



## ANÁLISE DA DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DAS ARMADILHAS PARA O MONITORAMENTO DA PRAGA *BACTROCERA CARAMBOLAE* NO AMAPÁ ENTRE 2014 E 2019

Paulina Kayse Andrade **Santos**<sup>1</sup>; Marcos Aurélio Santos da **Silva**<sup>2</sup>; José Victor Torres Alves **Costa**<sup>3</sup>;  
Cristiaini **Kano**<sup>4</sup>; Márcia Helena Galina **Dompiéri**<sup>5</sup>

Nº 23508

**RESUMO** – Este trabalho teve como objetivo a análise da distribuição espacial de armadilhas de captura da praga quarentenária *Bactrocera carambolae* no estado do Amapá instaladas para o monitoramento e controle de sua ocorrência, entre os anos de 2014 e 2019. Foi aplicada a função K para avaliar o nível de agregação espacial das armadilhas. Os resultados mostraram que as armadilhas estão agregadas, fato que pode ser explicado pelas covariáveis população e rodovias.

**Palavras-chave:** função K, praga quarentenária, teste de Completa Aleatoriedade Espacial, teste de não homogeneidade.

<sup>1</sup> Autora, Bolsista CNPq (PIBIT): Graduação em Ciência da Computação, UFS; kaspaulina@hotmail.com

<sup>2</sup> Co-orientador: Pesquisador, Embrapa Tabuleiros Costeiros, Aracaju, SE

<sup>3</sup> Colaborador: Auditor Fiscal Federal Agropecuário, MAPA, DF

<sup>4</sup> Colaboradora: Pesquisadora, Embrapa Territorial, Campinas, SP

<sup>5</sup> Orientadora: Pesquisadora, Embrapa Territorial, Campinas, SP; marcia.dompiéri@embrapa.br



**ABSTRACT** – *This work aimed to analyze the spatial distribution of traps to capture the quarantine pest *Bactrocera carambolae* in the state of Amapá deployed for the monitoring and control of its occurrence, between the years 2014 and 2019. The K function was applied to evaluate the level of spatial aggregation of traps. The results showed that the traps are aggregated, a fact that can be explained by the covariates population and roads.*

**Keywords:** K function, quarantine pest, Complete Spatial Randomness test, Non-homogeneity test.

## 1. INTRODUÇÃO

Pragas quarentenárias são organismos que apresentam potencial econômico significativo em uma determinada região que está em risco, onde eles ainda não estão presentes, ou, se presentes, não estão amplamente espalhados e sob controle oficial (Godoy et al., 2011; Fidelis et al., 2018).

No Amapá, a Agência de Defesa e Inspeção Agropecuária do Estado (Diagro) é o órgão estadual responsável pelas ações de combate, vigilância, prevenção e erradicação das pragas quarentenárias, principalmente a praga quarentenária presente *Bactrocera carambolae*. Entre 2014 e 2019, o Ministério da Agricultura e Pecuária (Mapa), em parceria com a Diagro (2023), promoveu diferentes planos (contenção, supressão e erradicação) para o controle dessa praga através do monitoramento por armadilhas na escala regional.

Foram instaladas no estado diversas armadilhas do tipo Jackson e McPhail, distribuídas seguindo um padrão de densidade (armadilhas/hectare): 0,4 armadilha Jackson/ha e 0,2 armadilha McPhail/ha monitoradas quinzenalmente. Todavia, não foi adotado nenhum padrão (e.g., regular, aleatório) para a distribuição espacial das armadilhas. Segundo Berc et al. (2015), a distribuição espacial afeta o monitoramento, e diferentes estratégias (regular, aleatória, esparsa, concentrada em áreas com maior probabilidade) podem ser aplicadas de acordo com a estratégia de monitoramento.

