada a distribuição espacial da produtividade e fatores fitossanitários de cacauzeiros, com enfoque na presença ou ausência de vassoura-de-bruxa (*Crinipellis Perniciosa*) e erva-de-passarinho (*Struthanthus flexicaulis*) (FURTADO & OLIVEIRA, 2019). No município de Dom Eliseu, foi realizado trabalho para análise espacial da distribuição de cigarras (*Quesada gigas* Oliver) em povoados de paricá (ZANETI, 2005; SOARES *et al.*, 2008). Por fim, no município de Igarapé-açu, foram realizados trabalhos em plantações de milho, para se analisar a distribuição espacial e temporal do inseto-praga pulgão-do-milho (*Rhopalosiphum maydis*) e dos seus inimigos naturais (joaninhas e moscas sirfídeos). No mesmo sentido, também foram realizadas pesquisas relacionadas às cigarrinhas *Tapajosa ocellata*, *Dechacona missionum* e *Dalbulus maidis* (NASCIMENTO, 2017; RIBEIRO, 2019; NASCIMENTO *et al.*, 2020) e da lagarta-da-espiga (*Helicoverpa zea* (Boddie)) e mosca-da-seda (*Euxesta* spp.) (FERREIRA *et al.*, 2021), também em plantações de milho. Abaixo segue tabela com um pequeno resumo dos trabalhos já realizados no estado do Pará (Tabela 2).

Tabela 2. Pesquisas realizadas em municípios do estado do Pará com o uso da Geoestatística para fins fitossanitários

MUNICÍPIO	LOCAL DE PESQUISA	CULTURA	AUTORIA	DOENÇA/PRAGA
ACARÁ	Área pertencente ao grupo AGROPALMA S.A.	Palma-de-óleo	SILVA <i>et al.</i> , 2016a	Amarelecimento Fatal (AF)
			SANTOS, 2018	
			ANHÊ, 2018	
			PINHO <i>et al.</i> , 2016	Inseto <i>Rhynchophorus palmarum</i>
MOJU	Área pertencente ao grupo AGROPALMA S.A.	Palma-de-óleo	BRANDÃO <i>et al.</i> , 2017	Larva <i>Opsiphanes invirae</i>
			SANTOS, 2020	Inseto <i>Rhynchophorus palmarum</i>
	Fazenda Amanda e Fazenda Bethânia	Coqueiro	SÁ <i>et al.</i> , 2018	Amarelecimento Fatal (AF)
			NASCIMENTO <i>et al.</i> , 2014	Fungo Resinose ( <i>Thielaviopsis paradoxa</i> )
	Área pertencente a Sococo Produtos Alimentícios S.A.	Coqueiro	PINHEIRO <i>et al.</i> , 2015	Anel vermelho (Nematóide <i>Bursaphelenchus cocophilus</i> )
			SILVA <i>et al.</i> , 2016b	
	Propriedade de plantio comercial de coqueiro	Coqueiro	SILVA <i>et al.</i> , 2016b	Protozoário Murcha-de- <i>Phytophthora</i>
			SANTOS, 2020	Protozoário Murcha-de- <i>Phytophthora</i>
SANTA IZABEL DO PARÁ	Área pertencente a Sococo Produtos Alimentícios S.A.	Coqueiro	SANTOS & NORONHA, 2019	Patossistema da folha curta
			Áreas comerciais	BASTOS <i>et al.</i> , 2019
CAPITÃO POÇO	Fazenda CITROPAR S.A.	Laranja	MAIA, 2008	Mosca-negra-dos-citros ( <i>Aleurocanthus woglumi</i> Ashby)
	Fazenda Santana	Laranja	SILVA <i>et al.</i> , 2011a	Ácaro <i>Brevipalpus phoenicis</i>
			SILVA <i>et al.</i> , 2011b	
			SILVA <i>et al.</i> , 2014	
			SILVA <i>et al.</i> , 2015	
	Áreas experimentais	Coqueiro	OLIVEIRA <i>et al.</i> , 2016	Formiga <i>Azteca barbifex</i> Forel
	Fazenda CITROPAR S.A.	Laranja	FARIAS <i>et al.</i> , 2018	Cochonilha <i>Praelongorthezia praelonga</i>
	Fazenda Santana	Laranja	GOUVÊA <i>et al.</i> , 2020	Fusariose (Fungo <i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>piperis</i> )
Sítio Santa Laura	Pimenteira-do-reino	BISPO & SOARES, 2019	Fusariose (Fungo <i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>piperis</i> )	
TOMÉ AÇU	Fazenda Konagano	Cacau	FURTADO & OLIVEIRA, 2019	Vassoura-de-bruxa (Fungo <i>Crinipellis Perniciosa</i> ) Erva-de-passarinho (Planta parasita <i>Struthanthus flexicaulis</i> )
DOM ELISEU	Fazenda Chapadão	Paricá	ZANETI, 2005	Cigarras ( <i>Quesada gigas</i> Oliver)
			SOARES <i>et al.</i> , 2008	
IGARAPÉ-AÇU	Fazenda Experimental de Igarapé-açu – FEIGA, pertencente à Universidade Federal Rural da Amazônia	Milho	NASCIMENTO, 2017	Inseto pulgão-do-milho ( <i>Rhopalosiphum maydis</i> ) e dos seus inimigos naturais (joaninhas e moscas sirfídeos)
			NASCIMENTO <i>et al.</i> , 2020	Inseto pulgão-do-milho ( <i>Rhopalosiphum maydis</i> ) e moscas sirfídeos.
			RIBEIRO, 2019	Cigarrinha <i>Tapajosa ocellata</i>
				Cigarrinha <i>Dechacona missionum</i>
			FERREIRA <i>et al.</i> , 2021	Cigarrinha <i>Dalbulus maidis</i>
Lagarta-da-espiga ( <i>Helicoverpa zea</i> (Boddie))	Mosca-da-seda ( <i>Euxesta</i> spp.)			

## CONCLUSÕES: PERSPECTIVAS FUTURAS

A partir da consulta bibliográfica, necessária para o levantamento das pesquisas já executadas sobre a temática deste artigo no estado do Pará, Brasil, chega-se à seguinte conclusão: a Geoestatística aplicada à fitossanidade ainda é utilizada de forma bem incipiente no estado em questão. Através do referido levantamento, constatou-se a utilização de métodos geoestatísticos, para fins fitossanitários, em apenas 7 (sete) municípios dentre os 144 (cento e quarenta e quatro) que compõem o território paraense. Os referidos municípios são: Acará, Moju, Santa Izabel do Pará, Capitão Poço, Tomé Açu, Dom Eliseu e Igarapé-açu, relacionados às culturas da palma-de-óleo (*Elaeis guineensis* Jacq.), do coco (*Cocos nucifera* L.), da laranja (*Citrus sinensis*), da pimenta-do-reino (*Piper nigrum* L.), do cacau (*Theobroma cacao* L.), do paricá (*Schizolobium amazonicum* Huber ex Ducke) e do milho (*Zea mays* L.), conforme apresentados nas tabelas 1 e 2 e figura 5. Quando relacionamos os estudos desenvolvidos com a sua localização dentro das mesorregiões paraenses, percebe-se que apenas 3 (três) das 6 (seis) mesorregiões possuem algum tipo de trabalho com o uso da ferramenta em questão para a finalidade aqui estudada. O que também ratifica a necessidade de expansão dos estudos para localidades mais distantes da capital do

estado, pois as mesorregiões, onde não houveram pesquisas, encontram-se geograficamente mais distantes de Belém. Outro ponto em comum entre todas estas pesquisas, foi que, em todas elas, sem exceção, verificou-se a plena eficiência da Geoestatística para a definição de um modelo de variabilidade espacial das doenças e/ou pragas identificadas e estudadas nos cultivos, e não só isso, também permitiu a realização da estimativa das porções não amostradas. O relatado acima, ratifica que as técnicas de Agricultura de Precisão (AP), como é o caso da Geoestatística aplicada à fitossanidade, quando utilizadas corretamente, se tornam ferramentas essenciais para o aumento da produtividade em sistemas agrícolas, representando inovações importantes no processo produtivo e que tendem a ser cada vez mais implementadas nos empreendimentos, como forma de garantir o monitoramento dessas ocorrências e de controlá-las, antecipando tendências negativas e, conseqüentemente, evitando perdas na produção. Desta forma, o estado do Pará, como verificado no pequeno quantitativo de pesquisas voltadas para fins fitossanitários com o uso de métodos geoestatísticos, necessita de uma maior atenção a esta inovação, principalmente pelos órgãos públicos de fomento a agricultura, pois inovações como esta podem refletir em uma maior competitividade para o estado em relação aos mercados concorrentes, representando um importante diferencial positivo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abreu, J. F. Tributo a Waldo Tobler: cientista, geógrafo, cartógrafo. Geografia, vol. 43, nº 02, Rio Claro-SP, 2018.
- Anhê, B. B. Estudo da autocorrelação espacial e distribuição espaço-temporal do amarelecimento fatal em diferentes materiais genéticos de palma-de-óleo, na Amazônia Oriental. Dissertação de Mestrado, UFRA, Belém-PA, 2018.