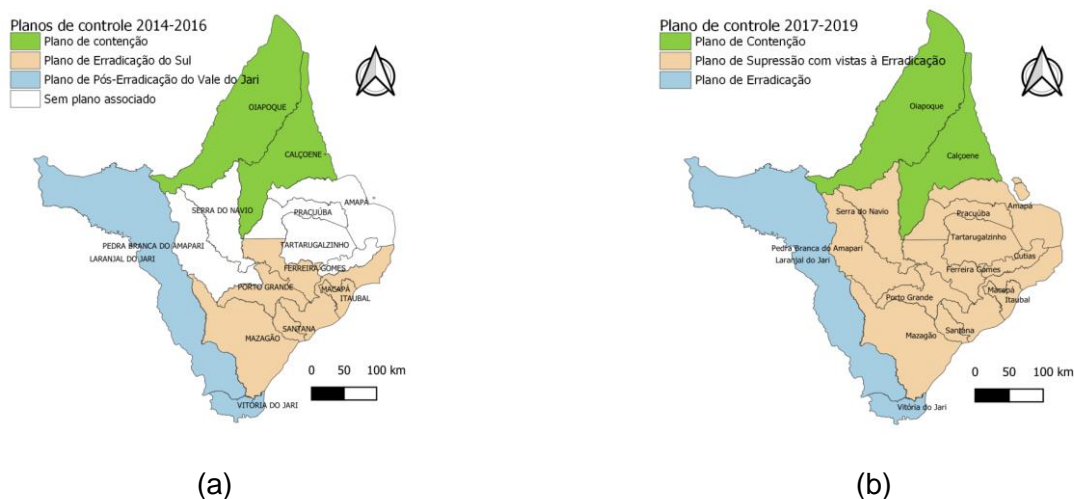
Este trabalho tem como objetivo estudar o padrão de distribuição espacial das armadilhas instaladas para controle da ocorrência da *Bactrocera carambolae* no Amapá entre os anos de 2014 a 2019. Serão aplicados os testes de Completa Aleatoriedade Espacial (CSR) e de não homogeneidade sobre a localização das armadilhas com auxílio da função K (Bivand et al., 2008).

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

Para avaliar qual o tipo de distribuição das armadilhas, foram utilizados o teste de completa aleatoriedade espacial (CSR) e o teste de não homogeneidade, com auxílio da função K para análise e interpretação dos resultados. Os testes foram aplicados por região de abrangência de cada plano de controle, para cada período de monitoramento executado, em intervalos de 15 dias para cada ano. Os testes de não homogeneidade consideraram como covariáveis a população por setor censitário e as estradas.

### 2.1. Os planos de controle no Amapá

O Amapá dividiu o seu território em três zonas definidas por seus planos de controle da praga. No período de 2014 a 2016, foram implantados os Planos de Contenção, Erradicação do Sul e de Pós-Erradicação do Vale do Jari (Godoy et al., 2011). Entre 2017 e 2019, o Plano de Contenção permaneceu o mesmo, e os demais planos tiveram alteração no objetivo, nomenclatura e municípios componentes (Figura 1).



**Figura 1.** Áreas de abrangência dos planos no estado do Amapá entre 2014 e 2016 (a) e 2017 e 2019 (b).  
Fonte: Planos de controle (Godoy et al., 2011). Malha municipal IBGE referente ao ano de 2019.

O Plano de Contenção visa conter a entrada da praga a partir da fronteira, como também eliminar os focos existentes, impedindo o espalhamento pelo estado. A implementação do Plano de Erradicação do Sul do Amapá ganha força após a instauração da praga nos municípios de Santana e Macapá, com intuito de erradicar os focos existentes. O Plano de Pós-Erradicação do Vale do



Jari contempla municípios que passaram por intensa atividade de erradicação devido à fronteira com o Pará, tendo sido o foco da praga declarado como erradicado no ano de 2008. As armadilhas nessa região são, portanto, para monitoramento caso algum foco ressurja.

O segundo plano, vigente desde 2017, manteve o Plano de Contenção com o mesmo nome e, portanto, com o mesmo objetivo. O Plano de Erradicação do Sul do Amapá tornou-se Plano de Supressão com vistas à Erradicação, com o acréscimo de mais municípios, e objetiva a erradicação por meio de ações que visam a diminuição da população da praga. Já o plano que abrange a região do Vale do Jari teve seu nome alterado para Plano de Erradicação, visando à eliminação de focos da praga.

## **2.2. Teste de hipótese de completa aleatoriedade espacial das armadilhas**

O teste de hipótese de completa aleatoriedade espacial das armadilhas visa avaliar se as armadilhas, que obedecem à regra de densidade espacial preestabelecida, foram dispostas de forma aleatória, agregada ou regular. Portanto, assume-se que a distribuição das armadilhas seguiu uma distribuição de Poisson com intensidade por unidade de área constante e igual a  $\lambda$  (Cruz; Guitierrez, 2008). O teste de hipótese foi efetuado considerando nível de confiança de 98%.

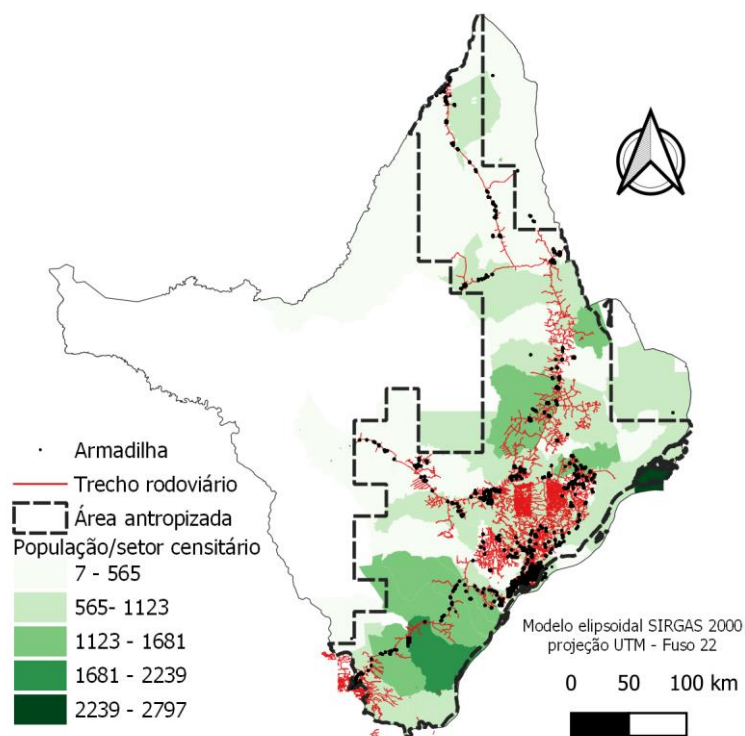
## **2.3. Teste de hipótese de não homogeneidade espacial das armadilhas**

O teste de não homogeneidade tem as mesmas características da análise CSR, porém permite que a intensidade não seja constante, ou seja, possa ser determinada por uma função genérica  $\lambda(x)$  que varia espacialmente; logo, os eventos tornam-se mais prováveis de acontecer em algumas áreas do que em outras (Hahn et al., 2003; Waagepetersen, 2008). Dessa forma, mesmo que as armadilhas sejam consideradas agregadas pelo teste de CSR, é possível que essa agregação tenha sido afetada por covariáveis que influenciam a ocorrência da praga. Assim, neste teste é avaliada a hipótese de aleatoriedade das armadilhas, considerando que essa aleatoriedade não é homogênea e é afetada por covariáveis.

De fato, é possível que a instalação das armadilhas tenha sido feita considerando áreas com maior probabilidade de ocorrência e que a agregação, caso exista, retrate áreas com maior probabilidade de a praga ocorrer. Assim, restaria definir quais poderiam ser as covariáveis que influenciam a ocorrência e, por conseguinte, a localização das armadilhas.

Segundo Godoy et al. (2011), as moscas-das-frutas entram no País principalmente por meio de importação de frutos contaminados e propagam-se por via do transporte para os centros consumidores. Wallner et al. (2014) mostraram que a atividade econômica e as estradas influenciam no estabelecimento desse tipo de praga.

Estabelecemos pelo menos duas covariáveis que podem influenciar a ocorrência da praga *Bactrocera carambolae* e indiretamente guiar a instalação das armadilhas. Primeiro, a população por setor censitário como uma variável *proxy* da atividade econômica e as rodovias como vias de transporte das frutas rumo aos mercados consumidores (Figura 2). A análise considerou como região de estudo a área antropizada e/ou antropizável destacada na Figura 2.



**Figura 2.** Distribuição espacial das armadilhas nos planos de contenção/erradicação no estado do Amapá entre 2014 e 2019.

Fonte: população por setor censitário obtida a partir do Censo demográfico IBGE (2010). Localização das armadilhas fornecidas pelo Departamento de Sanidade Vegetal e Insumos Agrícolas do Mapa. Trechos rodoviários e contorno da área antropizada/antropizável - Projeto Base Cartográfica Digital Contínua do Amapá, de autoria do Governo do Estado do Amapá e do Exército Brasileiro.

Ao considerar uma covariável  $Z$  em um evento pontual de coordenada  $(x, y)$ , a função de intensidade se assemelha a  $\lambda(x,y) = \exp(\alpha + \beta Z(x, y))$ , em que  $\alpha$  e  $\beta$  são parâmetros a serem estimados pelo evento pontual (Bivand et al., 2008).

## 2.4. A função K

A estatística da função K permite avaliar se há dependência espacial, a partir da observação da densidade dos pontos em diversas faixas de distâncias e comparando o K observado ( $\hat{K}_{obs}$ ) com o modelo teórico ( $K_{theo}=\pi r^2$ ) para a hipótese de completa aleatoriedade espacial. A função K é definida por  $\hat{K}(r) = \lambda^{-1}(1/n)\sum_i^n(E_i)$ , onde:  $n$  representa a quantidade de eventos contidos por área delimitada pelo raio  $r$ ;  $\lambda$  representa a intensidade ou o número de eventos esperados por unidade na área, assumida como constante; e  $E$  denota a quantidade de pontos localizados a uma distância  $r$  do ponto  $i$  (Druck et al., 2004). Utilizamos a função K implementada no pacote R spatstat conforme a Equação 1 (Bivand et al., 2008).

$$\hat{K}(r) = \frac{A}{n(n-1)} \sum_i^n \sum_{j \neq i}^n I(d_{ij} \leq r) e_{ij} \quad (1)$$

Onde:  $A$  é área da região;  $d_{ij}$  é a distância entre os pontos  $i$  e  $j$ ;  $I$  segue a função indicatriz que assume o valor 1 se a distância  $d_{ij}$  for menor que  $r$  ou zero; e  $e_{ij}$  é o termo de correção de borda.