- Bastos, L. F.; Santos, A. V. F.; Penner, F. V.; Siqueira, L. M. M.; Silva, A. G.; Martins, I. C. F.; Lins, P. M. P.; Batista, T. F. V. Spatial analysis and population dynamics of *Haplaxius crudus* (Hemiptera: Cixiidae) in coconut Amazon. Journal of Agricultural Science, vol. 11, nº 14, 2019. DOI: 10.5539/jas.v11n14p186.
- Bispo, J. A. S.; Soares, J. B. Análise geoestatística da incidência da fusariose (*Fusarium oxysporum* f. sp. *piperis*) na cultura da pimenteira-do-reino (*Piper Nigrum* L.) no município de Capitão Poço-PA. Trabalho de Conclusão de Curso, UFRA, Capitão Poço-PA, 2019.
- Brandão, A. D. S.; Farias, P. R. S.; Dionisio, 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, vol. 12, nº 04, p. 464-469, 2017. DOI:10.5039/agraria.v12i4a5479.
- Camargo, E. C. G. Desenvolvimento, implementação e teste de procedimentos geoestatísticos (krigagem) no sistema de processamento de informações georreferenciadas (SPRING). Dissertação de Mestrado, INPE, São José dos Campos-SP, 1997.
- Cardoso, L. A. S.; Nascimento, J. T. Variabilidade espacial dos atributos químicos do solo e proposição de manejo sustentável para agricultura familiar, comunidade de Cariambá, Bragança, Pará. SINERGIA (Revista do IFSP), São Paulo-SP, 2019.
- 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, vol. 65, nº 02, p. 345-350, 2018. DOI: 10.1007/s00040-018-0610-2.
- Ferreira, J. V.; Martins, I. C. F.; Pereira, R. R.; Pereira, R. R.; Alves, M. H. D.; Campos, L. D.; Mello, M. N.; Duque, F. J. S. Spatial and temporal distribution of *Helicoverpa zea* (Boddie) (Lepidoptera: Noctuidae) and *Euxesta* spp. (Diptera: Otitidae) in the corn crop. EntomoBrasilis, vol. 14, 2021. DOI: 10.12741/ebrasilis.v14.e919.
- Furtado, D. C.; Oliveira, F. C. D. Distribuição espacial da produtividade e fatores fitossanitários de cacauzeiros na Amazônia Oriental. Trabalho de Conclusão de Curso, UFRA, Tomé-Açu-PA, 2019.
- GALLO, D.; Nakano, O.; Silveira Neto, S.; Carvalho, R. P. L.; Baptista, G. C.; Berti Filho, E.; Parra, J. R. P.; Zucchi, R. A.; Alves, S. B.; Vendramim, J. D.; Marchini, L. C.; Lopes, J. R. S.; Omoto, C. Entomologia Agrícola. FEALQ, Piracicaba-SP, 2002.
- Gouvêa, D. D. S.; Farias, P. R. S.; Santos, A. V. F.; Medeiros, W. V.; 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, vol. 09, nº 12, p. 01-15, 2020. DOI: 10.33448/rsd-v9i12.11018.
- Grego, C. R.; Oliveira, R. P.; Vieira, S. R. Geoestatística aplicada a Agricultura de Precisão. In: Bernardi, A. C. C.; Naime, J. M.; Resende, A. V.; Bassoi, L. H.; Inamasu, R.Y. Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar. EMBRAPA, cap. 5, Brasília-DF, 2014.
- Ibge. Áreas territoriais. 2020a. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/estrutura-territorial/15761-areas-dos-municipios.html?=&t=o-que-e/>. Acessado em: 25/05/2021.
- IBGE. Divisão Territorial Brasileira - DTB. 2020b. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/divisao-regional/23701-divisao-territorial-brasileira.html?=&t=o-que-e>. Acessado em: 25/05/2021.
- Ibge. Estimativas de população. 2020c. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/9103-estimativas-de-populacao.html?=&t=o-que-e/>. Acessado em: 25/05/2021.
- Isaaks, E. H.; Srivastava, R. M. An introduction to applied geostatistics. Editora Oxford University Press, 1989.
- Krige, D. G. A statistical approach to some basic mine valuation problems on the Witwatersrand. Journal of the Chemical Metallurgical & Mining Society of South Africa, vol. 52, nº 06, 1951.
- Maia, P. S. P. Caracterização da distribuição espacial da mosca negra dos citros (*Aleurocanthus woglumi* Ashby, 1915) em pomar georreferenciado para determinar um plano de amostragem sequencial. Dissertação de Mestrado, UFRA, Belém-PA, 2008.
- Mantovani, E. C.; Miranda, R. A.; Landau, E. C.; Passos, A. M. A. A agricultura de precisão no contexto do sistema de produção: lucratividade e sustentabilidade. Embrapa Milho e Sorgo, Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, nº 209, Sete Lagoas-MG, 2020.
- Matheron, G. Principles of geostatistics. Economic Geology, vol. 58, nº 08, 1963.
- Molin, J. P. Agricultura de precisão: números do mercado brasileiro. Agricultura de Precisão, Boletim Técnico nº 03, Laboratório de Agricultura de Precisão, USP-ESALQ, 2017.
- Montero, J. M.; Avilés, G. F.; Mateu, J. Spatial and spatio-temporal geostatistical modeling and kriging. Editora Wiley, 2015.
- Nascimento, J. M. S. Distribuição espacial e temporal do pulgão-do-milho (*Rhopalosiphum maidis*, FITCH., 1856) e de inimigos naturais na cultura do milho no nordeste paraense. Trabalho de Conclusão de Curso, UFRA, Capanema-PA, 2017.
- Nascimento, J. M. S.; Martins, I. C. F.; Mello, M. N.; Silva, J. R.; Lima, M. M. O.; Oliveira, F. J.; Campos, L. D. Spatial behavior of corn leaf aphid and syrphid flies in corn crop in the northeast of Pará. EntomoBrasilis, vol. 13, 2020. DOI: 10.12741/ebrasilis.v13.e0872.
- Nascimento, S. M. C.; Carvalho, E. A.; LINS, P. M. P. Modelagem espaço-temporal da resinose do coqueiro no estado do Pará. Anais do 18º Seminário de Iniciação Científica e 2º Seminário de Pós-graduação da Embrapa Amazônia Oriental, Belém-PA, 2014.
- OBROŠLAK, R.; Dorozhynskyy, O. Selection of a semivariogram model in the study of spatial distribution of soil moisture. Journal of Water and Land Development, nº 35, 2017. DOI: 10.1515/jwld-2017-0080.
- Oliveira, A. J.; Silva, G. F.; Silva, G. R.; Santos, A. A. C.; Caldeira, D. S. A.; Vilarinho, M. K. C.; Barelli, M. A. A.; Oliveira, T. C. Potencialidades da utilização de drones na agricultura de precisão. Brazilian Journal of Development, vol. 06, nº 09, Curitiba-PR, 2020. DOI: 10.34117/bjdv6n9-010.
- Oliveira, F. J.; Farias, P. R. S.; Silva, A. G.; Rodrigues, K. C. V.; Araújo, F. C. B. Distribuição espacial da leprose dos citros na Amazônia Oriental. Revista Ciência Agronômica, vol. 47, nº 01, p. 56-68, Fortaleza-CE, 2016. DOI: 10.5935/1806-6690.20160007.
- Pinheiro, C. C. C.; Farias, S. C. C.; Lins, P. M. P.; Carvalho, E. A. Mapeamento geoestatístico da distribuição espacial da resinose do coqueiro no estado do Pará. Anais do 19º Seminário de Iniciação Científica e 3º Seminário de Pós-graduação da Embrapa Amazônia Oriental, p. 60-64, Belém-PA, 2015.
- Pinho, R. C.; Farias, P. R. S.; Rodrigues, K. C. V.; Tinôco, R. S.; Santos, A. V. F.; Marssena, R. T. P. Distribuição espacial de *Rhynchophorus palmarum* em palma de óleo no Estado do Pará, Amazônia. Revista de Ciências Agrárias: Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences, vol. 59, nº 01, p. 22-31, 2016. DOI: 10.4322/rca.2116.
- Pita, J. D. Variabilidade espacial dos atributos químicos do solo e dendométricos em plantio de teca (*Tectona grandis* L. F. Lamiales) no município de Abaetetuba-PA. Dissertação de Mestrado, UFRA, Belém-PA, 2012.
- Ribeiro, G. C. D. Distribuição espacial e temporal de cigarrinhas (Hemiptera: Cicadellidae) na cultura do milho no nordeste paraense. Trabalho de Conclusão de Curso, UFRA, Capanema-PA, 2019.
- Sá, N. M.; Silva, H. R.; Pozza, E.; Valadares, R. B. S. Análise espaço-temporal do amarelecimento fatal da palma de óleo (*Elaeis*

- guineensis* Jacq.), Moju-PA. Produção Técnica ITV DS, Belém-PA, 2018.
- Santos, A. V. F. Distribuição espaço-temporal de pragas em palmeiras de importância econômica na Amazônia. Dissertação de Mestrado, UFRA, Belém-PA, 2020.