Já para o teste de não homogeneidade, em que a intensidade  $\lambda$  passa a ser definida por  $\lambda(x)$ , de acordo com Baddeley et al. (2000), a função  $\hat{K}_{inhom}$  pode ser estimada segundo a Equação 2.

$$\hat{K}_{inhom}(r) = \frac{1}{A} \sum_i^n \sum_{j \neq i}^n \frac{I(d_{ij} \leq r)}{\lambda(x_i)\lambda(x_j)} e_{ij} \quad (2)$$

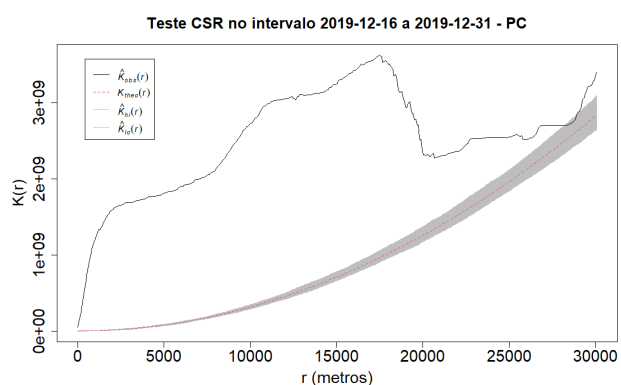
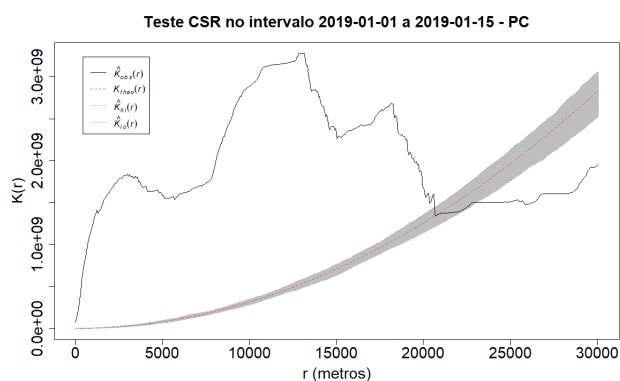
Na análise estatística da função K, é comum incluir os envelopes inferior e superior, neste caso criados a partir de 99 simulações de  $n$  eventos na região  $A$  considerando o nível de confiança de 98%. Se o valor resultante de  $\hat{K}_{obs}$  for maior que o da simulação aleatória criada ( $K_{theo}$  ou  $\bar{K}_{inhom}$ ) e seu limite superior ( $\hat{K}_{hi}$  ou  $\hat{K}_{inhom}^{hi}$ ), então a distribuição apresenta padrão de aglomeração. Se for menor que o limite inferior ( $\hat{K}_{lo}$  ou  $\hat{K}_{inhom}^{lo}$ ), apresenta padrão espacial regular (Hohl et al., 2017).

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

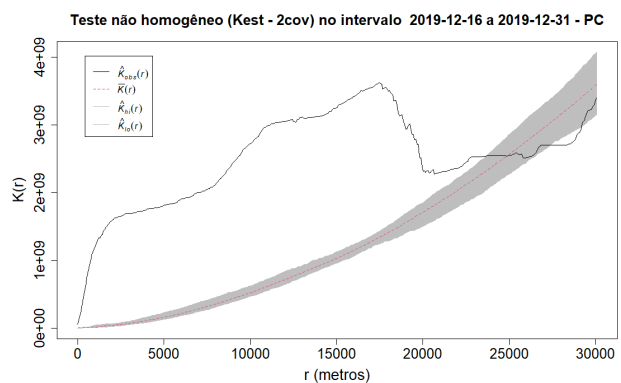
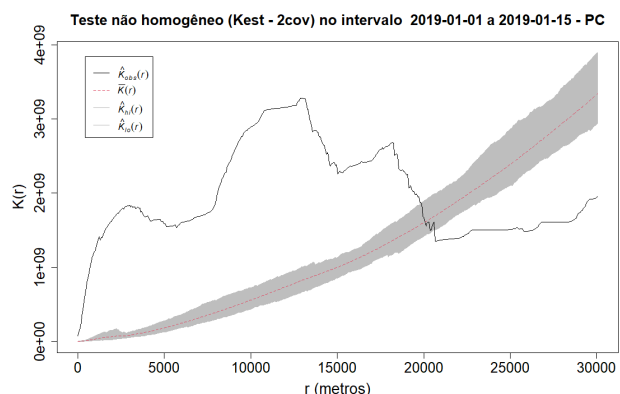
As Figuras 3 a 5 mostram as curvas da função K para dois períodos (1ª e 19ª quinzenas no ano) para alguns anos entre 2014 e 2019, para cada um dos planos de controle de *Bactrocera carambolae* no Amapá.