- Santos, A. V. F. Estudo geoestatístico e altimétrico do amarelecimento fatal em plantio orgânico de palma de óleo na Amazônia Oriental. Dissertação de Mestrado, UFRA, Belém-PA, 2018.
- Santos, A. V. F.; Anhê, B. B.; Santos, J. A. C.; Bastos, L. F.; Lins, P. M. P.; Farias, P. R. S.; Batista, T. F. V.; Silva, G. B.; Silva, A. G. Distribuição espaço-temporal da doença murcha-de-*phytonomas* em plantio de coqueiro (*Cocos nucifera* L.) na Amazônia Oriental. International Journal of Development Research, vol. 10, 2020. DOI: 10.37118/ijdr.19894.09.2020.
- Santos, D. Uma introdução ao semivariograma: e sua importância dentro da geoestatística. Anais do I SINAGGET e XXXIV SEMAGEO, Londrina-PR, 2018.
- Santos, J. V. S.; Noronha, R. P. C. Análise geoestatística do patossistema da folha curta em plantação de coco na Amazônia Oriental. Trabalho de Conclusão de Curso, UFRA, Belém-PA, 2019.
- Silva, A. G.; Farias, P. R. S.; Boiça Junior, A. L.; Correia, R. G.; Silva, J. B.; Rodrigues, N. E. L. Análise espacial da mosca-negra-dos-citros em pomar de citros utilizando a geoestatística. Revista de Agricultura, vol. 86, nº 02, p. 102-114, 2011a.
- Silva, A. G.; Farias, P. R. S.; Boiça Junior, A. L.; Lima, B. G.; Ponte, N. H. T.; Pinho, R. C.; Barbosa, R. S. Spatial analysis of blackfly in agroforestry system of citrus. Comunicata Scientiae, vol. 06, nº 03, p. 350-358, Bom Jesus-PI, 2015. DOI: 10.14295/CS.v6i3.408.
- Silva, A. G.; Farias, P. R. S.; Siqueira, D. S.; Boiça Junior, A. L. *Aleurocanthus woglumi* (Hemiptera: Aleyrodidae) geostatistics analysis in agroforestry and monoculture systems in Oriental Amazon. Revista Colombiana de Entomología, vol. 40, nº 02, p. 213-224, 2014.
- Silva, A. G.; Boiça Junior, A. L.; Farias, P. R. S.; Rodrigues, N. E. L.; Monteiro, B. S.; Santos, N. A. Influência de fatores abióticos na infestação de mosca-negra-dos-citros (*Aleurocanthus woglumi* Ashby) em plantio de citros em sistema agroflorestal no estado do Pará. EntomoBrasilis, vol. 04, nº 01, p. 01-06, 2011b.
- Silva, C. M.; Macambira, L. C.; Mercês, E. P. R.; Silva, G. B.; Lins, P. M. P.; Carvalho, E. A. Distribuição espacial do anel vermelho (*Bursaphelenchus cocophilus*) e da resinose (*Thielaviopsis paradoxa*) em coqueiro. Agrária, vol. 11, nº 03, p. 192-197, Recife-PE, 2016b. DOI:10.5039/agraria.v11i3a5385.
- Silva, J. N.; Farias, P. R. S.; Silva, A. G.; Oliveira, F. J.; Tinôco, R. S. Spatial distribution of cases of fatal yellowing on organic oil palm plantation. Semina: Ciências Agrárias, vol. 37, nº 05, p. 3047-3054, Londrina-PR, 2016a. DOI: 10.5433/1679-0359.2016v37n5p3047.
- Soares, V. P.; Zaneti, L. Z.; Santos, N. T.; Leite, H. G. Análise espacial da distribuição de cigarras (*Quesada gigas* Oliver) em povoamentos de paricá (*Schizolobium amazonicum* Huber ex Ducke) na região de Dom Eliseu, PA. Revista Árvore, vol. 32, nº 02, Viçosa-MG, 2008.
- Walker, K.; Frederick, R. Entomological risks of genetically engineered crops. Encyclopedia of Environmental Health, p. 306-314, 2011.
- Yamamoto, J. K.; Landim, P. M. B. Geoestatística: conceitos e aplicações. Editora Oficina de Textos, São Paulo-SP, 2013.
- Zaneti, L. Z. Distribuição espacial de cigarras (*Quesada gigas* Oliver) em povoamentos de paricá (*Schizolobium amazonicum* Huber ex Ducke) na região de Dom Eliseu-PA. Dissertação de Mestrado, UFV, Viçosa-MG, 2005.