### 3.1. Plano de Contenção

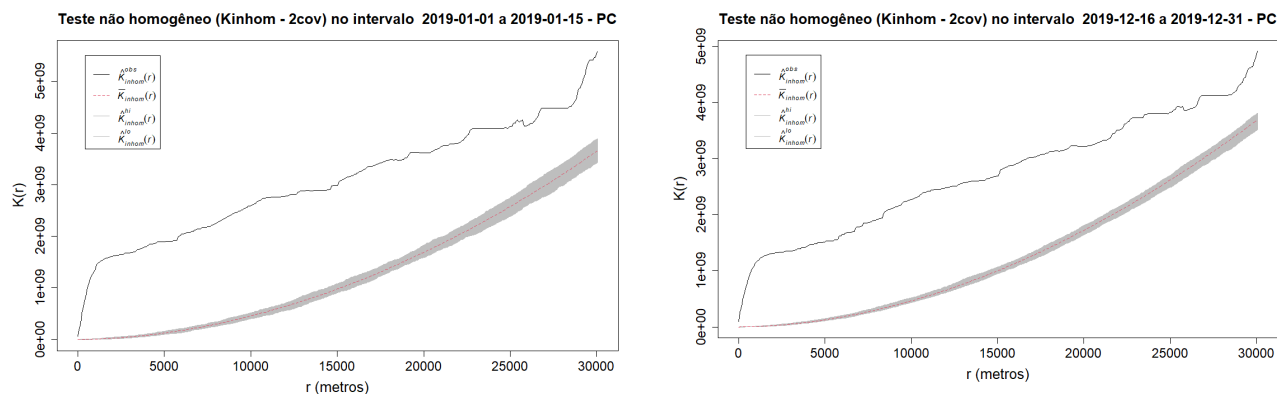
No Plano de Contenção, para uma determinada distância, as armadilhas passam a ter comportamento regular (Figura 3). Esse efeito pode ser atribuído à distribuição das armadilhas no sentido das vias de escoamento, principalmente rodovias. Na Figura 3, observa-se que a consideração das covariáveis “população” e “estradas” aumenta o intervalo do envelope quando analisada a função K sem alterar a curva para os dados observados, enquanto para a função K adaptada para dados não homogêneos houve maior aproximação da curva dos dados observados em direção ao envelope. Esse fato sugere que a distribuição das armadilhas segue um padrão não homogêneo e que sua distribuição seguiu o tamanho da população e o sentido das vias de escoamento.



a) Análise de completa aleatoriedade espacial em três períodos do ano de 2019



b) Análise de não homogeneidade espacial em três períodos do ano de 2019

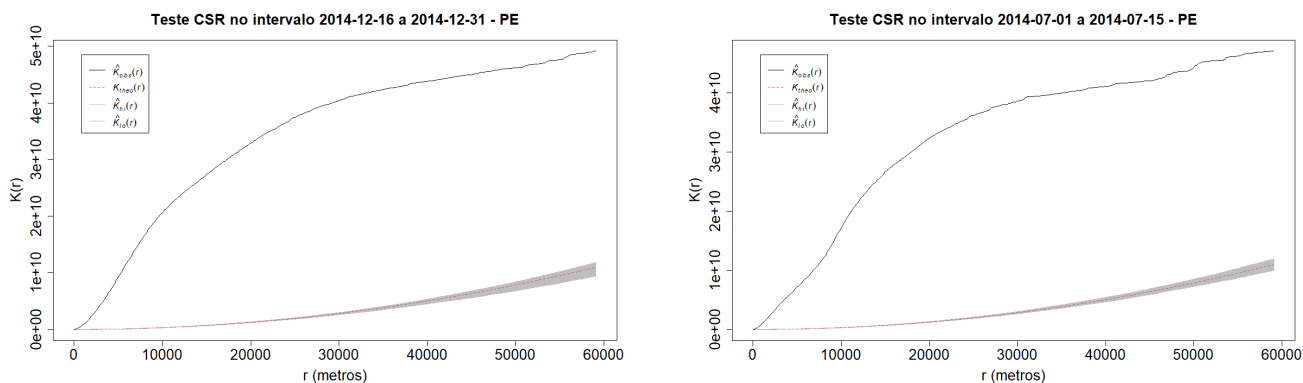


c) Análise de não homogeneidade espacial em dois períodos do ano de 2019 utilizando a função K para fenômenos não homogêneos

**Figura 3.** Teste de aleatoriedade espacial e de não homogeneidade para o ano de 2019 na região do Plano de Contenção.

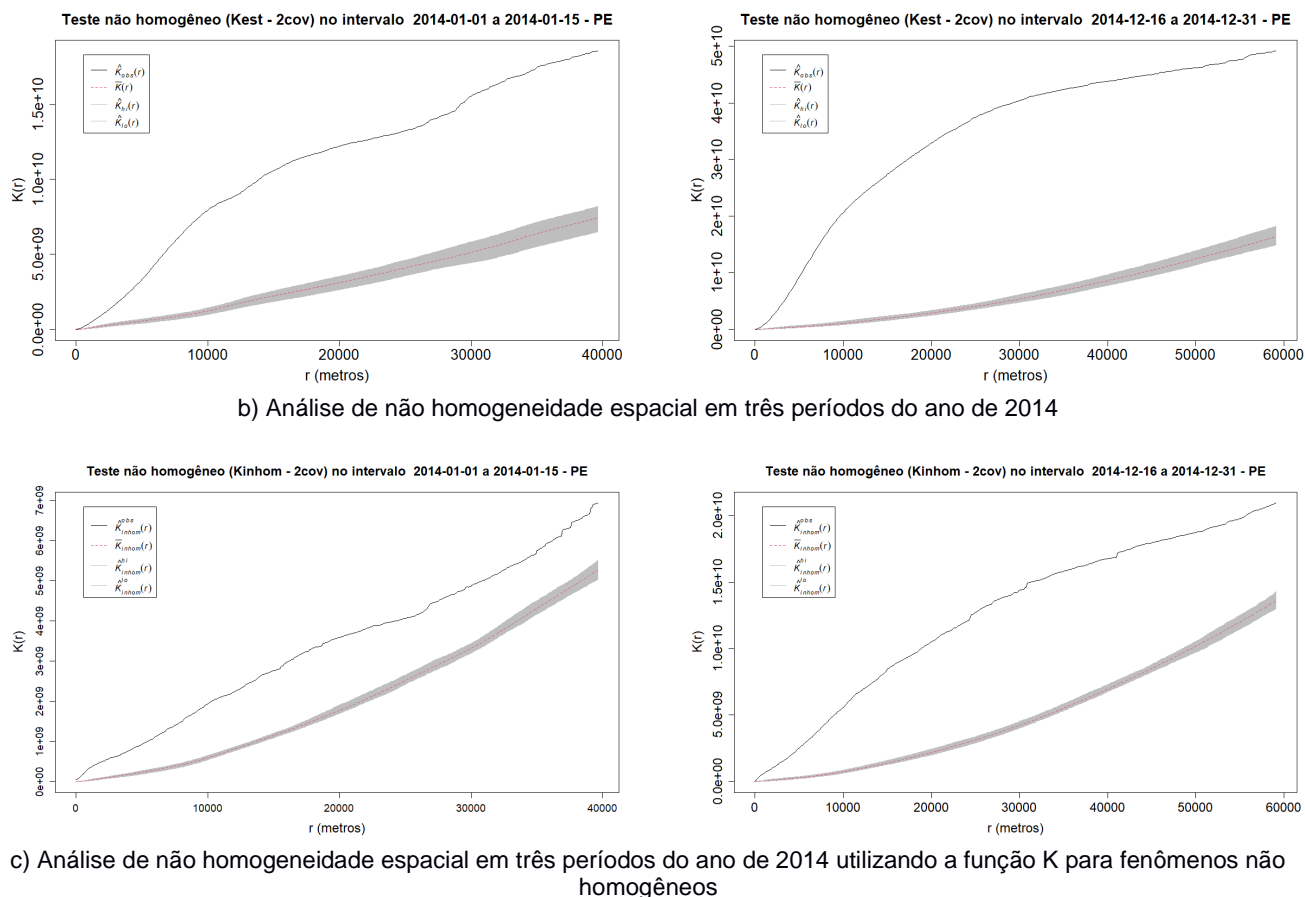
### 3.2. Plano de Erradicação Sul

Para todos os anos de vigência do Plano de Erradicação Sul (2014/ 2015/ 2016), observam-se diferenças nos três gráficos da função K, e a curva do observado aproxima-se mais do envelope quando consideramos as covariáveis. Na Figura 4, temos o caso das duas observações para o ano de 2014, com destaque para o caso do uso da função K para fenômenos não homogêneos (Figura 4c). O mesmo é observado em todas as quinzenas. Novamente, isso sugere que a diferença de concentração das armadilhas seguiu a concentração populacional por setor censitário e a presença de vias de escoamento.



a) Análise de completa aleatoriedade espacial em três períodos do ano de 2014

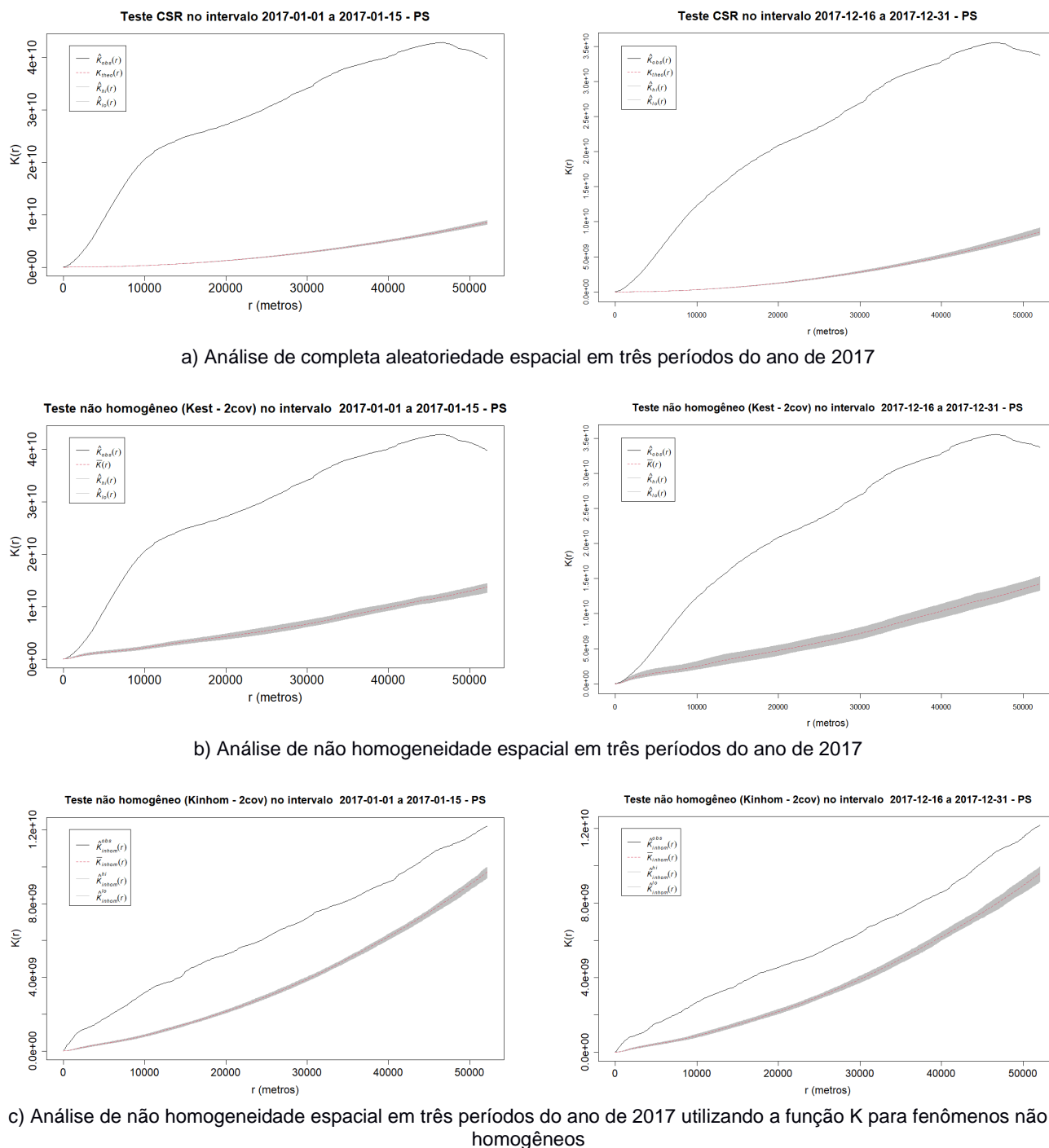




**Figura 4.** Teste de aleatoriedade espacial e de não homogeneidade para o ano de 2014 na região do Plano de Erradicação do Sul.

### 3.3. Plano de Supressão com vistas à Erradicação

Como o Plano de Supressão com vistas à Erradicação corresponde a área de abrangência do Plano de Erradicação Sul com a adição de alguns municípios que apresentam menor densidade de armadilhas, é de se esperar modificação na resposta da função K para a distribuição das armadilhas. Assim, a Figura 5 apresenta as curvas da função K para os dois períodos do ano 2017, quando se observa menor nível de agregação quando usamos a função K para fenômenos não homogêneos (Figura 5c).



**Figura 5.** Teste de aleatoriedade espacial e de não homogeneidade para o ano de 2017 na região do Plano de Supressão com vistas à erradicação.



#### 4. CONCLUSÕES

Conclui-se que as armadilhas foram distribuídas de forma agregada, fato que pode ser explicado pelas covariáveis população por setor censitário e vias de escoamento de mercadorias e de pessoas. Esse padrão é mais proeminente nas regiões cobertas pelos planos de Erradicação do Sul e de Supressão com vistas à Erradicação, que incluem o município de Macapá. Essa característica deverá ser considerada no momento de análise do padrão espaçotemporal de ocorrência espacial da *Bactrocera carambolae* no estado do Amapá.

#### 5. AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo apoio ao trabalho por meio do Programa Institucional de Bolsas de Iniciação em Desenvolvimento Tecnológico e Inovação (PIBITI).

#### 6. REFERÊNCIAS

- BADDELEY, A.; MOLLER, J.; WAAGEPETERSEN, R. Non- and semiparametric estimation of interaction in inhomogeneous point patterns. **Statistica Neerlandica**, v. 54, p. 329–350, 2000.
- BEREC, L.; KEAN, J. M.; EPANCHIN-NIELL, R.; LIEBHOLD, A. M.; HAIGHT, R. G. Designing efficient surveys: spatial arrangement of sample points for detection of invasive species. **Biological Invasions**, v. 17, p. 445–459, 2015.
- BIVAND, R. S.; PEBESMA, E. J.; GÓMEZ-RUBIOV. **Applied spatial data analysis with R**. New York: Springer, 2008.
- CRUZ, J.; GUTIERREZ, M. Spatial statistics of pitting corrosion patterning: Quadrat counts and the non-homogeneous Poisson process. **Corrosion Science**, v. 50, p. 1441-1448, 2008. DOI:10.1016/j.corsci.2008.01.003.
- DIAGRO. **Agência de Defesa e Inspeção Agropecuária do Estado do Amapá**. Disponível em: <http://www.diagro.ap.gov.br/conteudo/defesa-agropecuaria/defesa-vegetal>. Acesso em: 30 mar. 2023.
- DRUCK, S; CARVALHO, M. S.; CÂMARA, G.; MONTEIRO, A. V. M. (ed.). **Análise espacial de dados geográficos**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2004.
- FIDELIS, E. G.; LOHMANN, T. R.; SILVA, M. L. da; PARIZZI, P.; BARBOSA, F. F. L. **Priorização de pragas quarentenárias ausentes no Brasil**. Brasília, DF: Embrapa, 2018.
- GODOY, M. J. S.; PACHECO, W. D. S. P.; PORTAL, R. D. R.; PIRES FILHO, J. M.; MORAES, L. M. M. D. Programa nacional de erradicação da mosca-da-carambola. In: SILVA, R.; ZUCCHI, R.; LEMOS, W. (ed.). **Moscas-das-frutas na Amazônia Brasileira: diversidade, hospedeiros e inimigos naturais**. Macapá: Embrapa Amapá, 2011. cap. 8, p. 133-158.
- HAHN, U.; JESEN, E. B. V.; LIESHOUT, M-C. V.; NIELSEN, L. S. Inhomogeneous Spatial Point Processes by Location-Dependent Scaling. **Advances in Applied Probability**, v. 35, n. 2, p. 319–336, 2003. Disponível em: <https://www.jstor.org/stable/1428423>. Acesso em: 10 abr. 2023.



HOHL, A.; ZHENG, M.; TANG, W.; DELMELLE, E.; CASAS, I. Spatiotemporal Point Pattern Analysis Using Ripley's K Function. In: KARIMI, H. A.; KARIMI, B. **Geospatial Data Science Techniques and Applications**. Boca Raton: CRC Press, 2017. p. 155-175.

IBGE. **Censo 2010**. Disponível em: <https://censo2010.ibge.gov.br/>. Acesso em: 10 abr. 2023.

WAAGEPETERSEN, R. Estimating Functions for Inhomogeneous Spatial Point Processes with Incomplete Covariate Data. **Biometrika**, v. 95, n. 2, p. 351–363, 2008. Disponível em: <https://www.jstor.org/stable/20441469>. Acesso em: 10 fev. 2023.

WALLNER, A. M.; HAMILTON, G. C.; NIELSEN, A. L.; HAHN, N.; GREEN, E. J.; RODRIGUEZ-SAONA, C. R. Landscape factors facilitating the invasive dynamics and distribution of the brown marmorated stink bug, *Halyomorpha halys* (Hemiptera: Pentatomidae), after arrival in the United States. **Plos One**, v. 9, n. 5, p. 1–12, 2014.